

Министерство образования и науки Украины  
Национальная академия природоохранного и курортного строительства

# **СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Сборник научных трудов

Выпуск 40

## **БУДІВНИЦТВО ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Збірник наукових праць  
Випуск 40

Зарегистрирован 21.11.2005 г. серия КВ № 10650 Государственным комитетом информационной политики, телевидения и радиовещания Украины.  
Высшей Аттестационной Комиссией Украины включен в перечень научных диссертационных работ на соискание научных степеней доктора и кандидата наук (Постановление Президиума ВАК Украины от 11.10.2000 №1-03/8, перечень №6 - технические науки).

Симферополь  
«Национальная академия природоохранного  
и курортного строительства»  
2011

УДК 69

Збірник наукових праць  
«Будівництво та техногенна безпека»

Збірник включає статті науковців України, у яких висвітлені результати фундаментальних та прикладних наукових досліджень у галузі будівництва та техногенної безпеки.  
Для наукових працівників, аспірантів та спеціалістів у галузі будівництва.

Редакційна колегія:

Ажермачов Г.А., канд. техн. наук, Бекіров Е.А., докт. техн. наук, Боровський Б.І., докт. техн. наук, Бугаєвський Г.М. докт. фіз.-мат. наук, Глухов М.Д., докт. техн. наук, Дворецкий О.Т., докт. техн. наук, Жигна В.В., канд. техн. наук, Зайцев О.М., докт. техн. наук, Закусілов М.О., канд. екон. наук., Захаров Р.Ю., канд. техн. наук (відповідальний секретар), Лінченко Ю.П., канд. техн. наук, Любомирський М.В., канд. техн. наук (зам. головного редактора), Морозов О.Д., канд. техн. наук, Нагаєва З.С., докт. архітектури, Ніколенко І.В., докт. техн. наук, Панюков Е.Ф., докт. техн. наук (головний редактор), Саломатін В.М., докт. геол.-мін. наук, Сапронова З.Д., канд. геол.-мін. наук, Сафонов А.О., докт. арх., Субботкін Л.Д., канд. техн. наук, Тарасенко В.С., доктор геол.-мін. наук, Федоркін С.І., докт. техн. наук, Ячменьова В.М., докт. екон. наук

Затверджено до друку згідно протоколу засідання вченої ради НАПКБ № 4 від 29.12.2011 р.

Адреса редакції: 95006 м. Сімферополь, вул. Павленко, 5, НАПКБ, корпус 2, к 410,  
E-Mail: rio@napks.edu.ua.

©Национальна академія  
природоохоронного  
та курортного будівництва,  
2011

Сборник научных трудов  
«Строительство и техногенная безопасность»

Сборник включает статьи ученых Украины, в которых освещены результаты фундаментальных и прикладных научных исследований в области строительства и техногенной безопасности.  
Для научных работников, аспирантов и специалистов в области строительства.

Редакционная коллегия:

Ажермачев Г.А., канд. техн. наук, Бекиров Э.А., докт. техн. наук, Боровский Б.И., докт. техн. наук, Бугаевский Г.Н. докт. физ.-мат. наук, Глухов Н.Д., докт. техн. наук, Дворецкий А.Т., докт. техн. наук, Жигна В.В., канд. техн. наук, Зайцев О.Н., докт. техн. наук, Закусилов Н.А., канд. екон. наук, Захаров Р.Ю., канд. техн. наук (ответственный секретарь), Линченко Ю.П., канд. техн. наук, Любомирский Н.В., канд. техн. наук (зам. главного редактора), Морозов А.Д., канд. техн. наук, Нагаева З.С., докт. архитектуры, Николенко И.В., докт. техн. наук, Панюков Э.Ф., докт. техн. наук (главный редактор), Саломатин В.Н., докт. геол.-мин. наук, Сапронова З.Д., канд. геол.-мин. наук, Сафонов А.А., докт. арх., Субботкин Л.Д., канд. техн. наук, Тарасенко В.С., доктор геол.-мин. наук, Федоркин С.И., докт. техн. наук, Ячменева В.М., докт. екон. наук

Утвержден к печати согласно протокола заседания ученого совета НАПКС № 4 от 29.12.2011 г.

Адрес редакции: 95006 г. Сімферополь, ул. Павленко, 5, НАПКС, корпус 2, к 410,  
E-mail: rio@napks.edu.ua.

© Национальная академия  
природоохоронного  
и курортного строительства,  
2011

# Раздел 1. СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.072.2.011

Кириленко В.Ф., к.т.н., доцент.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

## К ВОПРОСУ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКОЙ ФОРМЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК

*На основе решений Л.Прандтля и С.П. Тимошенко для прямоугольных полос получены расчётные зависимости для определения критических нагрузок потери устойчивости плоской формы деформирования свободноопёртых и консольных балок прямоугольного поперечного сечения.*

**Балки, устойчивость, критические нагрузки.**

### Введение и постановка задачи

В последнее время в строительстве по сравнению с другими конструкционными материалами заметно возрастает доля цельной и клееной древесины. В общем объёме деревянных несущих и ограждающих конструкций значительное место занимают элементы, работающие на изгиб и на сжатие с изгибом: прогоны, стропильные ноги, балки, ригели и стойки трёхшарнирных рам, верхние пояса ферм и др.

Стремление получить возможно большую экономию древесины с одновременным достижением повышенной жёсткости в плоскости действия сил всегда приводит к увеличению высоты сечения балок. При этом ширина балки прямоугольного сечения, а также ширина пояса двутавровой балки не может быть значительно повышена и это приводит к тому, что главные моменты инерции поперечного сечения во много раз отличаются между собой. Таким образом, деревянные балки в направлении, перпендикулярном к плоскости действия сил имеют недостаточную жёсткость, обусловленную, кроме того, и малыми значениями модуля нормальной упругости и модуля сдвига и это является причиной их недостаточной устойчивости.

В зданиях и сооружениях этот недостаток жесткости обычно устраняется постановкой дополнительных поперечных связей, однако в некоторых случаях эти связи не могут быть поставлены из конструктивных соображений, кроме того, количество связей может быть недостаточным и это приводит к снижению их несущей способности.

В действующих нормах проектирования деревянных конструкций [1] расчёт изгибаемых элементов постоянного прямоугольного сечения на устойчивость плоской формы деформирования рекомендуется выполнять путём определения действующих нормальных напряжений с введением в расчётную формулу коэффициента  $\varphi_m$ , представляющего собой произведение аналогичного значения для случая чистого изгиба участка балки (эталонного значения) и коэффициента  $k_\varphi$ , учитывающего фактическую схему загрузки, другими словами, форму эпюры моментов на этом участке.

В пособии по проектированию деревянных конструкций [2], посвящённом обоснованию и разъяснению отдельных положений СНиП II-25-80, в пунктах 4.18-4.19

содержатся краткие сведения по разъяснению расчётов балок прямоугольного сечения на устойчивость с введением отмеченного нами выше коэффициента  $\varphi_m$ . По нашему мнению, обоснование предпосылок и методов расчёта, заложенного в трудах Л.Прандтля и С.П. Тимошенко для свободноопёртых и консольных балок при различных схемах нагружения [3,4] в этом пособии выполнено недостаточно. Кроме того, в пособии не учтены результаты, связанные с изменением критических значений в зависимости от линии приложения нагрузок по отношению к продольной оси балок. Следует отметить, что для обычно встречающихся балок при простых загрузениях в приведенных выше работах имеются результаты, позволяющие непосредственно найти критические значения нагрузок без определения внутренних усилий и напряжений, а следовательно и без введения коэффициента  $\varphi_m$ . Учитывая это, в настоящей работе на основе фундаментальных исследований Л. Прандтля, С.П. Тимошенко поставлена задача использования этих результатов непосредственно для получения расчётных зависимостей для деревянных балок.

### Основные допущения и предпосылки

Здесь рассматриваются прямолинейные стержни постоянного поперечного сечения с горизонтальной осью, у которых плоскость наибольшей жёсткости совпадает с вертикальной. Обозначения осей координат, жёсткостей стержня и принятых допущений здесь соответствуют принятым в [4]. Начало координат располагаем на линии центра тяжести левого концевого сечения, а в случае симметрии – срединного сечения. Ось  $x$  направлена по оси стержня,  $y$  – перпендикулярно к плоскости наибольшей жёсткости,  $z$  – вертикально вниз. Для искривленной формы равновесия на рис. 1 показана также вспомогательная система координат  $\xi, \eta, \zeta$  с началом в центре тяжести рассматриваемого сечения. Для решения задачи введём следующие обозначения:

$B = EI$  - жёсткость балки на изгиб в плоскости  $xu$ ,

$B_1 = EI_1$  - жёсткость на изгиб в плоскости  $xz$ ,

$C$  - жёсткость на кручение,

$\varphi$  - угол поворота какого-либо поперечного сечения при выпучивании балки.

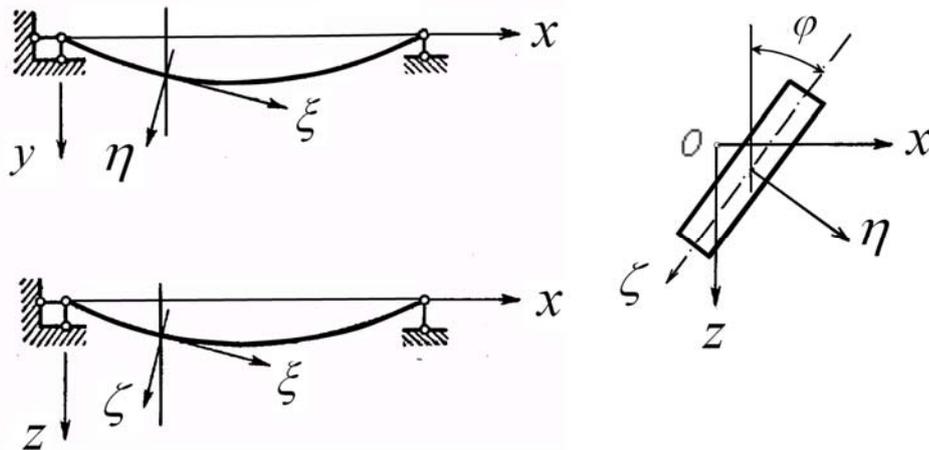


Рис. 1

При разрезке балки на две части можно составить уравнения равновесия для одной из них с учётом углов между осями  $x, y, z$  и  $\xi, \eta, \zeta$  и ввести допущение о неизменности последних при передвижении вдоль оси балки. Полагая, что искривления балки являются весьма малыми, а отношение главных жёсткостей  $B_1/B$  - большое, задача нахождения критических сил не будет зависеть от жёсткости  $B_1$  и сводится к интегрированию двух дифференциальных уравнений

$$M_{\xi} = C \cdot \varphi' ; \quad M_{\zeta} = B \cdot y'' , \quad (1)$$

где  $\varphi'$  и  $y''$  - производные функций углов поворота и перемещений в направлении оси  $y$ .

В этих выражениях  $M_{\xi}$  и  $M_{\zeta}$  - моменты внешних сил относительно соответствующих осей, определяемые для каждого конкретного случая расчетной схемы балки и приложения внешних сил. Следует отметить, что только в случае изгиба балки двумя противоположными парами сил (чистого изгиба) уравнения (1) решаются в элементарных функциях.

### Критические нагрузки для различных частных задач

Здесь представлены результаты определения критических нагрузок для свободноопёртых и консольных балок узкого прямоугольного сечения при действии сосредоточенных и распределённых нагрузок. Нагрузки приложены в плоскости наибольшей жёсткости. В случае свободноопёртых балок закрепление концов такое, что вращение их относительно оси  $x$  невозможно, что же касается осей, параллельных  $y$  и  $z$ , то возможно свободное проворачивание. В консольных балках с защемлённым левым концом длиной  $l$  граничные условия записываются следующим образом

$$\varphi = 0 \quad \text{при} \quad x = 0; \quad \varphi' = 0 \quad \text{при} \quad x = l.$$

Для свободноопёртых балок при действии равномерно распределённой нагрузки или сосредоточенной силы в середине пролёта, т.е. симметричных задач начало координат удобно располагать в середине пролёта.

#### 1. Случай чистого изгиба

Критическое значение момента  $M_{кр}$  можно найти из решения уравнений равновесия (1) для искривленной формы (решение Л.Прандтля) или исследуя изменение потенциальной энергии и работы внешних сил при переходе от плоской к искривленной форме равновесия (решение С.П. Тимошенко).

При рассечении балки на две части из рассмотрения равновесия одной из них

$$M_{\xi} = M \frac{dy}{dx}; \quad M_{\zeta} = -M \cdot \varphi . \quad (2)$$

Уравнения равновесия (1) в этом случае будут иметь вид

$$M \cdot y' = C \cdot \varphi'; \quad M \cdot \varphi = -B \cdot y'' . \quad (3)$$

Дифференцируя первое соотношение (3) по  $x$  и исключая из обоих выражений производную  $y''$ , получим

$$\varphi'' + \frac{M^2}{BC} \varphi = 0 . \quad (4)$$

Полученное выражение по своей структуре в точности совпадает с решением для продольного изгиба стержня с опёртыми концами. С учётом краевых условий на концах балки получим

$$\sin \left( \sqrt{\frac{M^2}{BC}} l \right) = 0 .$$

Первая искривлённая форма равновесия появится при условии

$$\sqrt{\frac{M^2}{BC}} \cdot l = \pi ,$$

откуда 
$$M_{кр} = \frac{\pi\sqrt{BC}}{l}. \quad (5)$$

При значениях  $M < M_{кр}$  балка сохраняет единственно возможную плоскую форму равновесия, при  $M > M_{кр}$  - плоская форма равновесия неустойчива.

*2. Свободноопёртые и консольные балки при действии сосредоточенных сил или распределённых нагрузок.*

Определение критических нагрузок в этих случаях при решении дифференциальных уравнений (1) связано с определёнными трудностями, в частности, применением функций Бесселя или бесконечных рядов. При другом способе, основанном на вычислении изменения потенциальной энергии и работы внешних сил при переходе к искривленной форме равновесия, предложенном С.П. Тимошенко, при учёте одного или двух членов ряда значения критических нагрузок получаются практически такими, как и в первом способе. В обоих способах критические значения нагрузок могут быть представлены в форме (5), где вместо коэффициента  $\pi$  будут записаны конкретные числовые значения:

$$P_{кр} = \frac{k\sqrt{BC}}{l^2}; \quad q_{кр} = \frac{k\sqrt{BC}}{l^3}. \quad (6)$$

Значения коэффициентов  $k$  для различных схем балок и нагружений, взятые из работы С.П. Тимошенко [4], представлены в одной из колонок табл. 1.

Следует отметить, что при вычислении критических нагрузок согласно (6) для всех случаев загрузки считалось, что сосредоточенные силы  $P$  или распределённые нагрузки  $q$  приложены в уровне продольной оси балки. Если нагрузка приложена выше этой оси на расстоянии  $a$ , балки становятся менее устойчивыми. Для учёта этого обстоятельства при приложении поперечных нагрузок на верхней кромке балки ( $a = h/2$ ) в выражении (6) необходимо ввести коэффициенты  $\beta_2$  (табл.1), подсчитанные согласно [4] при малых отношениях  $a/l$  и отношении жёсткостей  $B/C = \sqrt{5}$ , характерном для деревянных балок прямоугольного сечения.

**Рекомендации для проверки устойчивости деревянных балок**

Для балок прямоугольного сечения высотой  $h$  и шириной  $b$  жёсткость на изгиб в плоскости  $xу$

$$B = EI_y = E \cdot \frac{hb^3}{12}, \quad (7)$$

жёсткость на кручение

$$C = G \cdot \frac{1}{3} b^3 h \left( 1 - 0,63 \frac{b}{h} \right). \quad (8)$$

Для древесины отношение модулей

$$\frac{E}{G} = \frac{10000}{500} = 20,$$

кроме того для узких прямоугольных сечений вторым слагаемым в скобках выражения (8) можно пренебречь, тогда радикал

$$\sqrt{BC} = \sqrt{E \frac{hb^3}{12} \cdot G \cdot \frac{1}{3} b^3 h} = \frac{E}{6\sqrt{20}} hb^3 = \frac{E}{26,832} hb^3. \quad (9)$$

При расчёте деревянных балок на устойчивость для критических нагрузок при изгибе балок согласно (6) кроме коэффициентов  $\beta_2$  необходимо ввести коэффициент

безопасности, равный отношению нормативного сопротивления изгибу к расчётному сопротивлению  $R_u^H/R_u$ . Значение нормативного сопротивления чистой древесины на изгиб согласно [1] составляет  $R_u^H = 57 \text{ МПа}$ . В этом случае при отношении  $E/R_u^H = 10000/57 = 175,4$  расчётные формулы проверки устойчивости балки могут быть представлены следующим образом

$$P \leq \bar{P}_{кр} = \beta_1^P \beta_2 \frac{hb^3}{l^2} R_u, \quad (10)$$

$$q \leq \bar{q}_{кр} = \beta_1^q \beta_2 \frac{hb^3}{l^3} R_u,$$

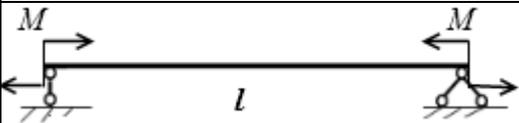
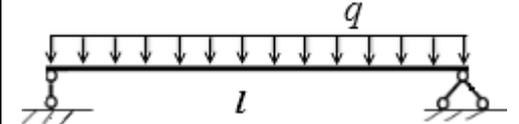
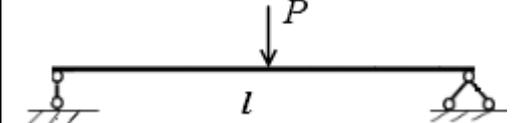
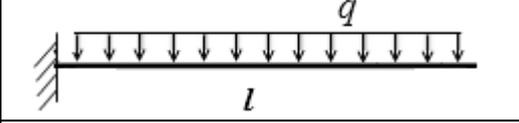
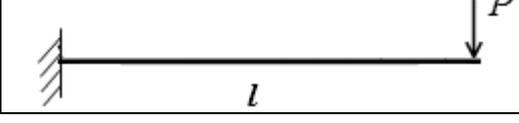
где  $\bar{P}_{кр}$ ,  $\bar{q}_{кр}$  - критические значения нагрузок в методе расчёта по предельным состояниям,

$\beta_1^P$ ,  $\beta_1^q$  - коэффициенты, представляющие собой произведение соответствующего коэффициента  $k$  согласно табл. 1 на отношение  $E/26,832 \cdot R_u^H = 6,54$ ,

$R_u$  - расчётное сопротивление древесины изгибу.

Таблица 1

Значения коэффициентов  $k$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$   
для определения критических нагрузок

Схема балки	$M$	$k$	Коэффициенты $\beta_1$			$\beta_2$
			$\beta_1^P$	$\beta_1^q$	$\beta_1^M$	
	$M$	3,14	-	-	20,54	1
	$\frac{ql^2}{8}$	3,54	-	186,16	23,27	$1-1,72 \frac{h}{l}$
	$\frac{Pl}{4}$	4,23	110,84	-	27,71	$1-1,95 \frac{h}{l}$
	$\frac{ql^2}{2}$	6,43	-	84,0	42,0	$1-2,22 \frac{h}{l}$
	$Pl$	4,01	26,22	-	26,22	$1-1,12 \frac{h}{l}$

Зная критические значения нагрузок согласно (10), можно для каждой схемы нагружения найти критические значения изгибающих моментов  $\bar{M}_{кр}$ , представив их в общем случае зависимостями

$$\bar{M}_{кр} = \beta_1^M \beta_2 \frac{hb^3}{l} R_u. \quad (11)$$

Значения коэффициентов  $\beta_1^M$ , как и других коэффициентов  $\beta_1^P$  и  $\beta_1^q$  представлены в той же таблице.

### Сравнение полученных результатов

Критическое значение изгибающего момента для балки прямоугольного сечения можно представить несколько иным образом

$$\bar{M}_{кр} = \varphi_m \cdot W \cdot R_u = \varphi_m \frac{bh^2}{6} R_u, \quad (12)$$

где  $\varphi_m$  - коэффициент, аналогичный коэффициенту продольного изгиба для центрально сжатого стержня и введенный в нормы проектирования [1].

Путём сравнения правых частей выражений (11), (12) получим выражение для определения этого коэффициента

$$\varphi_m = 6 \beta_1^M \beta_2 \frac{b^2}{lh}. \quad (13)$$

Как было отмечено ранее, в нормах проектирования приложение действующих нагрузок принято на оси балок, т.е. в (13) необходимо принять  $\beta_2 = 1$ , тогда числовые значения коэффициента  $6 \beta_1^M$  для случая чистого изгиба составят  $6 \cdot 20,54 = 123,2$ , а для свободноопёртой балки при действии равномерно распределённой нагрузки  $6 \cdot 23,27 = 139,6$ , т.е. этот коэффициент во втором случае в 1,13 раза будет больше, что совпадает с приведенным в нормах значением коэффициента  $k_\phi$ , учитываемого форму эпюры моментов по отношению к базовой для чистого изгиба, для которой  $k_\phi = 1$ .

Абсолютные значения коэффициентов  $\varphi_m$  согласно (13) при  $\beta_2 = 1$  для всех случаев загрузки балок получаются несколько меньшими (в 1,136 раза), чем принятые в нормах, поскольку в последних принято отношение  $E/R_u^H = 200$ , а в настоящем исследовании  $175,4$ . При введении в выражение (10) и далее отношения  $E/R_u = 200$ , значения коэффициентов  $\varphi_m \cdot k_\phi$  в нормах и вычисленных согласно (13) совпадают.

### ВЫВОДЫ

1. Определение расчётных зависимостей для критических нагрузок согласно (10) при принятых размерах сечения позволяет, не прибегая к определению внутренних усилий и напряжений, непосредственно оценить устойчивость деревянных балок.
2. Использование результатов фундаментальных исследований Л. Прандтля и С.П. Тимошенко для изгибаемых элементов позволило более подробно объяснить принятые предпосылки и методы определения расчётных значений критических изгибающих моментов, использованных затем в действующих нормах проектирования путём введения коэффициента  $\varphi_m$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1983. – 31 с.
2. Пособие по проектированию деревянных конструкций ( к СНиП II-25-80 ) / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
3. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. – К.: Наукова думка, 1972. – 505 с.
4. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. – М.: Наука, 1971. – 808 с.

Кумеда Ю.А., студент гр. ПГС-504, Линченко Ю.П., профессор.  
Национальная академия природоохранного и курортного строительства

## УСЛОВИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ФИРМЫ «КОНСОЛЬ»

*Описана методика применения крупнопанельных зданий в разных регионах Украины, разработаны и рассчитаны в ПК «МОНОМАХ» различные модели здания: 9, 12, 14, 16 этажей без сейсмики, и 9 этажей с сейсмической нагрузкой в 7, 8, 9 баллов.*

**панель, модель, расчет, методика, конструирование.**

### Введение

Строительная компания «Консоль ЛТД» строит новые дома по финской технологии, конструкции которых выполняются на Севастопольском заводе ЖБИ. Конструктивная схема здания: фундаменты – ленточные, стены – трёхслойные железобетонные панели, перекрытия – пустотные железобетонные плиты, кровля – плоская. Производительность завода – 100000 кв. м. жилья в год или 12 девятиэтажных домов. Для монтажа одного 9 этажного дома необходимо 4 месяца, для отделки – 2 месяца. Покупатель имеет возможность получить «готовую» квартиру с отделкой в течение всего полугода. Планы строительной компании на ближайшее будущее – на базе финской технологии реализовать проект социального жилья, стоимость которого с отделкой будет составлять порядка 800 у.е. за квадратный метр.

Цель исследований. Разработать методику применения крупнопанельных зданий в разных регионах Украины.

### Задачи

1. Разработать методику изменения параметров здания: увеличения этажности, увеличения сейсмической нагрузки.
2. Сравнить проектное армирование панели выполненное по проекту: „Комплекс жилой и общественной застройки по ул. Никонорова в г. Симферополь”, с полученными результатами, оценить возможность увеличения армирования.
3. Разработать методику изменения армирования панели.
4. Определить область применения трёхслойных панелей в качестве ограждающих конструкции в различных температурных зонах Украины.

### Методика исследований

Основным методом исследований является численный анализ конструкций. Нагрузки на диафрагму получены из расчета несущей системы здания на ПК МОНОМАХ программа КОМПОНОВКА. Расчет НДС и армирования выполнен на ПК МОНОМАХ программа РЗРЕЗ СТЕНА.

Анализ изменения армирования производится для панели первого этажа, увеличение этажности происходит путём копирования этажей. Рассмотрено 7 вариантов здания: 9, 12, 14, 16 этажей без сейсмики, и 9 этажей с сейсмической нагрузкой в 7, 8, 9 баллов. Общий вид модели здания представлен на рисунке 1.

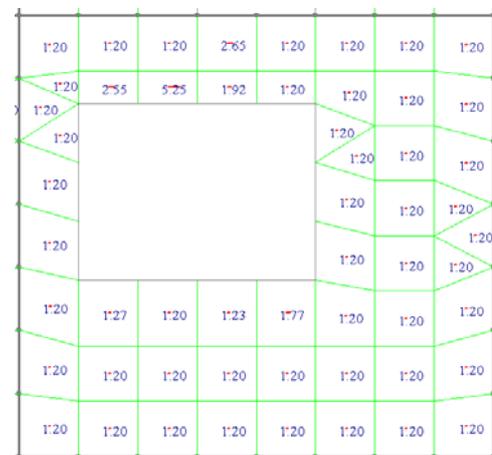
Фрагмент наружной стены первого этажа на котором показано армирование в см<sup>2</sup>/м показан на рисунке 2 и 3.



**Рис.1 Общий вид модели 9-ти этажного здания.**



**Рис. 2 Горизонтальное армирование.**



**Рис. 3 Вертикальное армирование.**

### Результаты исследований

Значения процентов армирования для расчета несущей способности вычислены для трёх точек панели:

- точка 1 с максимальным значением армирования в простенке;
- точка 2 с максимальным значением армирования в перемышке;
- точка 3 с максимальным значением армирования в подоконнике;

В результате анализа полученных результатов составлены таблицы 1 и 2.

Таблица 1

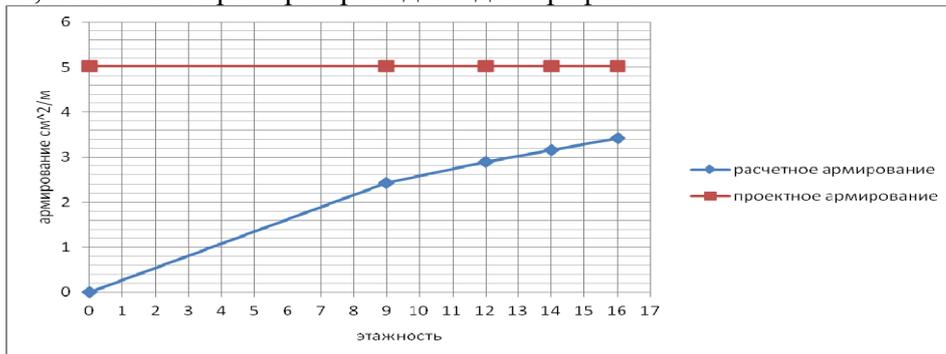
### Площадь горизонтальной арматуры.

Характеристика здания	Расчётная площадь арматуры в см <sup>2</sup> /м			Запас в проекте площади арматуры в %		
	Точка1	Точка2	Точка3	Точка1	Точка2	Точка3
9 этажей	1,2	2,1	1,29	60,2	62,8	79
12 этажей	1,2	4,4	1,41	60,2	22,1	77
14 этажей	1,2	4,8	1,59	60,2	15	74,2
16 этажей	1,2	5,25	1,77	60,2	7,08	71,3
9 этажей 7 баллов.	1,36	4,78	1,43	54,8	15,4	76,8
9 этажей 8 баллов.	5,4	6,36	4,71	-79,3	-12,6	23,6
9 этажей 9 баллов.	5,79	9,53	6,51	-92,2	-68,7	-5,5

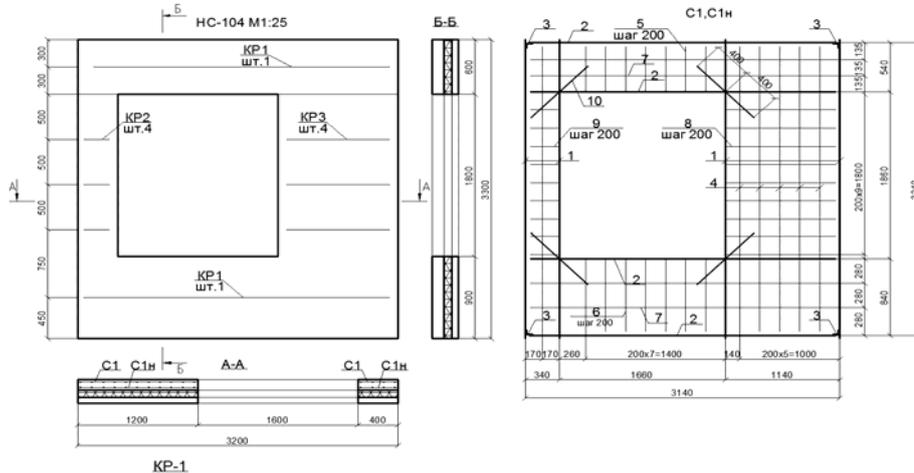
**Площадь вертикальной арматуры**

Характеристика здания	Расчётная площадь арматуры в см <sup>2</sup> /м			Запас в проекте площади арматуры в %		
	Точка1	Точка2	Точка3	Точка1	Точка2	Точка3
9 этажей	1,2	2,43	1,2	76,1	51,7	76,1
12 этажей	1,2	2,9	1,2	76,1	42,3	76,1
14 этажей	1,2	3,16	1,2	76,1	37,2	76,1
16 этажей	1,2	3,42	1,2	76,1	32	76,1
9 этажей 7 баллов.	1,2	4,04	1,2	76,1	19,7	76,1
9 этажей 8 баллов.	2,16	5,92	2,34	57	-17,7	53,5
9 этажей 9 баллов.	6,06	10,16	5,53	-20,5	-102	-10

Для наглядности построены графики на которых отображено изменение армирования, в качестве примера приведен один график:



**График 1** зависимость вертикального армирования перемычки от этажности.



**Спецификация элементов стеновой панели НС-104**

№	Обозначение	Арм. при 9 эт. 9 Б.	Арм. проектное	Кол-во
1	ГОСТ 6727-80	Ø 12 А-III L = 3200	Ø 12 А-III L = 3200	4
2	ГОСТ 6727-80	Ø 12 А-III L = 3000	Ø 12 А-III L = 3000	4
3	ГОСТ 6727-80	Ø 12 А-III L = 300	Ø 12 А-III L = 300	4
4	ГОСТ 6727-80	Ø12А- III L = 3020	Ø 8 А-III L = 3020	4
5	ГОСТ 6727-80	Ø12А- III L = 540	Ø 8 А-III L = 540	8
6	ГОСТ 6727-80	Ø12А- III L = 840	Ø 8 А-III L = 840	8
7	ГОСТ 6727-80	Ø8А- III L = 3080	Ø 6 А-I L = 3080	4
8	ГОСТ 6727-80	Ø8А- III L = 1140	Ø 6 А-I L = 1140	9
9	ГОСТ 6727-80	Ø8А- III L = 340	Ø 6 А-I L = 340	9
10	ГОСТ 6727-80	Ø18А- III L = 800	Ø 12 А-III L = 800	4
		КР-1	КР-1	
11	ГОСТ 5781-82	Ø 8 А-III L = 3080	Ø 6 А-I L = 3080	2
12	ГОСТ5781-82	Ø 6 А-I L = 100	Ø 6 А-I L = 100	16
		КР-2	КР-2	
13	ГОСТ5781-82	Ø8А- III L = 340	Ø 6 А-I L = 340	2
14	ГОСТ5781-82	Ø 6 А-I L = 100	Ø 6 А-I L = 100	3
		КР-3	КР-3	
15	ГОСТ5781-82	Ø8А- III L = 1140	Ø 6 А-I L = 1140	2
16	ГОСТ5781-82	Ø 6 А-I L = 100	Ø 6 А-I L = 100	5

Горизонтальная арматура в простенке 7,04см<sup>2</sup>/м.  
 Горизонтальная арматура в перемычке 11,33см<sup>2</sup>/м.  
 Горизонтальная арматура в подоконнике 5,87см<sup>2</sup>/м.  
 Вертикальное армирование в панели 5,655см<sup>2</sup>/м.

**Рис. 4** Общий вид панели НС-104, сетки С1, С1н, каркасы КР – 1, КР – 2, КР – 3, спецификация элементов.

Проектное армирование выполнено по проекту: „Комплекс жилой и общественной застройки по ул. Никонорова в г. Симферополь” разрабатывалось для зданий 9 этажей, сейсмической нагрузкой 7 баллов, по расчёту несущая способность обеспечена. Сравнивая результаты расчёта с проектом видно что не меняя конструкцию панели можно строить здания 16 этажей но без сейсмической нагрузки. При сейсмической нагрузке выше 7 баллов требуется увеличение площади армирования.

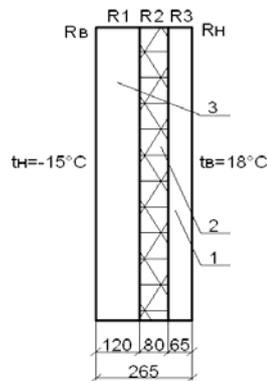
Пример армирования панели выполненный при максимальных значениях армирования, в 9-ти этажном здании при сейсмической нагрузке в 9 баллов показан на рис. 4.

Жирным шрифтом показана арматура которую требуется изменить по сравнению с проектом „Комплекс жилой и общественной застройки по ул. Никонорова в г. Симферополь”. Изменяя площадь отдельных стержней арматуры можно увеличить процент армирования, при этом опалубка для изготовления панели остаётся неизменной.

Выполним теплотехнический расчет для определения термического сопротивления наружной конструкции.

Стены выполненной из: несущий слой железобетон=2500 кг/м<sup>3</sup>, утеплитель=40 кг/м<sup>3</sup>, наружный фактурный слой=1400 кг/м<sup>3</sup>. Нормативная температура холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 составляет -15 °С (согласно ДБН В 2.6.31-2006 ).

1) Стена панели толщиной 265мм.



**Рис. 4. Стена панельного здания.(1- фактурный слой из лёгкого бетона, 2- утеплитель пенополистирол, 3-несущий слой из тяжелого бетона.**

Общее сопротивление теплопередачи при прохождении теплового потока через ограждающую конструкцию: где

$R_B=0,133 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  и  $R_H=0,05 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  – сопротивление теплоотдачи и тепловосприятия;

$R_1=\delta_1/\lambda_1$ ,  $R_2=\delta_2/\lambda_2$  и  $R_3=\delta_3/\lambda_3$ – термические сопротивления отдельных материалов ограждающей конструкции, причем:

$\delta_1=0,065\text{м}$ ,  $\delta_2=0,08\text{м}$  и  $\delta_3=0,12\text{м}$  – толщина элементов конструкции;

$\lambda_1=0,52 \text{ Вт/м}^\circ \text{С}$ ,  $\lambda_2=0,041 \text{ Вт/м}^\circ \text{С}$  и  $\lambda_3=1,92 \text{ Вт/м}^\circ \text{С}$  – коэффициенты теплопроводности материалов (нормативные значения взяты из ДБН В 2.6.-31.2006 в зависимости от объемного веса материала, от влажности и от условий эксплуатации).

$$R_1= 0,065/0,52=0,125 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

$$R_2= 0,08/0,041=1,95 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

$$R_3= 0,12/1,92=0,063 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

$$R_0=0,133+0,125+1,95+0,063+0,05=2,321 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

Термическое сопротивление  $R_0=2,32\text{м}^2\text{°C/Вт} > R_3=2,2 \text{ м}^2\text{°C/Вт} > R_4=2 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$

## ВЫВОДЫ:

1. Проект выполненный подразделением „Консоль – проект г. Севастополь” можно использовать при строительстве зданий до 16 этажей без учёта сеймики, 9 этажей при сейсмической нагрузке в 7 баллов.

2. Исход из теплотехнического расчёта наружную панель с толщиной утеплителя 8 см можно применять в 3 и 4 температурных зонах Украины, для 1 и 2 зоны необходимо предусмотреть увеличение толщины утеплителя.

3. Армирование панели первого этажа предварительное, необходимо уточнить армирование на верхних этажах.

4. Работу необходимо продолжить в направлении расчётного анализа стыков стеновых панелей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МОНОМАХ. Программный комплекс проектирования железобетонных конструкций многоэтажных каркасных зданий. Руководство пользователя. / [Юсипенко С.В., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Рассказов А.А.]. – К: издательство «Факт», 2005. – 250с

2. Рабочей проект „Комплекс жилой и общественной застройки по ул. Никонорова в г. Симферополь”.

3. Страшко Р.Г., Линченко Ю.П. „Численное исследование стыка стеновых панелей”. Сборник выпуск 27 „Строительство и техногенная безопасность” Симферополь 2009г.

4. Никитин К.В., Линченко Ю.П. „Расчёт узлов и стыков стеновых панелей на сейсмическое воздействие”. Сборник выпуск 28 „Строительство и техногенная безопасность” Симферополь 2010г.

УДК 629.124.74:622.242

*Лившиц Б.Р.*

ОАО «ЦКБ «Коралл» г. Севастополь.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕНЕТРАЦИИ ОПОРНЫХ КОЛОНН САМОПОДЪЕМНОЙ ПЛАВУЧЕЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ В ГРУНТ

*Рассматриваются вопросы определения пенетрации опорных колонн СПБУ в грунт по упрощенной методике. Анализируются полученные результаты с величиной пенетрации СПБУ при постановке на грунт.*

**пенетрация, СПБУ, опорные колонны, башмак, давление.**

В настоящее время ни в Украине, ни за ее пределами не существует стандартизированной методики определения пенетрации колонн самоподъемных плавучих буровых установок (СПБУ) в грунт. Также не существует строгих математически обоснованных подходов к определению параметров взаимодействия опорных колонн и грунта. Некоторые результаты экспериментальных исследований содержит [1], в которой приведены расчетные формулы :

$$Q = [6 \cdot (1 + 0,2 \frac{D}{B}) s_{avg}] A + \gamma' V - \text{ по методу Скемптона (Skempton method)}$$

где  $D$  - глубина пенетрации башмака;

$B$  - эквивалентный диаметр башмака;

$s_{avg}$  - среднее значение прочности грунта на сдвиг;

$A$  - максимальная площадь поперечного сечения башмака;

$\gamma'$  - среднее значение веса грунта выше башмака;

$V$  - объем башмака;

Другой известной формулой служит :

$$Q = [5,14 \cdot (1,2 + 0,4 \tan^{-1} \frac{D}{B}) s_{uavg}] A + \gamma' V - \text{ по методу Хансена (Hansen method)}$$

Еще одним известным методом определения глубины пенетрации является метод Хоулсби и Мартина (Houlsby&Martin Method)

В тоже время, важность определения характеристик взаимодействия опорных колонн и грунта, очевидна, т.к. влияние величины пенетрации опорной колонны в грунт и характеристики взаимодействия оказывают существенное влияние не только на принятие технических решений при проектировании элементов опорно-подъемного устройства (ОПУ) - башмаков и колонн, но и на принятие решений по общей концепции самоподъемной платформы (обеспечение общей прочности и устойчивости).

В настоящей статье представлена упрощенная методика определения пенетрации опорных колонн. На рисунке 1 представлена схема влияния пенетрации опорных колонн и характеристик взаимодействия башмака с грунтом на проектные параметры при разработке концепции ОПУ СПБУ.

Глубина пенетрации опорных колонн в грунт  $l_{пен}$  складывается из двух составляющих – продавливание (или точнее «протыкание») грунта в момент установки платформы ( $l_{прод}$ ) и просадка при действии всего веса СПБУ ( $l_{пр}$ ):

$$l_{пен} = l_{прод} + l_{пр} \quad (1)$$

В основе определения пенетрации опорных колонн в грунт за счет продавливания допустимо использовать гипотезу представления грунта как упруго - пластической среды.

Большинство решений задачи о несущей способности за счет сил трения, основано на определении сопротивления грунта развивающегося по боковой поверхности башмака и части опорной колонны. На основании ряда методик, разработанных М.И. Горбуновым - Посадовым, М.С. Грутманом, Л.С. Лapidусом, Ф.К. Лапшиным, можно определить давление обжатия в точках опорного башмака при погружении опорной колонны в грунт. Здесь рассматривается осесимметричная плоская деформация расширения отверстия от нулевого радиуса до радиуса башмака [2].



**Рис. 1. – Схема влияния пенетрации опорных колонн при взаимодействии с грунтом на определение характеристик СПБУ**

В общем случае можно выделить упругую и пластические области с границей между ними в виде окружности радиуса  $r = \rho$ . Компоненты напряжений в упругой области:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= F / r^2 + p \\ \sigma_0 &= -F / r^2 + p \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $p$  – природное горизонтальное давление покоя на данной глубине (знак + для сжимающих напряжений);

$F$  - усилие при задавливании опорной колонн в грунт.

В пластической области, принимая для грунта условие прочности Кулона – Мора, получаем:

$$\sigma_r = (p_r + c \operatorname{ctg} \varphi) (2r/D)^{\xi-1} - c \operatorname{ctg} \varphi \quad (3)$$

$$\sigma_0 = \xi (p_r + c \operatorname{ctg} \varphi) (2r/D)^{\xi-1} - c \operatorname{ctg} \varphi \quad (4)$$

здесь  $p_r$  – радиальное давление на контуре отверстия, образующегося при задавливании

$c$  и  $\varphi$  – сцепление и угол внутреннего трения грунта;

$$\xi = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi) \quad (5)$$

Из условия равенства компонентов напряжения на границе упругой и пластической областей по выражению (2) получим :

$$p = [(p + c \operatorname{ctg} \varphi)(1 + \xi) / 2(p + c \operatorname{ctg} \varphi)]^{1/(1-\xi)} D / 2 \quad (6)$$

Исходя из того, что образование отверстия в грунте является следствием его уплотнения в пластической и упругой областях, находим деформацию изменения объема в точке с координатой  $r$ , определяя ее через начальный коэффициент пористости  $\varepsilon$  :

$$e_v = [\varepsilon - \varepsilon(r)] / (1 + \varepsilon) \quad (7)$$

Используя линейный закон компрессии и принцип гидроемкости Н.М. Герсеванова найдем :

$$e_v = (1 - 2\mu) [(1 + \mu) / (p + c \operatorname{ctg} \varphi) (2r/D)^{\xi-1} (1 + \xi) - 2c \operatorname{ctg} \varphi] - 2p / E_0 \quad (8)$$

$\mu$  - коэффициент поперечного расширения грунта;

$E_0$  - начальный модуль деформации грунта при задавливании.

Для башмака, работающего с вытеснением грунта т.е. с расширением отверстия от нулевого радиуса до радиуса башмака изменение объема в пластической области описывается уравнением :

$$\Delta V = \int_0^{\rho} \int_0^{2\pi} e_v r dr d\theta \quad (9)$$

Учитывая уплотнение грунта в упругой области, определим радиальное давление  $p_{бок}$ , которое представляет собой величину обжатия ствола сваи [4]:

$$p_{бок} = \left[ \frac{E}{4p_0(1 - \mu^2) - 2p_0(2 - \mu)} \right]^{1 + \frac{\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} (p_p + c \operatorname{ctg} \varphi) - c \operatorname{ctg} \varphi \quad (10)$$

Давление грунта  $p_p, p_0$ , кПа, определяют по формулам при плотности грунта  $\gamma_1$ :

$$p_0 = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma_1 h; \quad (11)$$

$$p_p = p_0(1 + \sin \varphi) + c \cos \varphi \quad (12)$$

Величины удельного сопротивления грунта под нижним концом сваи  $p_{con}$  ( $R = p_{con}$  в обозначениях СНиП [3]) и предельного радиального давления  $p_{\dot{a}i\dot{e}}$  при погружении связаны зависимостью :

$$p_{con} = (p_{бок} + n_2 c) / n_1 \quad (13)$$

где  $c$  - удельное сцепление грунта природного сложения;

$n_1$  и  $n_2$  - геометрические коэффициенты, зависящие от формы башмака и внутреннего трения грунта  $\varphi$ . В таблице 1 представлены эти коэффициенты для башмаков традиционного типа.

$\mu$  - коэффициент поперечного расширения, определяемый экспериментально или принимаемый приближено по эмпирическим зависимостям, в частности, для глинистых грунтов - по показателю текучести  $I_L$ ;

$E$  - модуль деформации основания.

Таблица 1

Коэффициент	Угол внутреннего трения грунта $\varphi$ , град.									
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
$n_1$	0,53	0,48	0,41	0,35	0,30	0,24	0,20	0,15	0,10	0,06
$n_2$	0,94	0,88	0,83	0,78	0,73	0,69	0,65	0,62	0,58	0,54

Величина суммарного усилия, требующегося для вдавливания башмака в грунт, определяется по формуле :

$$F_u = 0,8 p_{con} A_{\sigma_{aui}} + 0,75 p_{\sigma_{ок}} A_{\sigma_{.n}} \quad (14)$$

где  $A_{\sigma_{aui}}$  - площадь опорной части башмака;

$A_{\sigma_{.n}}$  - площадь боковой поверхности башмака и опорной колонны

В вышеприведенном выражении коэффициенты 0,8 и 0,75 носят смысл коэффициентов работы при определении составляющих от давления под башмаком опорной колонны и от давления по боковой поверхности башмака и опорных колонн.

Рассмотрение принятой расчетной схемы и напряженно - деформированного состояния грунта вокруг вдавливаемого башмака позволяет утверждать, что используемый в выражении модуль является модулем мгновенных деформаций  $E_0$  при быстром вытеснении упругого грунтового тела в окружающий массив. Для несвязной среды  $E_0$  определяется упругими свойствами частиц и практически равен модулю упругости  $E_e$ . Выражение модуля деформаций  $E_e$  при идеально-сыпучих грунтах может быть получено в виде [4]:

$$E_e = n_5^{\frac{1+\sin \varphi}{\sin \varphi}} E_0 \quad (15)$$

где  $n_5$  - коэффициент, зависящий от и внутреннего трения грунта  $\varphi$  (см. таблицу 2);

Таблица 2.

Величина коэффициента $n_5$				
$\varphi$	10	20	30	40
$n_5$	1.1	1.3	1.4	1.6
$n_5^{\frac{1+\sin \varphi}{\sin \varphi}}$	1.90	2.80	2.74	3.33

Формула модуля деформаций  $E_e$  позволяет получать значения модуля мгновенных деформаций, который в несколько раз превышает величины штампового модуля  $E_S$ , приводимые в нормах или определяемые по традиционным эмпирическим зависимостям.

Дискретно-непрерывное вытеснение грунта из-под башмака при погружении колонны в водонасыщенные суглинки и глины сопровождается нарушением их природного сложения. Прочность основания снижается в несколько раз, что может быть учтено путем использования остаточного удельного сцепления  $C_w = \delta C$ , где  $C$  -

начальное удельное сцепление, а величина  $\delta$  для четвертичных глинистых грунтов от мягкопластичной до твердой консистенции вычисляется как :

$$\delta = 1 - 0,75\sqrt{1 - 1,78I_L^2}, \text{ что при } I_L = 0,4 - 0,7 \text{ дает } \delta = 0,36 \dots 0,73 \quad (16)$$

Таким образом, удельное сцепление грунта под башмаком при вдавливании должно определяться с учетом  $C_w$ .

Также следует иметь ввиду, что угол внутреннего трения грунтов с нарушенной структурой изменяется в широком диапазоне и зависит от многих факторов. Для задач по определению пенетрации опорных колонн в грунт изменение угла внутреннего трения может быть учтено как  $\varphi_w = 0,9\varphi$ , где  $\varphi$  - начальный угол внутреннего трения.

С учетом определенной величины  $E_e$  следует определить дополнительную осадку грунта по линейно-деформированной схеме на основании методики СНиП [5] по формуле:

$$l_{np} = \frac{p_{под} D k_c}{k_m} \sum_{i=1}^n \frac{k_i - k_{i-1}}{E_i} \quad (17)$$

где  $p_{под}$  – среднее давление под подошвой;

$D$  – диаметр башмака;

$k_c$  и  $k_m$  - коэффициенты, принимаемые по таблицам 3 и 5;

$n$  - число слоев, различающихся по сжимаемости в пределах расчетной толщи слоя;

$k_i$  и  $k_{i-1}$  - коэффициенты, определяемые в зависимости относительной глубины, на которой расположены подошва и кровля  $i$ -го слоя соответственно  $\zeta_i = 2z_i/b$  и  $\zeta_{i-1} = 2z_{i-1}/b$  по таблице 4.

$E_i$  - модуль деформации  $i$ -го слоя грунта

Таблицы 3,4,5 составлены на основании рекомендаций СНиП [3]

Таблица 3

**Коэффициент  $k_c$**

Относительная толщина слоя $\zeta' = 2H/D$	Коэффициент $k_c$
$0 < \zeta' \leq 0,5$	1,5
$0,5 < \zeta' \leq 1$	1,4
$1 < \zeta' \leq 2$	1,3
$2 < \zeta' \leq 3$	1,2
$3 < \zeta' \leq 5$	1,1
$\zeta' > 5$	1,0

Таблица 4

**Коэффициент  $k$**

–	
$\zeta = 2z/D$	$k$
0,0	0,0
0,4	0,090
0,8	0,179
1,2	0,266
1,6	0,348
2,0	0,411

Таблица 5

**Коэффициент  $k_m$**

–	
Среднее значение модуля деформации грунта основания $E_s$	Значения коэффициента $k_m$ при диаметре башмака $D$ , м, равной

МПа	$D < 10$	$10 \leq D \leq 15$	$D > 15$
$E < 10$	1	1	1
$E \geq 10$	1	1,35	1,5

Высота линейно-деформируемого слоя  $H$  при диаметре фундамента  $D \geq 10$  м и среднем значении модуля деформации грунтов основания  $E \geq 10$  МПа, вычисляется по формуле :

$$H = 1,2(H_0 + \psi D) \quad (18),$$

где  $H_0=9$  м и  $\psi=0,15$  для глинистых грунтов 9 м и 0,15 и  $H_0=6$  м и  $\psi=0,1$  для песчаных грунтов;

Если основание сложено пылевато-глинистыми и песчаными грунтами, значение  $H$  определяется по формуле :

$$H = H_s + h_{cl} / 3 \quad (19),$$

где  $H_s$  – толщина слоя, вычисленная по формуле в предположении, что основание сложено только песчаными грунтами;

$h_{cl}$  – суммарная толщина слоев пылевато-глинистых грунтов.

Для практических целей определения пенетрации предлагается использовать подход в следующей последовательности :

1. В таблице определяются величины давления на грунт, передающегося от башмака СПБУ и удельного сопротивления грунта под башмаком при различном заглублении. Определяется усилие задавливания.

2. По таблице или с помощью графика давлений определяется глубина пенетрации  $l_{прод}$ .

3. Строится график зависимости сопротивления от глубины пенетрации  $R = f(h_r)$ .

На кривой определяется местоположение точки, соответствующей равенству давлений от задавливания СПБУ  $p = F / A_{баш}$  и предельного давления слоя  $p_{соп}$ . На графике, по вертикальной оси определяется величина усилия задавливания  $F_u$ .

4. Определяется величина модуля упругости слоя грунта под башмаком опорной колонны с учетом нарушения структуры  $E_e$ .

5. Определяется величина дополнительной просадки опорной колонны по линейно-деформированной схеме  $l_{пр}$  при передаче полной величины усилия на грунт.

6. Определяется суммарная пенетрация :  $l_{пен} = l_{прод} + l_{пр}$

В качестве примера приведем расчет заглубления колонн СПБУ «Мурманская» при установке в Южно-Китайском море ( $106^{\circ}49'30''$  и  $9^{\circ}26'45''$ ). На рисунке 2 показана схема установки СПБУ. Диаметр башмака опорной колонны  $D_{баш}=16$  м, усилие при задавливании колонны в грунт составляет около 75500 кН.

Грунтовые условия площадки [6] установки СПБУ представлены в таблице 6.

В таблице 7 представлен ход вычисления величины  $F_u$  по вышеприведенной методике, а на рисунках 3 и 4 представлены поясняющие графики.

Таблица 6

**Грунтовые условия площадки установки СПБУ**

№ ИГЭ	Глубина залегания грунта, м	Наименование грунта	Взвешенный объёмный вес грунта $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Сцепление $C$ , КПа
1	0.0 -1.0	песок	8.5	17	
2	1.0 -8.8	песок	9.5	30	
3	8.8 – 13.2	глина	9.3		115

4	13.2 - 16.0	глина	8.9		75
5	16.0 -18.2	глина	8.9		59
6	18.2 -20.0	песок	9.3	35	

Таблица 7

**Определение усилия задавливания**

Нагрузка при задавливании F, кН	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500
Пенетрация $h_{п}$ , м	1	2	3	4	5	6	7	8
Диаметр башмака $D_{баш}$ , м	10	16	16	16	16	16	16	16
Площадь башмака $A_{баш}$ , м <sup>2</sup>	79	201	201	201	201	201	201	201
Давление на грунт, кПа $p_{гр}$	962	376	376	376	376	376	376	376
Площадь бок.поверхности $A_{бок}$ , м <sup>2</sup>	0	30	50	50	50	50	50	50
Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	17	30	30	30	30	30	30	30
Сцепление c, кПа	1	1	1	1	1	1	1	1
Коэффициент $\mu$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Удельный вес (взвешенный) $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	8.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Модуль деформаций E, кПа	3000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
$p_0$ , кПа	2.125	4.75	7.125	9.5	11.875	14.25	16.65	19
$p_p$ , кПа	3.7	8.0	11.6	15.1	18.7	22.2	25.8	29.4
$p_{бок}$ , кПа	46.4	157.3	188.1	217.0	244.2	270.1	294.9	318.7
$n_2$ , кПа	0.77	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
$n_1$ , кПа	0.88	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
$P_{соп}$ , кПа	53.6	202.5	242.0	279.0	313.9	347.1	378.9	409.4
Усилие задавливания $F_u$ , кН	3365	36090	45952	52989	59629	65938	71970	77767

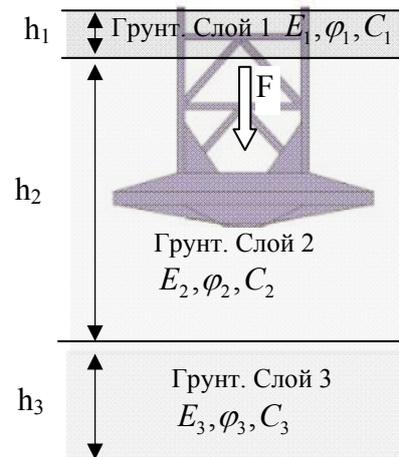
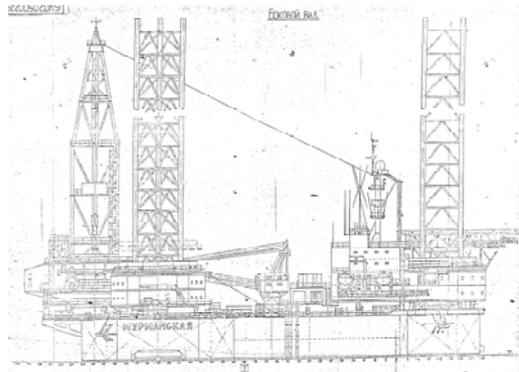


Рисунок 2 – СПБУ «Мурманская»

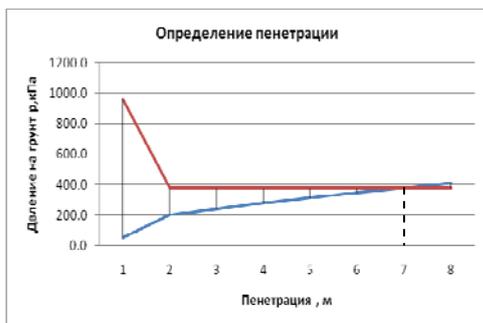


Рисунок 3 –  
Определение пенетрации



Рисунок 4 – Определение глубины продавливания

По графику определяется величина  $l_{prod}=7,0$  метра

Далее выполняется пересчет коэффициента сцепления слоя 3 при  $\delta \approx 0,7$   $C_0=0,7 \times 115=80,5$

кПа и модуля упругости слоя 2 по формуле 15 при  $E_e = n_5 \frac{1+\sin \varphi}{\sin \varphi} E_0 \approx 2,73 \times 5000=13650$  кПа

Величина дополнительной просадки опорной колонны по формуле 17, определенная по линейно-деформированной схеме составляет  $l_{np}=0,4$  м.

Суммарная величина пенетрации составляет  $l_{nen} = l_{prod} + l_{np} = 7,0 + 0,4 = 7,4$  м

Фактически в месте установки СПБУ «Мурманская» величина пенетрации составила 7,1 метра, что показывает высокую точность примененного метода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. OTC 19545 Comparison of Jackup Rig Spudcan Penetration Methods in Clay. David Menzies, Fugro-McClelland Marine Geoscience, Inc., and Richard Roper, ENSCO International, Inc. / Материалы Offshore Technology Conference / Houston, 2008.
2. Караулов А.М. Несущая способность оснований осесимметричных фундаментов и сооружений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Санкт-Петербург, 2008 – 36 с.
3. СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты» М., Стройиздат, 1995 – 46 с.
4. Савинов А.В. Применение свай, погружаемых вдавливанием, при реконструкции исторической застройки городов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Волгоград, 2008 – 34 с.
5. СНиП 2.02.01-83\* «Основания зданий и сооружений», М., Стройиздат, 1995 – 49 с.
6. Geo Lab Report. For installation of jack-up rig at block conductor complex «BK10-LQ10» nearby BK-1 platform «White Tiger» oilfield block 09-1 offshore Vietnam. Vietsovpetro Research&Engineering Institut, Vung Tau, 2007 – 18 с.

**УДК 652;69.1.**

**Литовченко П.А., к.т.н., доцент, Глушаков Н.И..**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

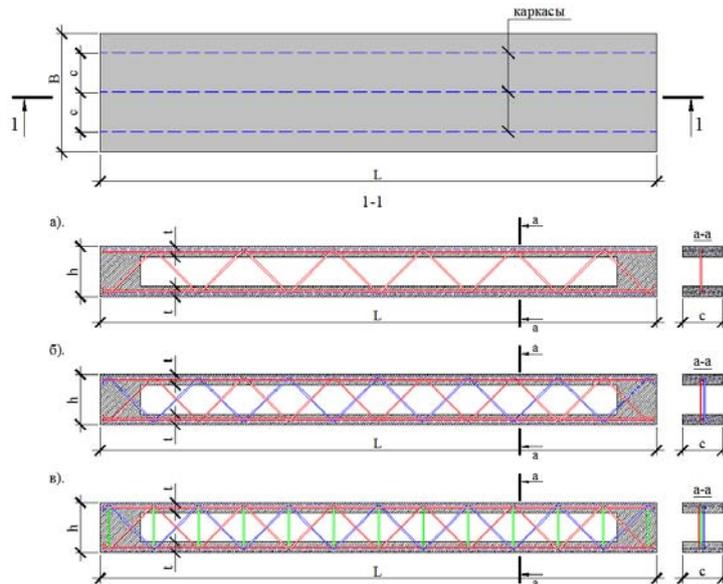
## **ЗАВИСИМОСТЬ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОБЛЕГЧЁННЫХ ТРЁХСЛОЙНЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ ОТ ДИАМЕТРА РАСКОСОВ, ПРИ ИЗГИБЕ.**

*Изучено влияние диаметра раскосов, на несущую способность панелей, при изгибе. Выявлено, что при увеличении диаметра раскосов увеличивается и несущая способность, до тех пор, пока разрушение панелей происходит от потери устойчивости раскосов. Дальнейшее увеличение диаметра раскосов не оказывает существенного влияния на несущую способность панелей.*

**Многослойные конструкции, диаметр раскосов, трёхслойные железобетонные панели, несущая способность.**

**Введение. Анализ публикаций.** Многослойные конструкции в настоящее время находят всё большее применение в строительстве, прежде всего благодаря своим отличным тепло- и звукоизоляционным характеристикам, что в свою очередь ведёт к снижению затрат при эксплуатации зданий. Вместе с тем работа многослойных конструкций под нагрузкой изучена не достаточно. В большей степени изучены

многослойные конструкции с монолитной связью слоёв, в меньшей степени с дискретными связями [6]. Трёхслойные сборно-монолитные железобетонные панели относятся к многослойным конструкциям с дискретными связями, из них довольно интенсивно ведётся строительство, однако простого метода оценки прочности и деформативности данных панелей, который к тому же учитывал бы действующие нормы в строительстве, на данном этапе развития нет. Это является основанием для изучения поведения данных панелей под нагрузкой, для последующего создания метода оценки их прочности и деформативности.



**Рис.1. Конструктивная схема панели: а – с одиночными каркасами, б – с двойными каркасами, в – с тройными каркасами.**

Трёхслойная сборно-монолитная панель представляет собой конструктивный элемент, состоящий из наружных несущих слоёв, выполненных из мелкозернистой бетонной смеси и среднего слоя утеплителя (как правило, пенополистирол). Совместная работа наружных несущих слоёв обеспечивается стальными каркасами, выполненными из арматурной проволоки [4]. Пояса каркасов надёжно анкерятся в наружных бетонных слоях панели. Количество рядов устанавливаемых каркасов может быть 1, 2 и 3 шт. (см. рис. 1).

**Цель и постановка задач исследования.** Изучить влияние диаметра раскосов панелей на их несущую способность при изгибе.

**Методика исследования.** Для возможности исследования данных панелей под нагрузкой было проведено ограниченное число натурных испытаний, согласно действующим стандартам [5], на основании результатов которых построены адекватные численные модели в ПК ЛИРА и уже с использованием численных моделей выполнялись исследования. Численные модели на опорах закрепляли жёстко, что соответствует реальной схеме работы панелей в перекрытии.

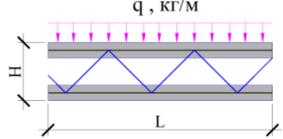
Прочностные и деформативные характеристики элементов численной модели, принимали такие же, как у опытных образцов. Их определяли путём испытаний вспомогательных образцов на сжатие (бетонные кубы, призмы) и растяжение (куски арматурной проволоки), согласно действующим стандартам [1,2,3].

При изучении поведения трёхслойных сборно-монолитных железобетонных панелей под нагрузкой, оказалось, что в большинстве случаев разрушение происходит от потери устойчивости раскосов подверженных сжатию, при этом в остальных конструктивных элементах панели, как правило, остаётся значительный запас прочности. В связи с этим были проведены исследования, в которых изучали влияние диаметра раскосов на несущую способность панели и характер её разрушения. Данные исследования проводили

на панели с одиночными каркасами, высотой 15 см и длиной 2 м см. табл. 1. Значение диаметров варьировали от Ø6 до Ø20мм, в качестве арматуры принимали арматуру класса А-I, при этом продольную арматуру каркасов, которая расположена в теле бетона, во всех случаях оставляли постоянной.

Таблица 1

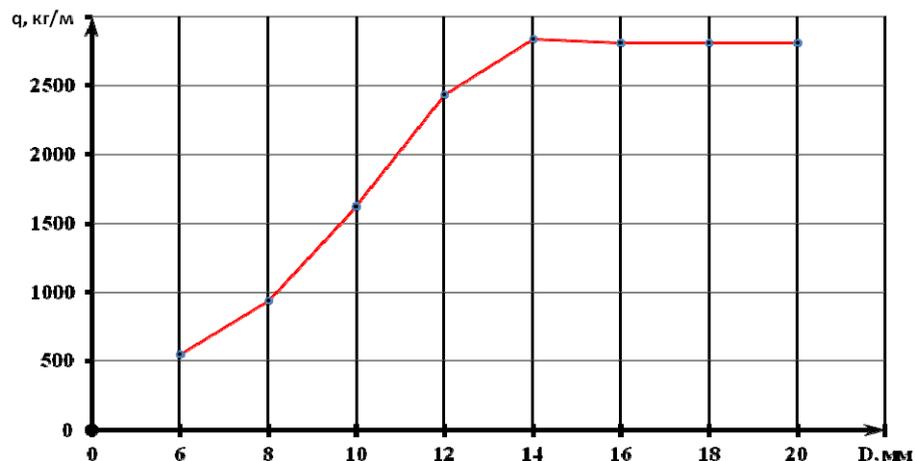
**Зависимость предельной разрушающей нагрузки и характера разрушения трёхслойных панелей от диаметра раскосов**

№ п/п	Типы панелей		Высота панелей – Н, см	Класс бетона	Диаметр раскосов, мм	Нагрузка (q, кг/м) и характер разрушения	
	Наименование	Эскиз				L = 2 м	
1	Панель с одиночным каркасом		15	В15	Ø 6	550 (1.2)	■
					Ø 8	940 (1.86)	■
					Ø 10	1620 (3.47)	■
					Ø 12	2430 (7.08)	■
					Ø 14	2840 (9.5)	▲
					Ø 16	2810 (8.7)	▲
					Ø 18	2810 (8.58)	▲
					Ø 20	2810 (8.48)	▲

**Примечания:**

- Характер разрушения образца:
  - - потеря устойчивости раскосов подверженных сжатию;
  - ▲ - разрушение бетона от сжатия в пролёте.
- В скобках указан прогиб в пролёте в мм.
- Закрепление панелей на опорах принято жёстким.
- Характеристики панели: шаг каркасов С=150 мм, толщина наружных бетонных слоёв панели t=40 мм, угол наклона раскосов - 45°, раскосы Ø6 – Ø20 мм, арматура А-I.

**Результаты и их анализ.** По результатам исследования определили, что с увеличением диаметра раскосов предельная разрушающая нагрузка до определённого значения увеличивается почти линейно, после чего перестаёт расти и становится постоянной, см. рис. 2, то есть раскосы после некоторого значения диаметра перестают играть решающую роль в работе конструкции.



**Рис. 2. Зависимость предельной нагрузки (q) от диаметра (D) раскосов каркаса**

При увеличении диаметра раскосов с 6 до 12 мм предельная разрушающая нагрузка возрастает почти в пять раз, см. табл. 1, но разрушение по-прежнему происходит от потери устойчивости раскосов подверженных сжатию. Однако здесь следует указать на то, что если при диаметрах 6, 8 мм для разрушения достаточно было потери устойчивости

одного раскоса (по одному у каждого края панели), то при диаметрах 10, 12 мм после потери устойчивости одним раскосом конструкция продолжает работать, то есть не превращается в механизм и только после потери устойчивости второго раскоса происходит разрушение.

Начиная с диаметра раскосов 14 мм и до диаметра 20 мм, разрушение панели происходит по верхнему сжатому железобетонному слою в пролёте панели, то есть от разрушения сжатых бетона и арматуры. Здесь также следует уточнить, что при диаметре раскосов 14 мм сначала теряют устойчивость по два раскоса у опор, однако разрушения панели от этого не происходит, в итоге разрушение происходит по верхнему сжатому железобетонному слою панели в пролёте. При диаметрах 16, 18 и 20 мм потери устойчивости раскосов подверженных сжатию вообще не происходит, а разрушение происходит по верхнему сжатому железобетонному слою панели в пролёте, в этих случаях напряжения в наиболее нагруженных раскосах не превышают 50% предельно возможных.

Стоит также отметить, что прочность бетона растянутых зон используется полностью и начиная с определённых значений нагрузок растягивающие напряжения воспринимаются только арматурой. Начиная с диаметра 14 мм, в опорных растянутых зонах напряжения в арматуре достигают предела текучести, после чего в панели наблюдается перераспределение усилий с опорных зон в пролётную зону и соответственно более интенсивно происходит деформирование панели.

Деформативность (прогибы в пролёте) панелей с увеличением диаметра раскосов уменьшается, это происходит от того что конструкция становится более жёсткой и взаимные смещения наружных железобетонных слоёв панели уменьшаются.

Также с увеличением диаметра раскосов значительно увеличивается трещиностойкость панелей.

## **ВЫВОДЫ**

На основании проведённых исследований можно сделать ряд выводов:

- с увеличением диаметра раскосов значительно увеличивается и несущая способность панели. Увеличение диаметра раскосов играет роль до определённого значения, до которого разрушение панели происходит от потери устойчивости раскосов, дальнейшее увеличение диаметра раскосов никакого эффекта не приносит;
- с увеличением диаметра раскосов увеличивается процент использования других конструктивных элементов панели до 90%;
- с увеличением диаметра раскосов уменьшается деформативность панели, то есть увеличивается жёсткость;
- с увеличением диаметра раскосов повышается трещиностойкость конструкции;

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 12004-81 Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение.
2. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
3. ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
4. ГОСТ 6727-80 Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций.
5. ДСТУ Б.В.2.6-7-95 Изделия строительные бетонные и железобетонные сборные. Методы испытания нагружения. Правила оценки прочности, жёсткости и трещиностойкости. – К.: Укрархбудинформ, 1995. – 44с.
6. Е.А. Король. Трёхслойные ограждающие железобетонные конструкции из лёгких бетонов и особенности их расчёта. – М.: АСВ, 2001г. – 255с.
7. К. Штамм. Х. Витте. Многослойные конструкции. – М.: Стройиздат, 1983г. – 296с.

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ЗОВНІШНЬОЮ АРМАТУРОЮ

*У статті пропонується розрахунок залізобетонних балок, підсилених за допомогою зовнішньої арматури у вигляді взаємопов'язаних зтяжки і розтяжок. Представлений удосконалений підхід при розрахунку таких позацетрово стиснутих балок та блок-схема розрахунку.*

**Залізобетонна балка, підсилення, зовнішня арматура, розрахунок, блок-схема, міцність, жорсткість**

**Постановка проблеми.** У зв'язку з тривалою експлуатацією значної кількості будівель і споруд постійно збільшуються обсяги робіт з реконструкції та модернізації будівель. При цьому виконується оцінювання фізичного та морального зношення конструктивних елементів, приймаються рішення про ремонт і підсилення будівельних конструкцій. Як відомо, залізобетонні балки, що входять до складу конструктивної схеми будівель, часто мають значні дефекти та пошкодження.

Тому актуальною проблемою постає вибір необхідного способу і конструктивного вирішення підсилення згинальних елементів, яке дозволило б підвищити міцність, тріщиностійкість, жорсткість залізобетонних балок. За рахунок перетворення сил зовнішнього навантаження у сили обтиску можна при підсиленні більш повно використати характеристики міцності бетону і сталі. Разом з цим виникає питання розрахунку і оцінки напружено-деформованого стану таких підсилених балок.

**Стан вивчення проблеми.** Обтиснення балок за допомогою спеціальних конструкцій підсилення позитивно впливає на їх роботу, підвищуючи їх несучу здатність, жорсткість та довговічність. Тому обтиску приділяється значна увага у дослідженнях вітчизняних і закордонних вчених. Серед них: Азізов Л. Н., Бабиш С. М., Бамбура А. Н., Вахненко П. Ф., Гвоздев О. О., Гийон И., Гладишев Д. Г., Голишев А. Б., Григорян Г. С., Домбаев И.А., Дорофеев В. С., Зайцев Л. Н., Залесов А. С., Кінаш Р. І., Коковін О. А., Крилов С. М., Кукунаев В. С., Лолейт А. Ф., Мурашов В. И., Онуфрієв М. М., Панюков Е. Ф., Погребний Я. Ф., Попов П. П., Рабінович І.М., Столяров Я. В., Чеканович М. Г., Шагін А.Л., Янкелевич В. А.

Недоліком традиційного обтискання балок є обмежений діапазон варіювання зусилля обтиску в залежності від прикладеного навантаження. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми є застосування регульованої конструкції підсилення балки, що автоматично створює необхідний обтиск в опорних перерізах згинального елемента, компенсуючи значною мірою негативний вплив зовнішнього навантаження.

Отже, створення залізобетонних конструкцій із зовнішнім армуванням у вигляді сталевих зтяжок є перспективним та ефективним методом обтискання згинальних елементів. Цьому питанню присвячені дослідження багатьох відомих вчених, таких як: Онуфрієв М. М. [1], Голишев А. Б., Ткаченко І. Н. [2], Фомиця Л. Н., Леонгарт Ф. [3], Шагіним А.А., Домбаєвим І. [4], Семірненко Ю.І. [5] та ін.

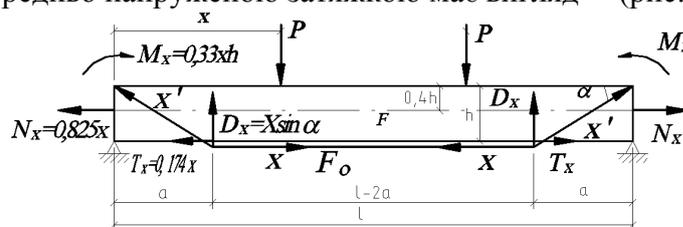
Як відомо, влаштування горизонтальних, шпренгельних та комбінованих зтяжок перетворює конструкцію на комбіновану систему, що складається з балкового залізобетонного елемента та сталевих зтяжок. Такі системи є статично невизначеними. В них виникають додаткові зусилля, які визначаються за допомогою розв'язання рівнянь статички, а також можуть враховуватись деформації системи. У зв'язку з цим тяжі зтяжок повинні розглядатися в сумісній роботі з балковими елементами залізобетонних

конструкцій, на які вони встановлені. Ця сумісна робота проявляється у виникненні невизначених зусиль розтягу в затяжках від будь-якого зовнішнього навантаження залізобетонного елемента після того, як затяжка з попереднім напруженням включається в роботу. Оскільки реактивний опір від затяжки передається позацентрово на опорні перерізи балочного елемента, в останньому, крім стиску, виникають кінцеві моменти, що змінюють відповідні прольотні згинальні моменти від зовнішнього навантаження. При шпренгельних і комбінованих затяжках, окрім вищенаведених зусиль, на елемент діють додаткові розвантажувчі зусилля в місцях перегинів тяжів. Тяжі взаємодіють з балкою в прольоті за допомогою поперечних підкладок.

Таким чином, згинальні елементи залізобетонних конструкцій із зовнішнім армуванням у вигляді затяжки перетворюються на позацентрово стиснуті, змінюючи одночасно свою початкову конструктивну схему.

На практиці часто застосовуються затяжки шпренгельного типу. Розрахунок залізобетонних балок, підсилені шпренгельними затяжками, в праці [1] Онуфрієва зводиться до використання розрахункових таблиць, з яких знаходиться зайва невідома  $X$ , – зусилля в шпренгельній затяжці для різних видів навантаження. Розрахункові таблиці представляють собою визначені ординати та площі ліній впливу для відповідних типів комбінованих систем. Задача по знаходженню зусилля  $X$  полягає у виводі виразу для визначення ординат ліній впливу.

Розрахункова схема комбінованої системи підсиленої залізобетонної балки шпренгельною попередньо напруженою затяжкою має вигляд (рис. 1).



**Рис.1. Розрахункова схема комбінованої системи, створена шпренгельними затяжками**

Горизонтальне зусилля, що передається на похилі частини тяжів за виключенням сил тертя:

$$N_x = X \frac{\cos \alpha}{f_o \sin \alpha + \cos \alpha} \quad (1.1)$$

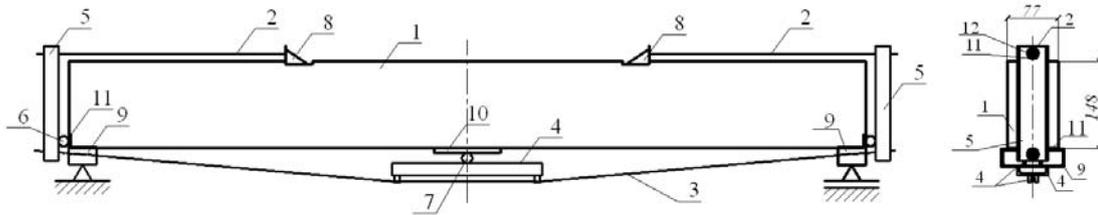
Оскільки для шпренгельних затяжок  $\alpha$  практично змінюються в межах від  $15^\circ$  до  $35^\circ$ , були складені таблиці для визначення зусилля обтиску.

Методика розрахунку балок, підсилені одночасно затяжкою і розтяжкою, а також підсилення, що передбачає саморегульований поперечний і поздовжній обтиск балки, на сьогодні недостатньо розроблені.

**Завдання і методика досліджень.** Завданням роботи є створення ефективних систем підсилення та дослідження напружено – деформованого стану таких регульованообтиснених залізобетонних балок із зовнішнім армуванням, а також розробка методики розрахунку міцності конструкцій з урахуванням роботи створеної системи регулювання.

#### **Основна частина.**

Негативним наслідком дії згинального моменту на балку є не тільки утворення нормальних тріщин на нижній фібрі в зоні чистого згину, а й надмірний стиск верхньої фібри балки, що може викликати появу горизонтальних тріщин. Для підвищення міцності на згин пропонується підсилення залізобетонної балки у вигляді саморегульованих затяжки в нижній розтягнутій частині та розтяжки у верхній стисненій частинах балки [6,7]. Загальний вигляд такої конструкції підсилення наведений на рис 2.



1 - залізобетонна балка, 2 – затяжка, 3 – розтяжка, 4, 5 – нижня та бокові траверса; 6, 7 – котки.

Рис. 2. Загальний вигляд балки, підсиленої затяжкою та розтяжкою збоку та з торця

Конструкція підсилення складається з затяжки, розтяжок, траверс по середині прольоту балки та по її торцях, а також котків.

Деформована схема роботи запропонованої конструкції підсилення зображена на рис. 3. Тут  $\Delta_{1x}$ ,  $\Delta_{1y}$  – горизонтальне переміщення та прогин балки в місці закріплення розтяжки;  $\Delta_{2x}$  - горизонтальне переміщення на торці балки, в місці закріплення шарніру;  $\Delta_{3y}$  - максимальний прогин по середині балки. Зазначені величини є параметрами даної системи і при розрахунку уточнюються на кожній наступній ітерації.

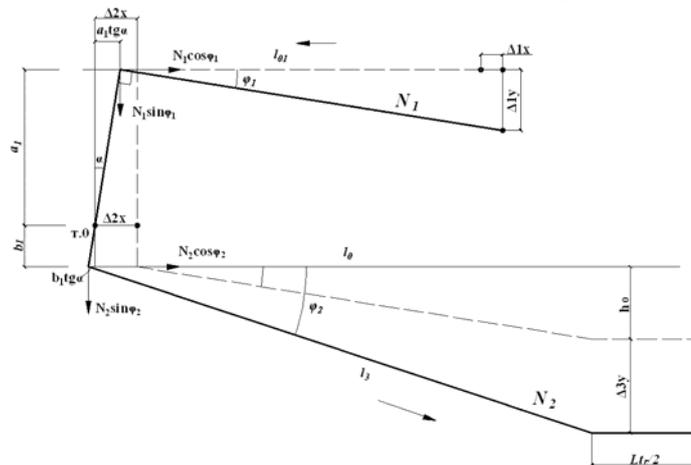


Рис. 3. Схема зовнішнього армування балки у вигляді запропонованої конструкції затяжки, розтяжки та траверс

Для знаходження зусиль, відносних деформацій арматури затяжки і розтяжки та інших параметрів запропонованої конструкції підсилення розв'язується система з семи рівнянь, в якості яких використані наступні залежності:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\Delta_{1y}}{(\Delta_{2x} - a_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha) + l_{o1} + \Delta_{1x}} \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{h_o + \Delta_{3y}}{l_o + \Delta_{2x} + b_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (2)$$

$$N_1 = \left[ \frac{l_{o1} + (-\Delta_{2x} - a_1 \cdot \tan(\alpha)) + \Delta_{1x}}{\cos(\varphi_1) \cdot l_{o1}} - 1 \right] E_s \cdot A_1 \quad (3)$$

$$\frac{N_1 \cdot a_1 \cdot \cos(\varphi_1) \cdot (1 + \tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_1))}{b_1 \cdot \cos(\varphi_2) \cdot (1 + \tan(\alpha) \cdot \tan(\varphi_2))} = \left[ \frac{\left( \frac{l_{o1} + (-\Delta_{2x}) + b_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi_2} \right) - \left( \sqrt{l_o^2 + h_o^2} \right)}{\sqrt{l_o^2 + h_o^2} + \frac{L_{tr}}{2}} \right] \cdot E_s \cdot A_2 \quad (4)$$

Несучу здатність залізобетонних елементів на дію згинальних моментів та поздовжніх сил визначають виходячи з наступних передумов :

1. Розрахунковим вважається переріз, деформації в якому рівні середнім по довжині блока між тріщинами (якщо тріщини є).

2. Середні деформації бетону та арматури розподіляються по висоті перерізу згідно з гіпотезою плоских перерізів.

3. Деформації у звичайній арматурі або приріст деформацій у попередньо напруженій арматурі однакові з оточуючим їх бетоном як при розтягу, так і при стиску.

4. Зв'язок між напруженнями та деформаціями для бетону (рис. 4) описується степеневим поліномом.

5. Зниження зусилля, що сприймається розтягнутою зоною бетону за рахунок впливу прогресуючого тріщиноутворення, враховується множенням умовних напружень розтягу бетону на коефіцієнт

$$\psi_{bt_i} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{bt}}{\varepsilon_i}} \quad (5)$$

де  $\varepsilon_2$  – відносні деформації крайньої розтягнутої фібри.

6. Зв'язок між напруженнями та деформаціями арматурної сталі приймається у вигляді окремих лінійних ділянок діаграми (рис. 5), параметри якої отримують експериментальним шляхом.

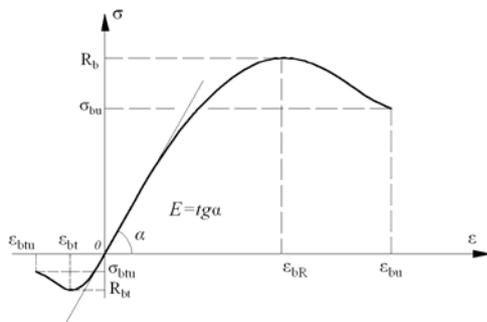


Рис. 4. Розрахункова діаграма «σ-ε» бетону

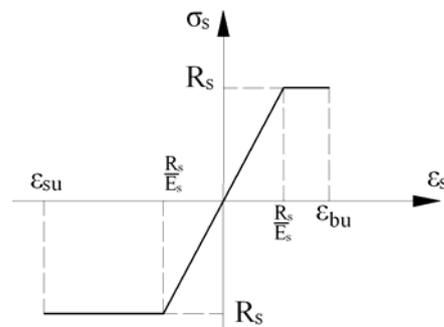


Рис. 5. Розрахункова діаграма «σ-ε» арматурної сталі

Виходячи з наведених вище передумов, рівняння рівноваги в будь-якому перерізі мають наступний вигляд:

$$N = \int_A \sigma_b \cdot dA + \sum_{i=1}^m \sigma_{si} \cdot A_{si} \quad (6)$$

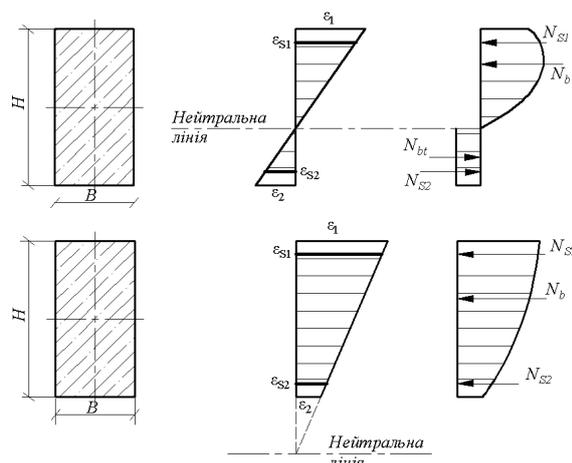
$$M = \int_A \sigma_b \cdot h \cdot dA + \sum_{i=1}^m \sigma_{si} \cdot h_{si} \cdot A_{si} \quad (7)$$

де  $\sigma_b$  - нормальні напруження на елементарній площині  $dA$  перерізу, що розташована на відстані  $h$  від нейтральної лінії;

$\sigma_{si}$ ,  $A_{si}$ ,  $h_{si}$  - нормальні напруження, площа та відстань до нейтральної лінії  $i$ -го арматурного стрижня.

Відповідно до прийнятих передумов, напружено-деформований стан прямокутного перерізу при позacentровому стиску і згині наведений на рис. 6. При цьому виникають дві основні форми рівноваги перерізу:

1. Нейтральна лінія знаходиться у межах висоти перерізу, існує розтягнута зона.
2. Нейтральна лінія знаходиться за межами перерізу, відсутня розтягнута зона.



**Рис. 6. Основні форми рівноваги прямокутного перерізу.**

Розкривши визначений інтеграл для знаходження напружено – деформованого стану стиснутого бетону прямокутного перерізу балки для першої форми рівноваги, одержимо:

$$N_{bi} = R_b \cdot \frac{B}{\chi} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \cdot \frac{\varepsilon_1^{k+1}}{\varepsilon_{bR}^k} \quad (8)$$

$$M_{bi} = R_b \cdot \frac{B}{\chi^2} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \cdot \frac{\varepsilon_1^{k+2}}{\varepsilon_{bR}^k} \quad (9)$$

Для другої форми рівноваги:

$$N_{bi} = H \cdot B \cdot R_b \cdot \sum_{k=1}^5 a_k \cdot \frac{\varepsilon_2^{k+1}}{\varepsilon_{bR}^k} + R_b \cdot \frac{B}{\chi} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \cdot \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^{k+1}}{\varepsilon_{bR}^k} \quad (10)$$

$$M_{bi} = R_b \cdot \frac{B}{\chi^2} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \cdot \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^{k+2}}{\varepsilon_{bR}^k} \quad (11)$$

В загальному вигляді рівняння рівноваги для прямокутного перерізу з врахуванням системи підсилення набудуть вигляду:

$$N_{bi}(\varepsilon_1; \varepsilon_2) + N_{si}(\varepsilon_1; \varepsilon_2) - N_p(z, N_1, \phi_1, \phi_2) = 0 \quad (12)$$

$$M_{bi}(\varepsilon_1; \varepsilon_2) + M_{si}(\varepsilon_1; \varepsilon_2) - M_{pверт}(z, N_1, \phi_1, \phi_2) - M_{pзовн}(z) - N_p(z, N_1, \phi_1, \phi_2) \cdot \left( \left| \frac{H}{2} - h(\varepsilon_1; \varepsilon_2) \right| + e \right) = 0 \quad (13)$$

де  $N_p$  - поздовжня сила від впливу конструкції підсилення;

$M_{pp}$  - момент від зовнішнього навантаження, включаючи власну вагу і вагу конструкції підсилення;

$M_{pверт}$  - момент від вертикальних складових зусиль конструкції підсилення

$h$  - відстань від нейтральної лінії до нижньої фібри перерізу балки.

Блок-схема розрахунку залізобетонної балки, підсиленої зтяжкою та розтяжкою, представлена на рис.7:

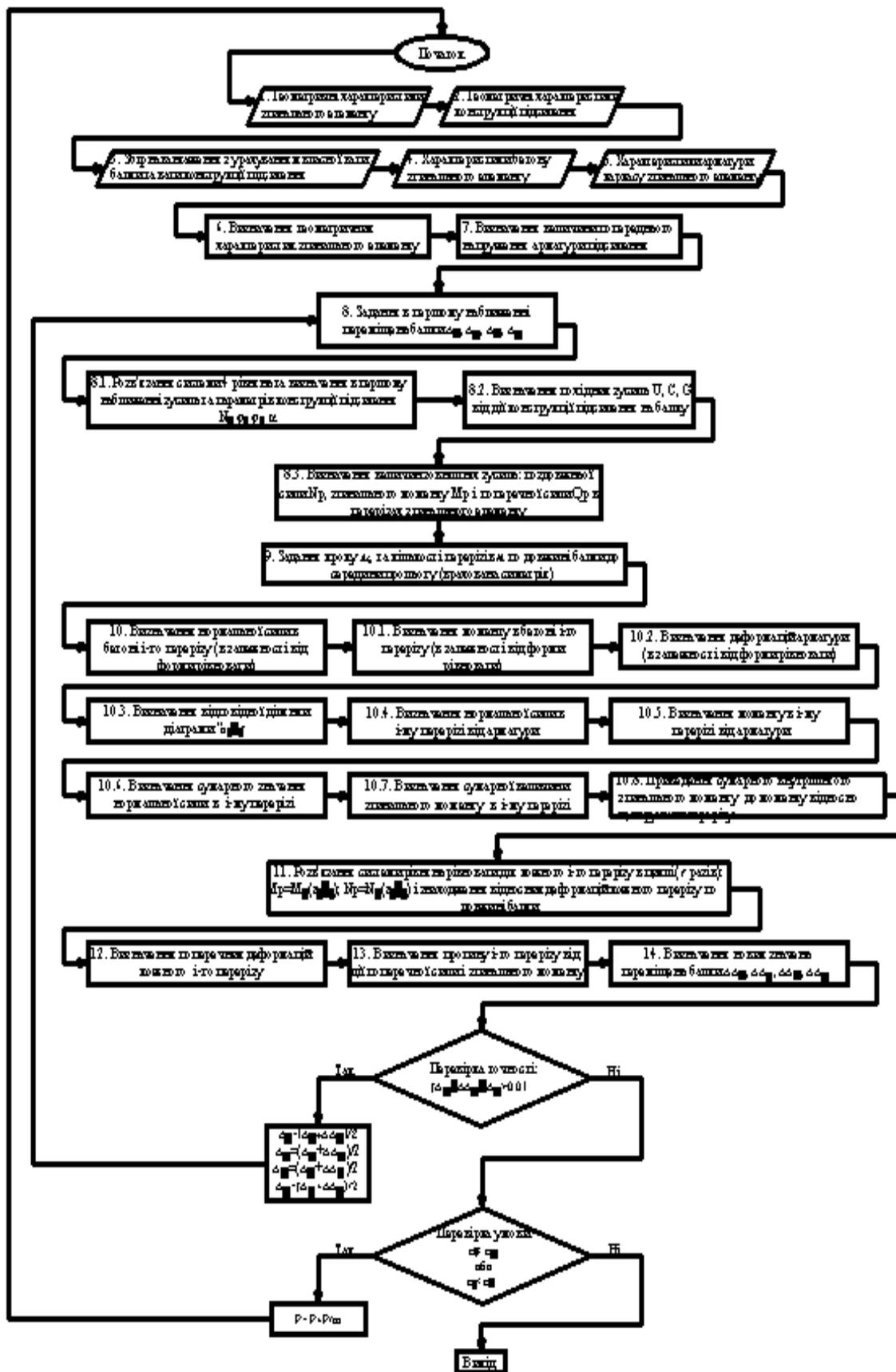


Рис. 7. Блок-схема розрахунку несучої здатності залізобетонних балок прямокутного перерізу, підсилених зовнішньою арматурою

## ВИСНОВКИ.

1. Запропонована розрахункова схема конструкції підсилення залізобетонних балок зовнішньою регульованою арматурою.

2. Розроблена методика розрахунку міцності залізобетонних балок, підсилених зтяжкою і розтяжкою, що враховує повну діаграму « $\sigma$ - $\epsilon$ » бетону і дозволяє з високою точністю та достовірністю моделювати реальну роботу конструкцій на всіх стадіях навантаження до її руйнування для кожного перерізу по довжині балки.

3. Розроблено блок-схему розрахунку міцності прямокутних перерізів залізобетонних балок із зтяжкою і розтяжкою, яка реалізована на ПЕОМ в програмному комплексі Mathcad.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Онуфриев Н. М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений.- Ленинград, 1965.-342 с.
2. Гольшев А.Б., Ткаченко И.Н. Проектирование усиленных несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений. - К.: Логос, 2001.-172с.
3. Леонгардт Ф. Напряженно армированный железобетон и его практическое применение. Пер. с нем. - М: Госстройиздат, 1957. - 589с.
4. Шагин А.Л., Домбаев И.А. Обжатие конструкций шпренгельным подкреплением с горизонтальными участками// Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техника, 1997. - № 8. - С.33-36.
5. Семирненко Ю.И. Регулирование напряженно-деформированного состояния железобетонных балок. Дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Сумы, 1998.- 172 с.
6. Чеканович О.М. Патент України №87047 на винахід «Регульованообтиснена залізобетонна балка» від 10.06.2009. Бюл.№5.
7. Чеканович М.Г., Чеканович О.М. Патент України №75653 на винахід «Балка» від 15.05.2006. Бюл.№5.
8. Бамбура А.Н. До врахування попереднього напруження при оцінці напружено-деформованого стану розрахункового перерізу за деформаційною моделлю// Збірник наукових праць. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. Випуск 59, книга 1. - К.: НДІБК, 2003. - С. 121-130.
9. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов т.ІІ.- М., 1965, 480 с.
10. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. – К., 2011
11. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. К., 2011.

## **Раздел 2.**

# **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

УДК: 666.9: 691.511: 691.316

Любомирский Н.В., к.т.н., доцент, Бахтина Т.А., к.т.н., Бахтин А.С., ассистент,  
Джелял А.Э., инженер

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

### **ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ИЗВЕСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИСКУССТВЕННО КАРБОНИЗИРОВАННОГО КАМНЯ**

*Исследовано изменение прочности известковых образцов в зависимости от качества извести и концентрации углекислого газа в процессе карбонизации. Проведена оптимизация технологических параметров получения известковых карбонизированных образцов с использованием методов оптимального планирования эксперимента. Построены трехмерные области оптимальных параметров получения карбонизированных материалов, позволяющие комплексно оценить совместное влияние качественных показателей известкового вяжущего, концентрации углекислого газа, водосодержания сырьевой смеси и продолжительности карбонизации.*

**Известь, концентрация углекислого газа, карбонизационное твердение, оптимизация технологических параметров, прочность.**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Внедрение в производство новых технологий получения строительных материалов и изделий требует тщательного изучения всех этапов и параметров процесса. Авторами статьи была предложена технология производства стеновых материалов на основе извести методом искусственной карбонизации по замкнутому циклу, состоящая в получении комовой негашеной извести, гашении извести в пушонку, формовании кирпича из смеси гидратной извести и карбонатного наполнителя, обработке кирпича отходящими печными газами [1]. Предыдущими исследованиями установлено, как на физико-механические свойства карбонизированных материалов влияют параметры их формования и продолжительность карбонизации [2]. В перспективе промышленного производства, помимо уже полученных данных, важными факторами, которые могут существенно повлиять на свойства получаемых строительных материалов, являются качественные характеристики извести, определяемые технологическими параметрами ее изготовления, а также концентрация углекислого газа в отходящих печных газах.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Основным технологическим процессом при производстве извести является обжиг известняка:



Из работ, посвященных изучению обжига известняка при получении негашеной извести, известно, что температура образования окиси кальция оказывает исключительно большое влияние на ее реакционную способность [3, 4]. Различие в реакционной способности извести, обожженной в неодинаковых условиях, обусловлено размерами ее кристаллитов, их удельной поверхностью. Процесс спекания протекает во времени,

причем каждой температуре соответствует определенное состояние кристаллической решетки, и как следствие, определенная реакционная активность CaO. Плотный известняк, из которого углекислый газ удален при 800°C, практически не меняется в объеме, средняя плотность при этом очень близка к теоретическому значению – 1,57 г/см<sup>3</sup>. Такой низкотемпературный обжиг приводит к появлению кристаллитов окиси кальция размером около 0,3 мкм, причем все частицы имеют примерно одинаковую величину. При повышении температуры обжига CaCO<sub>3</sub> происходит рост кристаллов CaO. Так при 900°C размер их составляет 0,5 – 0,6 мкм, при 1000°C – 1 – 1,5 мкм, при 1100°C – 2,5 мкм. При 1200°C частицы сначала увеличиваются до 6 – 13 мкм, а затем наступает спекание. Каждому размеру частиц соответствует определенная величина их плотности. Так, спекание начинается при плотности 2,45 – 2,5 г/см<sup>3</sup>. Длительная выдержка при температуре 1400°C и выше дает полностью спекшиеся образцы с плотностью 3,3 г/см<sup>3</sup>, так называемый «пережог».

Согласно литературным источникам [3, 4], наибольшей активностью и скоростью гашения характеризуется известь, обожженная при температуре 900 – 1000 °С.

О влиянии концентрации углекислого газа на процесс карбонизации известкового теста существует несколько взглядов. К.С. Зацепин и З.Л. Борисова [5] считали, что процесс нормальной карбонизации возможен при концентрациях углекислого газа не менее 25 – 30 %. При более низких концентрациях образуется поверхностная пленка, замедляющая интенсивность процесса. Розенфельд Л.М., опроверг данное утверждение и показал, что процесс карбонизации в пористых массах не зависит от концентрации в газоздушном смеси углекислого газа, а является функцией времени процесса карбонизации. В работе бельгийских ученых О. Cizer, К. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert [6] показано, что процесс карбонизации в известковых образцах проходит как при 100 %-й концентрации CO<sub>2</sub>, так и 20 %-й. При этом степень карбонизации достаточно высокая в обоих случаях, но не полная, т.к. данные термического анализа показывают присутствие гидроксида кальция в известковом растворе в количестве 3 % и 5 %, соответственно. Главное отличие в структуре образцов по данным исследователей состояло в размере кристаллов кальцита – структура образцов, карбонизированных в среде 100 % CO<sub>2</sub>, была представлена ромбоэдрическими кристаллами кальцита размером до 2 мкм, а образцы, карбонизированные в среде 20 % CO<sub>2</sub>, состояли из ромбоэдрических кристаллов кальцита размером менее 1 мкм. Это, вероятно, приводит к различию не только в структуре и пористости, но и в физико-механических свойствах известковых карбонизированных образцов.

Концентрация углекислого газа в отходящих печных газах зависит от типа и мощности печного агрегата и в среднем составляет 20 – 40 % [7].

## **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Целью данной работы является исследование закономерностей изменения физико-механических свойств карбонизированных материалов на основе извести в зависимости от качества исходных компонентов и технологических параметров процесса карбонизации.

## **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Для определения совместного влияния температуры обжига известняка, концентрации углекислого газа в карбонизационной камере, водосодержания сырьевой смеси и времени карбонизации на свойства карбонизированных известковых образцов, применялись методы математического планирования эксперимента. Оптимизацию проводили на основе рототабельного центрального композиционного плана (РЦКП).

Условия планирования эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Условия планирования эксперимента**

Наименование фактора	Ед. изм.	Код	Уровни варьирования				
			-2	-1	0	1	2
Температура обжига, Т	°С	X <sub>1</sub>	800	900	1000	1100	1200
Концентрация CO <sub>2</sub>	%	X <sub>2</sub>	10	30	50	70	90
Время карбонизации, t	ч	X <sub>3</sub>	1	3	5	7	9
Влажность сырьевой шихты, W	%	X <sub>4</sub>	5	10	15	20	25

Для обжига использовали нуммулитовый известняк Бахчисарайского месторождения, фракцией 10-20 мм. Химический состав нуммулитового известняка представлен в таблице 2.

Таблица 2

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	п.п.п.
0,67	0,3	0,24	54,3	0,34	0,02	44,13

Обжиг известняка осуществляли в электрической лабораторной муфельной печи. Исследуемая температура изотермической выдержки составляла 800, 900, 1000, 1100, 1200 °С. Время подъема температуры до температуры изотермической выдержки составляло 60 мин. Время изотермической выдержки – 180 мин.

После охлаждения известь затворяли водой в количестве 60 % мас. для получения извести-пушенки с остаточной влажностью 1 – 2 % мас., после чего полученный продукт высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 105 °С.

Из полученной извести-пушенки методом полусухого прессования формовали образцы-цилиндры. Удельное давление прессования было постоянным и составляло 7,5 МПа. Изготовленные образцы подвергали обработке углекислым газом разной концентрации в лабораторной карбонизационной камере [8] в течение 1 – 9 ч.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

В результате обжига известняка при различной температуре было получено несколько видов извести, свойства которых представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Свойства извести, обожженной при различной температуре**

№ образца	Температура обжига, °С	Активность извести, %	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г
1	800	22,8	-
2	900	-	14555
3	1000	100	13245
4	1100	-	11420
5	1200	94,3	8130

Данные об удельной поверхности подтверждают уменьшение кристаллов извести с уменьшением температуры обжига.

Физико-механические свойства карбонизированных известковых образцов представлены в табл. 4 – 5.

Табличные данные показывают, что образцы, полученные из извести низкотемпературного обжига обладают меньшей прочностью, по сравнению с образцами на основе извести, полученной при 1000 – 1100 °С. Прочность на сжатие большинства образцов увеличивается после продолжительного хранения. Время карбонизации незначительно влияет на прочность испытываемых образцов – после 7 ч карбонизации прочность увеличивается в среднем на 10 – 20 % по сравнению с образцами, карбонизированными в течение 3 ч.

Стандартная обработка рототабельного плана [9] позволила вывести уравнения регрессии (1) – (2), описывающие аналитическую функцию изменения технологических параметров от исследуемых факторов, на основании которых были построены график (рис. 1), отображающий зависимость прочности известковых карбонизированных образцов

от температуры обжига известняка, концентрации CO<sub>2</sub> в камере карбонизации и водосодержания известкового теста, и трехмерные поверхности отклика (рис. 2 – 3), отображающие оптимальные области и их сечения для получения карбонизированных известковых образцов прочностью 10 и 15 МПа, обладающих водостойкостью не менее 0,8.

Таблица 4

**Физико-механические характеристики карбонизированных известковых образцов, полученных из теста с 10 %-м содержанием воды и хранившихся в нормальных воздушно-сухих условиях**

Параметры получения опытных образцов			Прочность, R <sub>сж</sub> , МПа, в возрасте, сут			Коэффициент размягчения K <sub>p</sub> в возрасте, сут	
температу-ра обжига, °С	время карбо-низации, час	концент-рация CO <sub>2</sub> , %	после карбо-низации	7	160	после карбо-низации	160
900	3	30	6,2	6,6	7,7	0,94	0,92
		70	7,1	5,9	6,9	0,68	0,68
	7	30	5,8	4,8	7,9	0,91	0,87
		70	8,0	7,0	7,2	0,82	0,93
1100	3	30	8,4	10,5	12,9	0,88	0,73
		70	8,4	7,7	9,5	0,75	0,67
	7	30	13,4	12,0	14,6	0,60	0,80
		70	10,8	8,2	11,4	0,78	0,72

Таблица 5

**Физико-механические характеристики карбонизированных известковых образцов, полученных из теста с 20 %-м содержанием воды, хранившихся в нормальных воздушно-сухих условиях**

Параметры получения опытных образцов			Прочность, R <sub>сж</sub> , МПа, в возрасте, сут			Коэффициент размягчения K <sub>p</sub> в возрасте, сут	
температу-ра обжига, °С	время карбо-низации, час	концент-рация CO <sub>2</sub> , %	после карбо-низации	7	160	после карбо-низации	160
900	3	30	8,8	7,7	8,7	0,69	0,92
		70	9,3	8,0	9,9	0,72	0,79
	7	30	13,0	11,9	13,2	0,77	0,89
		70	7,0	6,1	9,7	0,7	0,82
1100	3	30	17,1	12,7	17,1	0,7	0,82
		70	15,2	13,1	18,3	0,9	0,88
	7	30	4,7	3,5	9,5	0,4	0,55
		70	17,1	13,7	15,3	0,69	0,81

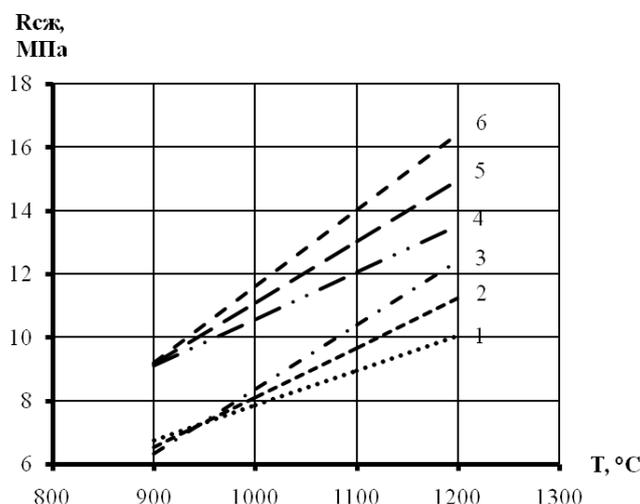
Полученные уравнения регрессии прочности на сжатие, Y<sub>1</sub> (2) и водостойкости, Y<sub>2</sub> (3) карбонизированных образцов в сухом состоянии в возрасте 1 сут после карбонизации, отображающие влияние исследуемых факторов, имеют следующий вид:

$$Y_1 = 10,9 + 1,76X_1 + 0,4X_2 + 0,4X_3 + 1,5X_4 - 0,17X_1^2 - 0,53X_2^2 - 0,1X_3^2 - 0,5X_4^2 + 0,46X_1X_2 - 0,3X_1X_3 + 0,2X_1X_4 + 0,2X_2X_3 + 0,1X_2X_4 - 0,98X_3X_4; \quad (2)$$

$$Y_2 = 0,92 - 0,03X_1 + 0,02X_2 - 0,02X_3 - 0,03X_4 - 0,02X_1^2 - 0,03X_2^2 - 0,09X_3^2 - 0,03X_4^2 + 0,06X_1X_2 - 0,05X_1X_3 + 0,03X_2X_3 + 0,04X_2X_4 - 0,03X_3X_4. \quad (3)$$

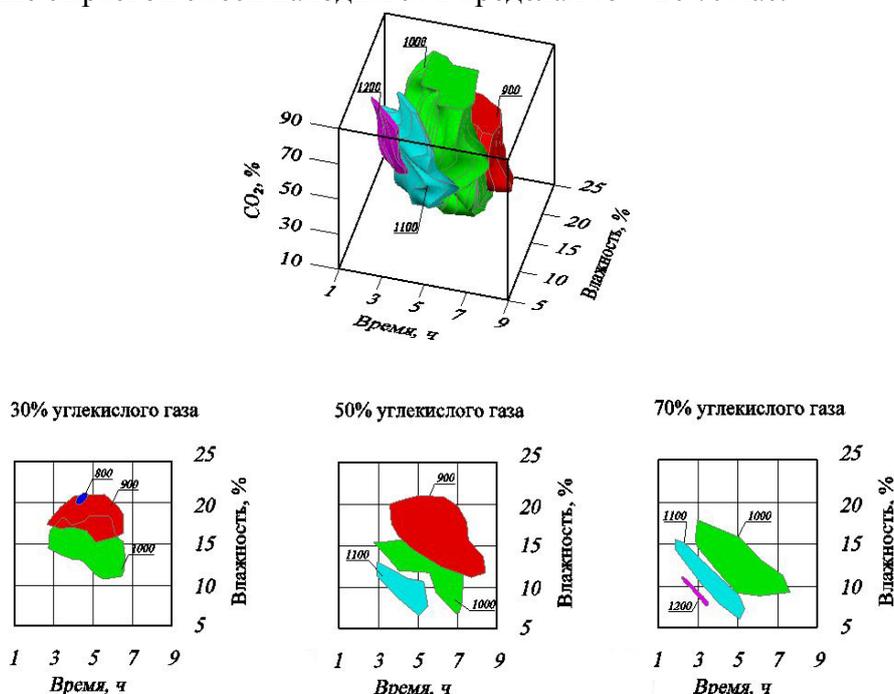
Из графиков, представленных на рис. 1 следует, что прочность карбонизированных образцов возрастает с увеличением температуры обжига известняка и концентрации углекислого газа в карбонизационной камере. С увеличением температуры получения извести с 900 до 1200 °С и концентрации CO<sub>2</sub> в камере карбонизации с 30 до 70 % при водосодержании формовочной смеси 10 и 20 % мас. прочность увеличивается в среднем в 1,6 – 2 раза. Следует отметить, что 30 %-ная концентрация CO<sub>2</sub> в карбонизационной камере является достаточной для прохождения процесса карбонизации и получения образцов с прочностью не менее 10 МПа. Продолжительность карбонизации при этом должна

составлять не менее 5 ч. Существенным фактором, определяющим прочность образцов на сжатие, является водосодержание известкового теста. Так, при прочих равных условиях получения, прочность на сжатие карбонизированных образцов из теста, содержащего 20 % мас. воды, на 30 % выше прочности образцов из теста, содержащего 10 % мас. воды.



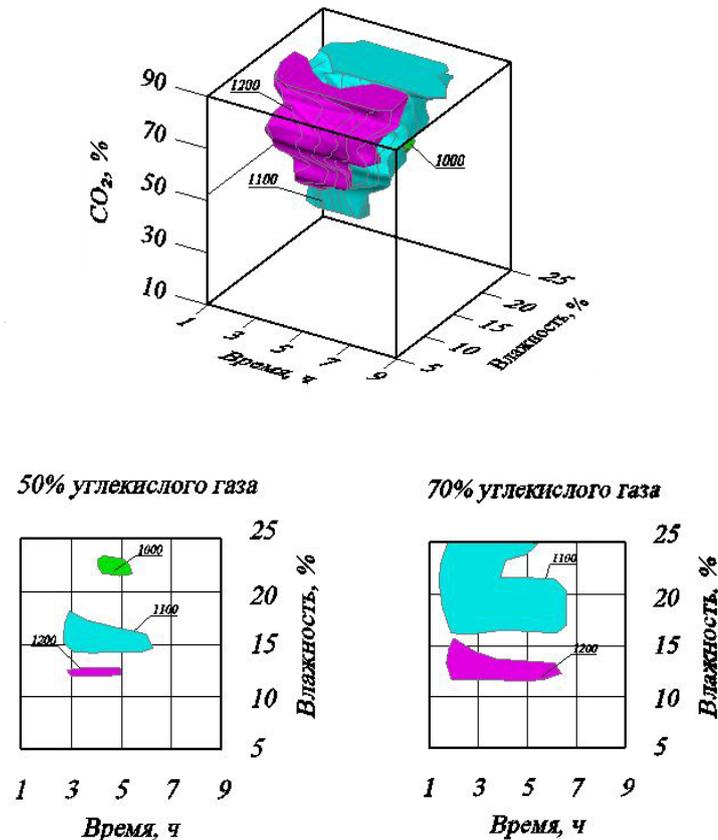
**Рис. 1. Прочность на сжатие опытных образцов, карбонизированных в течение 5 ч, в зависимости от температуры получения исходной извести, водосодержания формовочной смеси, % мас. и концентрации углекислого газа, %:**  
 1 – 10 и 30; 2 – 10 и 50; 3 – 10 и 70; 4 – 20 и 30; 5 – 20 и 50; 6 – 20 и 70.

Из сечений оптимальной области, представленных на рис. 2, следует, что получение карбонизированных образцов с прочностью не менее 10 МПа в условиях 30 %-й концентрации  $\text{CO}_2$  возможно из мягко обожженной извести при температурах 900 и 1000 °С, продолжительность карбонизации при этом должна составлять не менее 5 ч, а водосодержание сырьевой смеси находиться в пределах 15 – 20 % мас.



**Рис. 2. Поверхности отклика оптимальных значений параметров для получения карбонизированных образцов прочностью на сжатие 10 МПа и водостойкостью 0,8 в зависимости от исследуемых факторов.**

Сечения, представленные на рис. 3, свидетельствуют, что для получения материала на основе извести карбонизационного твердения прочностью не менее 15 МПа требуется известь, полученная при более высоких температурах (1100 и 1200 °С) и более высокая концентрация углекислого газа в камере карбонизации (порядка 40 % и выше). Водосодержание сырьевой смеси и длительность обработки углекислым газом при этом составляют 15 – 20 % мас. и 5 ч, соответственно.



**Рис. 3. Поверхности отклика оптимальных значений параметров для получения карбонизированных образцов прочностью на сжатие 10 МПа и водостойкостью 0,8 в зависимости от исследуемых факторов.**

### ВЫВОДЫ

1. Определено влияние температуры обжига известняка при получении извести и концентрации углекислого газа на процесс ее карбонизации. С увеличением температуры получения извести с 900 до 1200 °С и концентрации CO<sub>2</sub> в камере карбонизации с 30 до 70 % при водосодержании формовочной смеси 10 и 20 % мас. прочность увеличивается в среднем в 1,6 – 2 раза

2. Установлено, что 30%-ная концентрация углекислого газа в камере карбонизации является достаточной для получения известковых карбонизированных образцов, обладающих прочностью не менее 10 МПа и водостойкостью более 0,8. Для получения образцов с большей прочностью необходимо увеличение концентрации CO<sub>2</sub> в камере до 40 – 50 %.

3. Получены уравнения регрессии изменения прочности на сжатие и водостойкости карбонизированных известковых образцов в зависимости от основных технологических факторов – качества исходной извести (температуры обжига известняка), концентрации углекислого газа в камере карбонизации, времени карбонизации и водосодержания сырьевой смеси. Построены трехмерные поверхности отклика, позволяющие оптимизировать технологические условия получения карбонизированных изделий на основе извести с требуемыми свойствами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любомирский Н.В., Бахтина Т.А., Бахтин А.С. Технология производства кирпича на основе известково-карбонатной композиции карбонизационного твердения / Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2010. – вып. 32. – С. 60 – 69.
2. Федоркин С.И., Любомирский Н.В., Бахтина Т.А., Бахтин А.С. Оптимизация технологических параметров получения лицевого кирпича на основе известки карбонизационного твердения // Сб. научн. трудов. Строительство, материаловедение, машиностроение. – Дн-вск: ПГАСА. – 2010. – Вып. 56. – С. 265 – 270.
3. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. Под ред. Тимашева В.В. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
4. Бутт Ю.М. Твердение вяжущих при повышенных температурах / Ю.М. Бутт, Л.Н. Рашкович. – М.: Стройиздат, 1965. – 223 с.
5. Розенфельд Л.М. Исследования пенокарбоната / Розенфельд М.Л. – М.: Госстройиздат, 1955. – 52 с.
6. Cizer O., Van Balen K., Elsen J., Van Gemert D. Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders / Proc. ACEME08, 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, 1-3 October 2008, Rome, Italy. - pp. 149-158.
7. 4. Монастырев А.В. Глубокая переработка карбонатного сырья при производстве известки // Строительные материалы. – 2008. – №5. – С. 100.
8. Автоматическая установка и методика изучения процесса карбонизации известки / Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин, Т.А. Локтионова, В.Г. Носатов // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2007. – вып. 19-20. – С. – 74 – 78.
9. Бородюк В.П., Вошинин А.П., Иванов А.З. и др.; Под ред. Г.К. Круга. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум). – М.: Высш. школа, 1983. – 216 с.

### Раздел 3.

## ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, МЕХАНИКА И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

УДК 624.073: 624.073.2

Губченко В. Е., аспирант, Жигна В.В. канд.техн. наук, доцент  
Национальная академия природоохранного и курортного строительства

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ

*Разработаны положения, детализирующие методику расчета фундаментных плит на продавливание с учетом действия изгибающих моментов путем использования показателей относительной несущей способности. Данные положения позволяют решать обратную задачу прямым численным методом.*  
**фундаменты, плиты, прочность, продавливание, момент**

**Введение.** При расчете каркасных зданий на сейсмические воздействия в колоннах нижнего этажа возникают значительные изгибающие моменты, которые существенно влияют на несущую способность фундаментной плиты при продавливании (до 40%). Это влияние учтено в [1] и внесено в нормы проектирования РФ [2]. Методика [1] позволяет решать только прямую задачу – выполнять проверку прочности плиты на продавливание. Обратную задачу – подбор параметров плиты, обеспечивающих ее прочность, решают только путем последовательных приближений, что трудоемко и требует значительных затрат времени инженера – проектировщика.

**Цель** - разработка рекомендаций по расчету фундаментных плит при продавливании с учетом действия изгибающих моментов.

Задачи исследования:

- проанализировать исходную методику с дальнейшим ее преобразованием в вид, удобный для применения;
- построить графики и таблицы, отображающие влияние параметров фундаментной плиты на ее прочность при продавливании;
- найти решение обратной задачи – подбор параметров плиты, обеспечивающих ее прочность при продавливании;
- разработать эффективный алгоритм расчета.

**Методика исследования.** Решения поставленных задач выполняли путем математических преобразований расчетных условий с выделением показателей относительной несущей способности плиты при продавливании.

**Результаты исследования и их анализ.** Исходный показатель - относительная рабочая высота поперечного сечения плиты  $\alpha$  :

$$\alpha = h_0 / b_c, \quad (1)$$

где  $h_0$  – рабочая высота сечения плиты;  $b_c$  – размер сечения квадратной колонны.

В ходе преобразований получены показатели относительной несущей способности плиты по нормальной силе:

$$\alpha_n = \frac{F}{4 \cdot R_{bt} \cdot b_c^2}, \quad (2)$$

сосредоточенному моменту:

$$\alpha_m = \frac{3M}{4 \cdot R_{bt} \cdot b_c^3} \cdot \quad (3)$$

Условие прочности плиты при продавливании от одновременного действия нормальной силы и сосредоточенного момента :

$$F \leq \frac{4 \cdot R_{bt} \cdot b_c^2 \cdot \alpha_n}{(1 + \delta_e)} \quad (4)$$

где  $\delta_e$  – коэффициент, учитывающий наличие сосредоточенного момента:

$$\delta_e = 3e \cdot \alpha_n / (b_c \cdot \alpha_m), \quad (5)$$

где  $e = M / F$  – эксцентриситет приложения продавливающей нагрузки.

В свою очередь  $\alpha_n$  и  $\alpha_m$  зависят от геометрических параметров  $h_0$  и  $b_c$  :

$$\alpha_n = \alpha \cdot (1 + \alpha), \quad (6)$$

$$\alpha_m = \alpha \cdot (1 + \alpha)^2. \quad (7)$$

Наличие поперечного армирования плиты учитывается путем увеличения правой части неравенства (4) в  $(1 + \alpha_{sw})$  раз:

$$F \leq (1 + \alpha_{sw}) \frac{4 \cdot R_{bt} \cdot b_c^2 \cdot \alpha_n}{(1 + \delta_e)}, \quad (8)$$

где  $\alpha_{sw}$  – коэффициент, учитывающий наличие поперечной арматуры.

При решении прямой задачи,  $\alpha_{sw}$  определяют исходя из данных о поперечном армировании по следующей зависимости:

$$\alpha_{sw} = F_{sw,ult} / F_{b,ult} \leq 1, \quad (9)$$

где  $F_{b,ult} = 4 \cdot R_{bt} \cdot b_c^2 \cdot \alpha_n$  – предельное усилие, воспринимаемое бетоном;

$F_{sw,ult} = 0,8q_{sw} \cdot u$  – предельное усилие, воспринимаемое арматурой;

где  $q_{sw}$  – усилие в поперечной арматуре на единицу длины расчетного контура поперечного сечения плиты;

$u = 4b_c(1 + \alpha)$  – периметр контура поперечной арматуры расчетного поперечного сечения плиты.

Для случая прямоугольного сечения колонны используется относительный коэффициент  $\beta = h_c / b_c$ , при этом коэффициенты  $\alpha_n$  и  $\alpha_m$  приобретают вид:

$$\alpha_n = \alpha \cdot (0,5 + \alpha + 0,5 \cdot \beta), \quad (10)$$

$$\alpha_m = \alpha \cdot (\beta + \alpha) \cdot \left( \frac{3}{4} + \alpha + \frac{1}{4} \beta \right). \quad (11)$$

На основании полученных зависимостей построены таблицы и графики несущей способности плиты при продавливании, отображающие характер изменения прочности плиты в зависимости от изменения ее параметров, а также параметров вертикальных конструкций (колонн) и внешних усилий. Разработаны алгоритмы, позволяющие эффективно производить расчет:

1. Решение прямой задачи при заданных параметрах поперечного сечения плиты сводится к проверке условия (4) или (8).

2. Решение обратной задачи при известных размерах контура продавливания (колонны), внешних усилиях (N, M), классе бетона плиты (см. табл.1.)

3. Подбор требуемой интенсивности поперечного армирования (см. табл.2.)

Таблица 1.

**Подбор рабочей высоты поперечного сечения плиты.**

№ пп	Алгоритм
1	Задаем $h_0$ из условия прочности плиты на поперечный изгиб
2	По (1) определяем $\alpha_{идея}$ .
3	По графику Рис.1. определяем $\alpha_{n,idea}$ .
4	По графику Рис.2. определяем $\alpha_{m,idea}$ .
5	По (5) определяем $\delta_e$
6	По (4) определяем $\alpha_{n,odaa}$ .
7	По графику Рис.1. определяем $\alpha_{odaa}$ .
8	По (1) определяем $h_{0,odaa}$ .

Таблица 2.

**Подбор требуемой интенсивности поперечного армирования плиты**

№ пп	Алгоритм
1	По (1) определяем $\alpha$
2	По графику Рис.1. определяем $\alpha_n$ .
3	По графику Рис.2. определяем $\alpha_m$
4	По (5) определяем $\delta_e$
5	Из условия (4) определяем $\alpha_{n,odaa}$ .
6	$\alpha_{sw} = \frac{\alpha_{n,odaa}}{\alpha_n} - 1$
7	Если $\alpha_{sw} > 1$ следует увеличить толщину плиты
8	Если $\alpha_{sw} < 1$ определяем $F_{b,ult}$ , а затем по (9) определяем $F_{sw,ult}$
9	$q_{sw} = F_{sw,ult} / 3,2b_c(1 + \alpha)$

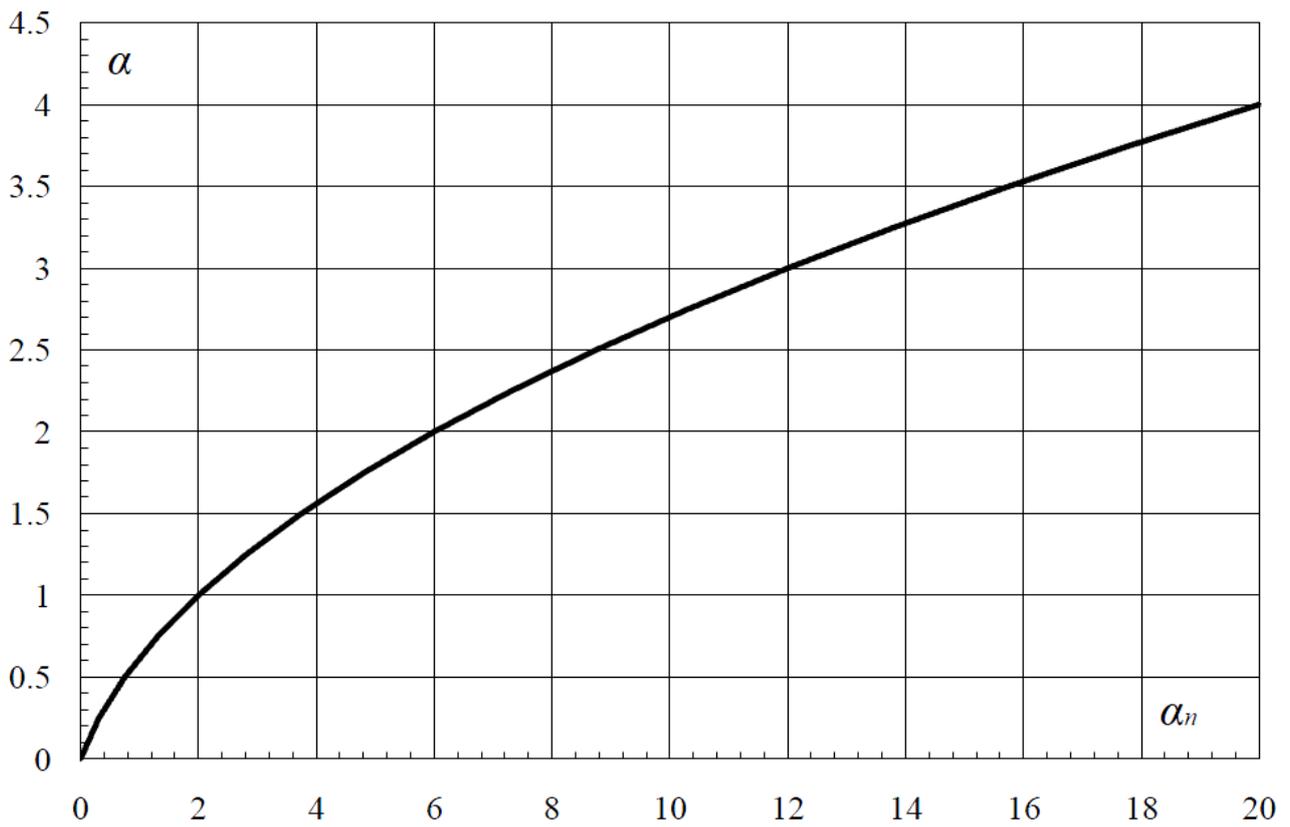


Рис. 1. Значение коэффициента  $\alpha_n$  для квадратного сечения колонны

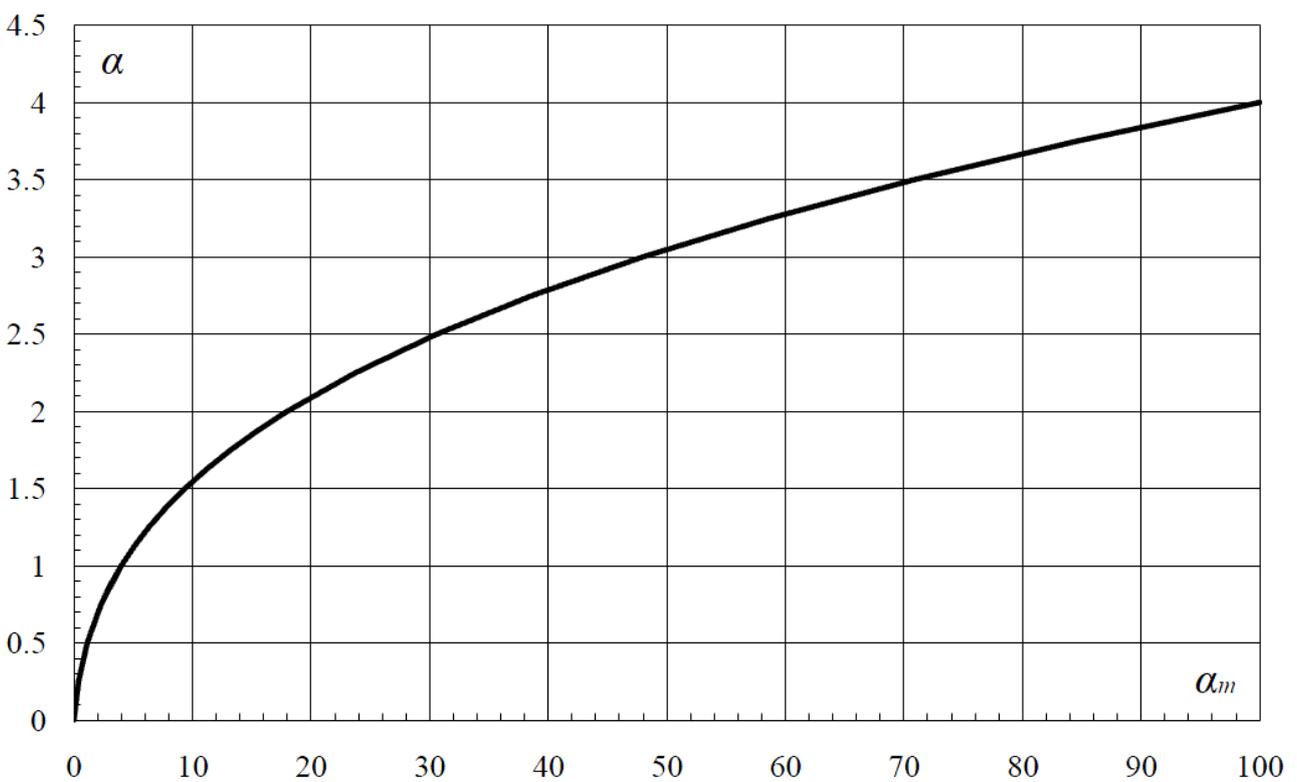


Рис. 2. Значение коэффициента  $\alpha_m$  для квадратного сечения колонны

**Пример 1.** Дано: фундаментная плита 7-ми этажного каркасного здания, бетон плиты – тяжелый класса В20 ( $R_{bt} = 0,8$  МПа,  $\gamma_{b2} = 0,9$ ),  $a_s = 0,07i$ , нормальная сила от

колонны (с учетом отпора грунта)  $F = 3900$  кН, размеры сечения колонны  $b_c \cdot x h_c = 0,4 \times 0,4$  м.

Требуется определить толщину плиты, обеспечивающую ее прочность при продавливании.

Расчет. Толщину плиты, определяем согласно алгоритму (табл.1).

Т.к. сосредоточенный момент отсутствует, переходим к п. 6:

$$\alpha_{n,\text{одддд}} = \frac{F}{4 \cdot R_{bt} \cdot b_c^2} = \frac{3900}{4 \cdot 800 \cdot 0,4^2} = 7,61$$

По рис.1. находим  $\alpha_{\text{одддд}} = 2,3$ .

$$h_{0,\text{одддд}} = \alpha_{\text{одддд}} \cdot b_c = 2,3 \cdot 0,4 = 0,92 \text{ м};$$

$$h_{i\bar{e}} = h_{0,\text{одддд}} + a_s = 0,92 + 0,07 = 0,99 \text{ м}.$$

Принимаем  $h_{i\bar{e}} = 1,0$  м.

**Пример 2.** По данным примера 1 подобрать толщину плиты, обеспечивающую прочность при продавливании, с учетом действия сосредоточенного момента  $M = 585 \text{ кН} \cdot \text{м}$  ( $e = M / F = 0,15$  м).

Расчет. Предварительно задаемся толщиной плиты  $h_{i\bar{e}} = 0,7$  м.

$$h_0 = h_{i\bar{e}} - a_s = 0,7 + 0,07 = 0,63 \text{ м},$$

$$\alpha = h_0 / b_c = 0,63 / 0,4 = 1,58.$$

По рис.1.  $\alpha_{n,\text{идеид}} = 4,0$ , по рис.2  $\alpha_{m,\text{идеид}} = 11,4$ ;

$$\delta_e = \frac{3e \cdot \alpha_n}{b_c \cdot \alpha_m} = \frac{3 \cdot 0,15 \cdot 4,0}{0,4 \cdot 11,4} = 0,39;$$

$$\alpha_{n,\text{одддд}} = \frac{F \cdot (1 + \delta_e)}{4 \cdot R_{bt} \cdot b_c^2} = \frac{3900 \cdot (1 + 0,39)}{4 \cdot 800 \cdot 0,4^2} = 10,6.$$

По рис.1. находим.  $\alpha_{\text{одддд}} = 2,8$ ;

$$h_{0,\text{одддд}} = \alpha_{\text{одддд}} \cdot b_c = 2,8 \cdot 0,4 = 1,12 \text{ м},$$

$$h_{i\bar{e}} = h_{0,\text{одддд}} + a_s = 1,12 + 0,07 = 1,19 \text{ м}.$$

Принимаем  $h_{i\bar{e}} = 1,2$  м.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана методика расчета фундаментных плит на продавливание с учетом действия изгибающих моментов, позволяющая эффективно выполнять расчет, а также решать обратную задачу прямым численным методом.

2. Вид полученных формул, таблиц и графиков максимально приближен к привычным для инженера – проектировщика выкладкам в пособии [3].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Залесов А.С., Чистяков Е.А., Махно А.С. Научно – технический отчет по теме: Разработка методики расчета и конструирования монолитных железобетонных безбалочных перекрытий, фундаментных плит и ростверков на продавливание/ Госстрой России. – ГУП НИИЖБ, 2002. – 55 с.

2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры/ Госстрой России. – М.: . – ГУП НИИЖБ, 2004 . – 89 с.

3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84)/ЦНИИпромзданий Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР. –М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. -192 с.

## **Раздел 4.**

# **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

УДК 621.5.058 (088.8)

**Хабрат Н.И., инженер, доцент**

*РВУЗ «Крымский инженерно-педагогический университет»*

**Морозов А.Д., к.т.н., профессор**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

**Умеров Э.Д., магистр**

*РВУЗ «Крымский инженерно-педагогический университет»*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ САМОНАТЯЖНОЙ РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ С НАТЯЖНЫМ РОЛИКОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ**

*Рассмотрена работа и приведено аналитическое описание для определения основных параметров самонатяжной ременной передачи с натяжным роликом, а также влияние на них межосевого расстояния и передаточного отношения.*

**Ременная передача, автоматическое натяжение приводных ремней, самонатяжная ременная передача.**

В приводах различного рода машин различных производств и главным образом в сельскохозяйственных широкое применение получили клиноременные передачи благодаря их простоте конструктивного исполнения, эксплуатации, возможности передавать мощности на значительные расстояния и многие другие ее положительные свойства [2,6]. К недостаткам этой передачи следует отнести в первую очередь нестабильность первоначально созданного натяжения ремню вследствие его удлинения в процессе эксплуатации [4].

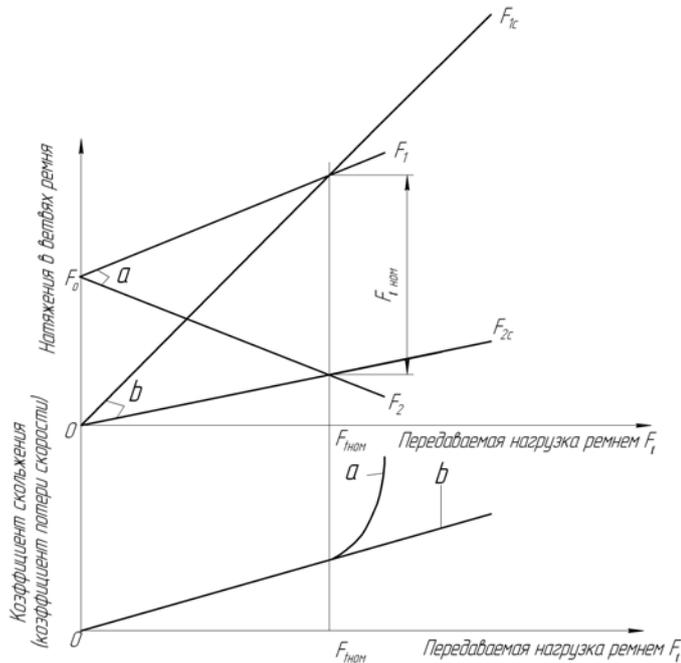
Имеющаяся у эксплуатационников тенденция к созданию повышенного начального натяжения с целью повышения надежности привода, приводит к снижению долговечности как самого ремня, так и подшипниковых опор, усталостной прочности валов и др.

Установлено, что при бесконтрольной установке начального натяжения приводным ремням в условиях эксплуатации превышает 20% номинального [9]. Известно также, что увеличение суммарных напряжений в ремне всего лишь на 4% снижает их долговечность от 26 до 56% в зависимости от их конструктивного исполнения [8].

На рис.1 приведены графически распределения натяжений и кривые скольжения для двухшківной передачи с жестким закреплением осей шкивов и самонатяжной передачи [3].

Из анализа распределений натяжений в ветвях этих двух видов передач и их кривых скольжения следует, что при правильно выбранных параметрах этих передач при

передаче ими одной и той же номинальной мощности у всех различных передач величины натяжений в ветвях и скольжения имеют одну и ту же величину [3].



**Рис.1. Графические отображения изменений натяжений в скольжений в ременных приводах при различных способах создания натяжений ремню:**  
**а – передача с жестким закреплением осей шкивов; в – передача с самонатяжением ремней.**

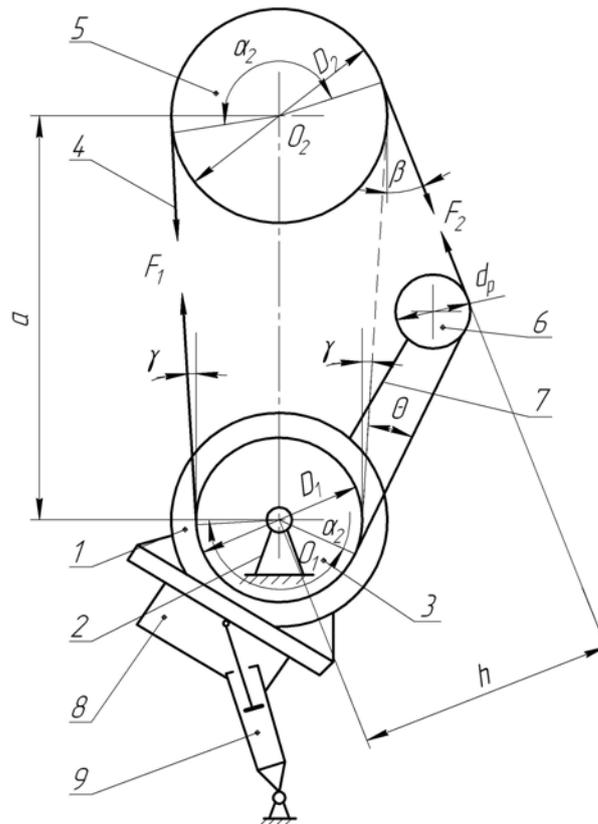
В случае же постепенного увеличения передаваемой нагрузки более номинальной, интенсивность скольжения (потери скорости) резко увеличивается у передачи с жестким закреплением осей шкивов.

У самонатяжной же передачи натяжение в ведомой ветви создается автоматически за счет использования реактивного момента, воздействующего на статор приводного электродвигателя, и таким каково оно необходимо (в зависимости от передаваемой мощности). Однако отметим при этом, что такой режим работы передачи обеспечивается только при рационально выбранных параметрах этой передачи.

Клиноременная передача обычно приводится в движение от электродвигателя, работающая в режимах как нереверсивном, так и в реверсивном. В последнем случае одна и та же ветвь передачи попеременно становится либо ведущей, либо ведомой. В тех случаях, когда конструктивно в приводах машин межосевое расстояние постоянно, а натяжение ремню создается путем перемещения натяжного ролика, такая передача становится крайне нерациональной, т.к. в случае ведущей ветви для ремня, проходящего через натяжной ролик, последний на наиболее нагруженном участке получает еще и дополнительные напряжения изгиба, которые приводят к резкому снижению срока службы наиболее слабого звена привода – клинового ремня.

**Цель данной работы** – разработка конструкции самонатяжного реверсивного клиноременного привода лишенного отмеченных выше недостатков, обоснование его рациональных параметров для проведения силового расчета с использованием нормативных материалов.

Нами для привода транспортера подачи зеленой массы к измельчителю машин ИЗМ – 5 был разработан самонатяжной реверсивный клиноременный привод [5], который представлен на рис 2.



**Рис.2. Схема самонатяжного реверсивного клиноременного привода.**

Привод содержит электродвигатель 1, установленный балансирно качающимся в опорах 2, на валу которого закреплен ведущий шкив 3, охватываемый ремнем 4, который также охватывает ведомый шкив 5 и натяжной ролик 6. На статоре электродвигателя закреплен жестко рычаг 7 с натяжным роликом 6, уравниваемым грузом 8.

Работает этот привод следующим образом. При включении электродвигателя в работу, крутящий момент от вала электродвигателя передается на шкив и далее последний преобразуется в окружное усилие в ремне, передаваемое им ведущей ветвью передачи ведомому шкиву. При этом реактивный момент, действующий на статор электродвигателя разворачивает последний вместе с натяжным роликом в направлении обратном направлению вращения ведущего шкива. При этом натяжной ролик, действуя на ведомую ветвь, создает ей строго определенное, требуемое натяжение для передачи соответствующей нагрузки.

При изменении направления вращения ротора электродвигателя все элементы самонатяжного ременного привода работают в обратном направлении.

Так как в приводах машин в основном используются асинхронные трехфазные электродвигатели, создающие значительный крутящий момент при пуске, то с целью уменьшения его воздействия на ремень в приводе нами установлен гидравлический демпфер 9.

Соотношение в натяжениях ветвей передачи в ведущей  $F_1$  и ведомой  $F_2$  было установлено Л. Эйлером в 1775 г. и применительно к клиноременной передаче имеет вид:

$$F_1 / F_2 = \text{экс} \left[ \frac{\alpha f}{\sin \frac{\varphi}{2}} \right], \quad (1)$$

где  $f$  – коэффициент трения ремня по желобу шкива с углом  $\varphi$ ;  
 $\alpha$  – угол упругого скольжения ремня по шкиву.

Для самонатяжной передачи этот угол несколько меньше угла обхвата ремнем ведущего шкива.

Для ответа на вопрос выбора рациональных параметров рассматриваемой передачи по рис.2 составим уравнение моментов сил относительно оси ведущего шкива

$$\sum M_{o1} = 0,5F_1D_1 - F_2h = 0. \quad (2)$$

Заменив в уравнении (2)  $h = 0,5D_2 + a \sin \beta$  и преобразовав его получим:

$$\text{экс} \left[ \frac{\alpha f}{\sin(\varphi/2)} \right] = u + (2a \sin \beta) / D_1, \quad (3)$$

где в уравнениях (2) и (3)  $D_1, D_2$  – диаметры ведущего и ведомого шкивов;

$a$  – межосевое расстояние между шкивами;

$\beta$  – угол наклона ведомой ветви ременной передачи к межцентровой линии шкивов на участке между ведомым шкивом и натяжным роликом.

Рассмотрим последовательность выбора рациональных параметров (углов  $\alpha$  и  $\beta$ ) самонатяжной клиноременной передачи на примере привода транспортера машины ИЗМ-5 с геометрическими размерами  $D_1 = 140$  мм,  $D_2 = 280$  мм,  $d_{\text{шп}} = 125$  мм,  $a = 415$  мм,  $\gamma = 9,5^\circ$  (угол наклона касательных ветвей ремня к шкивам относительно межцентровой линии),  $f = 0,17$  (коэффициент трения ремня по желобу шкива [7]). Сечение клинового ремня Б (принят по рекомендации [1] в зависимости от частоты вращения ведущего шкива и передаваемой мощности).

Выразим угол обхвата ведущего шкива зависимостью:

$$\alpha = 180^\circ - 2\gamma - \theta, \quad (4)$$

где  $\theta$  – угол наклона ведомой ветви клиноременной передачи к общей касательной между шкивами по рис.2 на участке между ведущим шкивом и натяжным роликом.

С учетом зависимости (4) основное уравнение (3) для определения основных параметров самонатяжной передачи принимает вид:

$$\text{экс} \left[ \frac{(180^\circ - 2\gamma - \theta) f}{\sin(\varphi/2)} \right] = u + (2a \sin \beta) / D_1. \quad (5)$$

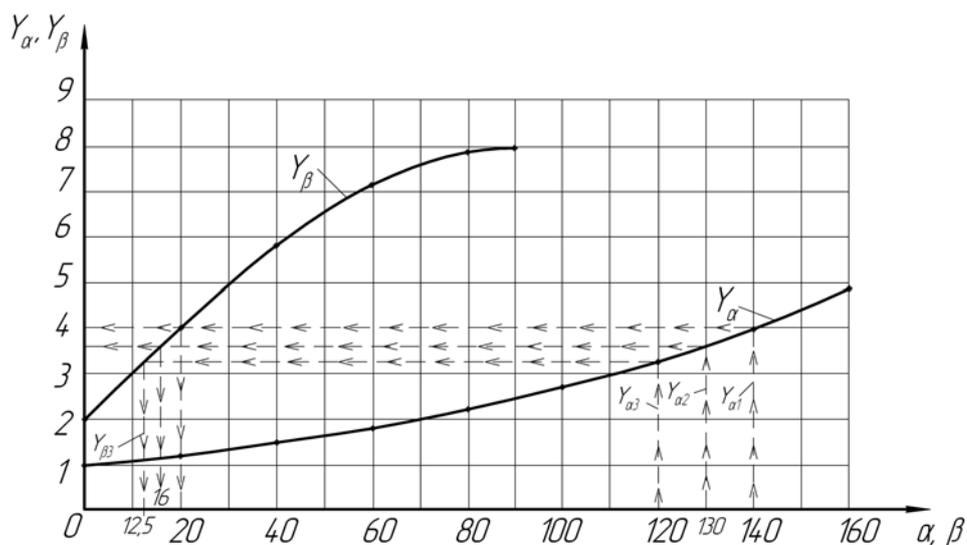
Анализ уравнения (5) показывает, что оно аналитически неразрешимо, т.к. в нем имеется одновременно два зависимых друг от друга параметра – углы  $\beta$  и  $\theta$  и составить дополнительное соотношение исключаящее один из этих параметров не представляется возможным.

Для определения расчетным путем параметров  $\beta$  и  $\theta$  используем графоаналитический метод последовательных приближений. Для этого левую и правую части уравнения (5) представим в виде отдельных функций:

$$Y_\alpha = \text{экс} \left[ \frac{(180^\circ - 2\gamma - \theta) f}{\sin(\varphi/2)} \right], \quad (6)$$

$$\text{и } Y_\beta = u + (2a \sin \beta) / D_1 \quad (7)$$

На рис.3 графически представлены зависимости (6) и (7) при произвольных углах  $\alpha$  и  $\beta$  по оси абсцисс для конкретной передачи с параметрами приводимыми нами выше.



**Рис.3. Графические представления функций  $Y_\alpha$  и  $Y_\beta$  в зависимости от  $\alpha$  и  $\beta$  для клиноременной самонатяжной реверсивной передачи с натяжным роликом и заданными ранее параметрами.**

Решение вопроса по определению рациональных взаимозависимых параметров  $\beta$  и  $\theta$  представим в следующей последовательности. Задав произвольно величину угла  $\theta$  (по зависимости (4)), определяется угол обхвата  $\alpha$  ремнем ведущего шкива. Отложив по оси абсцисс (рис.3) величину этого угла  $\alpha$  проводим перпендикуляр до пересечения с кривой функции  $Y_\alpha$ , а затем из полученной точки пересечения проводим горизонталь, пересекающую кривую функцию  $Y_\beta$ . По новым точкам пересечения находим величины функции  $Y_\beta$  и по осям абсцисс величину угла  $\beta$ .

Подставив полученную величину угла  $\beta$  в уравнение (7) получим величину функции  $Y_\beta$ , которую и сравниваем с величиной функции  $Y_\alpha$ .

При равенстве численных значений функций  $Y_\alpha$  и  $Y_\beta$  параметры  $\beta$  и  $\theta$  соответствуют рациональной конструкции самонатяжной реверсивной клиноременной передачи.

Ниже в таблице приведен последовательный поиск по определению рациональных параметров  $\beta$  и  $\theta$  для самонатяжной реверсивной клиноременной передачи с натяжным роликом.

Таблица

**Последовательный поиск оптимальных решений**

№	$\theta$	$\alpha$	$Y_\alpha$	$\beta$	$Y_\beta$	Соотношение функций $Y_\alpha$ и $Y_\beta$
1	21	140	3,99	20	4,03	$Y_\alpha < Y_\beta$
2	31	130	3,61	16	3,63	$Y_\alpha < Y_\beta$
3	41	120	3,27	12,5	3,27	$Y_\alpha = Y_\beta$

Из графического построения схемы самонатяжной ременной передачи с натяжным роликом по рис.2 с учетом углов  $\alpha_1$  и  $\beta$  находится оптимальное положение натяжного ролика.

Нами проведены графоаналитические исследования по определению угла обхвата ремнем ведущего шкива по описанной выше методике при различных межосевых расстояниях и передаточных отношениях. При этом в каждом случае положение натяжного ролика и длина рычага в каждом случае определялись в соответствии с углами  $\alpha_1$  и  $\beta$ .

На рис. 4 приведена номограмма для определения углов обхвата ремнем ведущего  $\alpha_1$  и ведомого  $\alpha_2$  шкивов клиноременной самонатяжной передачи с натяжным роликом, клиновым ремнем сечения Б и диаметрами ведущего шкива  $D_1 = 140$  мм, передаточных отношениях  $u = 1; 2; 3$ ; рекомендуемом межосевом расстоянии, определенной по зависимости [2]:

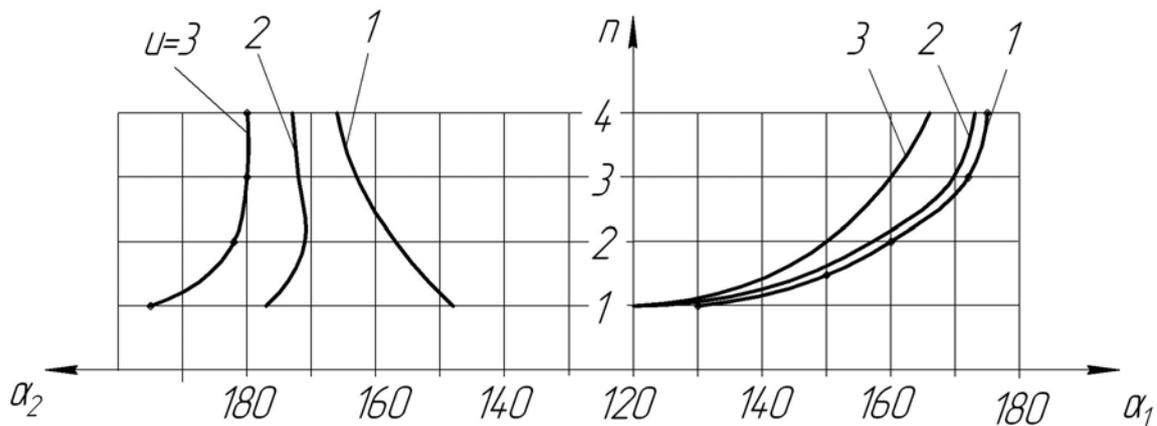
$$a_{\text{рек}} = 1,5D_2 / \sqrt[3]{u}$$

и увеличенных этих межосевых расстояний  $n$  раз.

При этом угол  $\alpha_1$  определялся по выше описанной методике, а угол  $\alpha_2$  по зависимости

$$\alpha_2 = 180^\circ + \gamma - \beta$$

где  $\beta$  – угол наклона ведомой ветви ремня на участке между ведомым шкивом и натяжным роликом, относительно межцентральной линии.



**Рис.4. Номограмма для определения углов обхвата  $\alpha_1$   $\alpha_2$  для самонатяжной ременной передачи с натяжным роликом в зависимости от передаточных отношений и увеличенного в  $n$  раз межосевого расстояния по сравнению с рекомендуемым, и диаметром ведущего шкива  $D_1 = 140$  мм.**

Исследованиями установлено, что с увеличением межосевого расстояния угол обхвата ремнем ведущего шкива интенсивно увеличивается. Так, например, для рассмотренной выше передачи с передаточным отношением  $u = 2$  с увеличением межосевого расстояния  $a = 415$  мм до 830 мм угол обхвата ведущего шкива  $\alpha$  изменяется от  $120^\circ$  до  $156^\circ$  и некоторым незначительным уменьшением угла обхвата ремнем ведомого шкива со  $176^\circ$  до  $171^\circ$ .

Из этого следует, что описанная конструкция самонатяжной клиноременной передачи наиболее рациональна в приводах машин со средними и повышенными межосевыми расстояниями [1].

В работе [3] показано (см. рис.1), что номинальная передаваемая нагрузка ремнем не зависит от способа создания натяжения в передаче с одинаковыми параметрами. Ее величина, приведенная в нормативных материалах [1], определялась экспериментальным путем с учетом механических свойств материалов ремня, его долговечности, величинами удлинения в процессе эксплуатации и другими факторами.

Это позволяет вести расчет самонатяжной передачи с использованием нормативных материалов по расчету ременной передачи с учетом некоторых ее особенностей работы, обеспечивая создания натяжения ремню одинаковым как для обычной передачи при передаче его номинальной нагрузки.

Исходные данные для расчета самонатяжной клиноременной передачи те же, что и для обычной, т.е. передаваемая мощность  $P$ , передаточное отношение  $u$ , частота вращения ведущего шкива, задаваемое межосевое расстояние  $a$ .

Последовательность расчета самонатяжной ременной реверсивной передачи с натяжным роликом, может быть представлена в следующем виде:

1. Используя нормативные рекомендации [1] по передаваемой мощности и частоте вращения выбирается сечение ремня.
2. По рекомендациям [2] ориентировочно определяется расчетный диаметр ведущего шкива  $D_1$ , мм

$$D_1 = (38 - 42) \sqrt[3]{T}, \text{ мм} \quad (8)$$

где  $T$  – крутящий момент на ведущем шкиве, Н·м.

Затем определяется диаметр ведомого шкива  $D_2$  с учетом величины скольжения ремня  $\varepsilon=0,02$

$$D_2 = D_1 u (1 - \varepsilon) \quad (9)$$

Полученные величины диаметров шкивов  $D_1$  и  $D_2$  округляется до стандартных значений [1].

3. Межосевое расстояние  $a$  либо задается конструктивно, либо равным  $a = 1,5 D_1 n / \sqrt[3]{T_1}$

4. Угол наклона ведущей ветви передачи  $\gamma$  к межцентровой линии 
$$\gamma = 57,2^\circ (D_2 - D_1) / a \quad (10)$$

5. По вышеизложенной методике определяются рациональные углы  $\alpha_1$ ,  $\theta$ ,  $\beta$  и  $\alpha_2$  (см. рис.2)

6. Общая длина ремня определяется графическим прочерчиванием передачи с последующим суммированием прямолинейных участков и криволинейных на дугах обхвата шкивов. Клиновой ремень стандартной длины принимается ближайшего меньшего размера по сравнению с расчетным.

7. Необходимое число ремней  $Z$  в приводе определяется по зависимости [1]:

$$Z = \frac{P_{ном} C_p}{P_o C_\alpha C_L C_Z}, \quad (11)$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность передаваемая приводом;

$C_p$  – коэффициент динамической нагрузки и режима работы.  $C_p = 1$  для самонатяжной передачи;

$P_o$  – мощность передаваемая одним ремнем принятого ранее сечения при  $\alpha = 180^\circ$ . Параметр принимается по материалам [1];

$C_\alpha$  – коэффициент учитывающий угол обхвата. Его величина определяется по таблицам нормативных материалов [1];

$C_L$  – коэффициент учитывающий длину ремня. Его величина находится по таблицам [1]. Для передач работающих ограниченное время (менее 500 часов)  $C_L = 1$ .

$C_Z$  – коэффициент учитывающий число ремней в передаче. Его величина принимается по таблицам [1]. Для передач работающих ограниченное время (менее 500 часов)  $C_Z = 1$ .

### ВЫВОДЫ

1. Разработан графоаналитический способ последовательных приближений для определения основных параметров самонатяжной ременной передачи с натяжным роликом – углов обхвата ремнем ведущего шкива и угла наклона ремня на участке ведомый шкив–натяжной ролик к межцентровой линии шкивов.
2. Углы обхвата ведущего и ведомого шкивов определяют положение натяжного ролика в рассматриваемой передаче.
3. Аналитическими исследованиями установлено, что с увеличением межосевого расстояния углы обхвата ремнем ведущего шкива интенсивно увеличиваются, а ведомого незначительно изменяются как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.
4. Аналитическими исследованиями установлено, что при увеличении межосевого расстояния самонатяжной передачи с натяжным роликом в 2,0–2,5 раза по сравнению с рекомендуемыми, по углы обхвата ремнем шкивов близки к оптимальным.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 1284.3-96. Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Передаваемая мощность: -М.: Издательство стандартов, 1997. – 59 с.
2. Машиностроение. Энциклопедия: в 40 т. -Т.IV-I. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка / Ред. кол. Д.Н. Решетов, А.П. Гусенков, Ю.Н. Дроздов и др. Под общей редакцией Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1995. – С.606-632.
3. Ниберг Н.Я. Самонатяжные ременные передачи / Ниберг Н.Я. // Вестник машиностроения, 1977. -№7, С.38-42.
4. Олефиренко Г. Увеличение долговечности клиновых ременных комбайнов / Олефиренко Г., Ходжаев П., Рыбалкин Е. // Техника в сельском хозяйстве. 1968, №7. С.22-26.
5. Патент 50208 МПК F16H 7/12 Украина. Самонатяжной ременной привод / Хабрат Н.И., Люманов Э.М., Умеров Э.Д. – u200913354; заявл. 22.12.09, опубл. 25.05.10. Бюл. №10. – 2с.
6. Флик Э.П. Механические приводы сельскохозяйственных машин./ Флик Э.П. – М.: Машиностроение. 1984.- 272 с.
7. Хабрат Н.И. О величине коэффициента трения клинового ремня по шкиву и методика его экспериментального определения / Сборник научных трудов УСХА. Совершенствование процессов и рабочих органов сельхозмашин, организация и технология ремонта сельхозмашин.- К.: Изд-во УСХА, 1982. – С.26-29.

8. Хабрат Н.И. О контроле натяжения приводных ремней сельскохозяйственных машин / Научные труды УСХА. Повышение эффективности использования широкозахватных скоростных машинотракторных агрегатов. Выпуск 141. – К.: изд-во УСХА, 1977. – С.40-45.
9. Heroviz B., Gheorghiu N. Messung der Vorspannung bei Riementrieben Maschinenmarkt. 1969, №11.

УДК 621.861.2.004.15

**Хабрат Н.И., инж, доцент**

*РВУЗ «Крымский инженерно-педагогический университет»*

### **АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕЛИЧИНЫ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ВЕТВЯМИ ПОЛИСПАСТОВ БАШЕННЫХ КРАНОВ**

*Разработаны основы для создания рациональной конструкции полиспастов для башенных кранов с учетом их параметров.*

**полиспаст, крюковая подвеска, башенный кран, блоки полиспаста, стальной канат.**

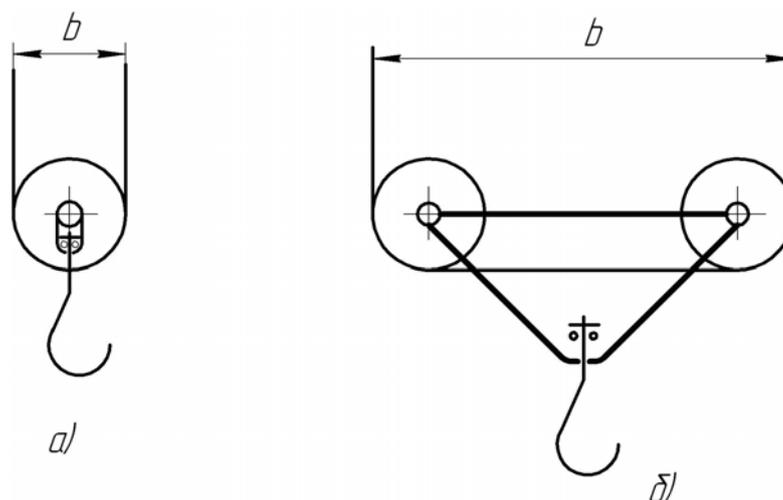
Грузоподъемные машины в виде автомобильных, мостовых, башенных кранов нашли широкое применение в различных сферах производств для механизации межоперационных технологических процессов. При этом неотъемлемым механизмом всех выше перечисленных кранов являются полиспасты, обеспечивающие наиболее простым конструктивным решением кинематическую связь рабочего органа – грузового крюка с его приводом. В абсолютном большинстве случаев грузовой крюк опирается упором в виде гайки на его шейке на упорный подшипник качения на траверсе крюковой подвески, обеспечивая ему, в случае необходимости, проворачивание вокруг своей оси с минимальным сопротивлением.

На осях крюковых подвесок вышеперечисленных кранов устанавливаются подвижные блоки и при этом расстояния между нисходящей и восходящей ветвями полиспастов определяются расчетными диаметрами блоков, которые охватываются гибкими органами – в виде канатов или цепей (рис. 1,а).

На мостовых и козловых кранах грузы перемещаются в вертикальной и горизонтальной плоскостях и разворот их в подвешенном положении обычно выполняется вручную при установке их в транспортные или иные средства.

На автомобильных и башенных кранах при повороте грузовой стрелы с грузом последний, перемещаясь по окружности, практически сохраняет свое плоскопараллельное перемещение, вследствие значительного осевого момента инерции масс груза при весьма незначительном сопротивлении повороту грузового крюка в подшипниковой опоре крюковой подвески.

Несмотря на незначительное сопротивление повороту грузовому крюку в подшипниковой опоре крюковой подвески, это сопротивление в виде крутящего момента, воздействующего на ветви полиспаста, приводит их к развороту в сторону противоположную повороту грузовой стрелы крана. А это последнее может привести к перехлестыванию ветвей полиспаста, снижающее работоспособность кранов. Вероятность перехлестывания ветвей полиспаста возрастает с увеличением высоты подъема груза  $H$  и с уменьшением расстояния между ветвями полиспаста. Таково бытует мнение среди создателей башенных кранов.



**Рис.1. Схемы крюковых подвесок полиспастов:**

**а – мостовых кранов; б – башенных кранов с поворотной стрелой.**

Поэтому в башенных кранах повышенной высоты подъема груза на крюковой подвеске расстояние между восходящей и нисходящей ветвями полиспаста увеличивают путем установки дополнительного второго блока на крюковой подвеске, располагая его ось в той же горизонтальной плоскости, что и первый блок и на параллельной оси (рис.1, б).

Поиском рекомендаций по обоснованию расстояний между ветвями в полиспастах при значительных перемещениях крюковой подвески по основным специальным источникам информации этот параметр не был выявлен [1,2].

**Цель данной работы** – рассмотрение механизма работы крюковых подвесок с полиспастами, установленных на грузовых поворотных стрелах кранов, при значительных их перемещениях по вертикали и разработка основ для рекомендаций по созданию крюковых подвесок рациональной конструкции для башенных кранов.

Допущения при решении поставленной задачи:

1. Принимается, что поднимаемый груз обладает значительным моментом инерции масс и при развороте грузовой стрелы крана, перемещаясь по дуге окружности, сохраняет свое первоначальное плоскопараллельное положение;

2. Пренебрегается силой тяжести крюковой подвески вследствие ее незначительности по сравнению с силой тяжести рабочего груза  $Q$ .

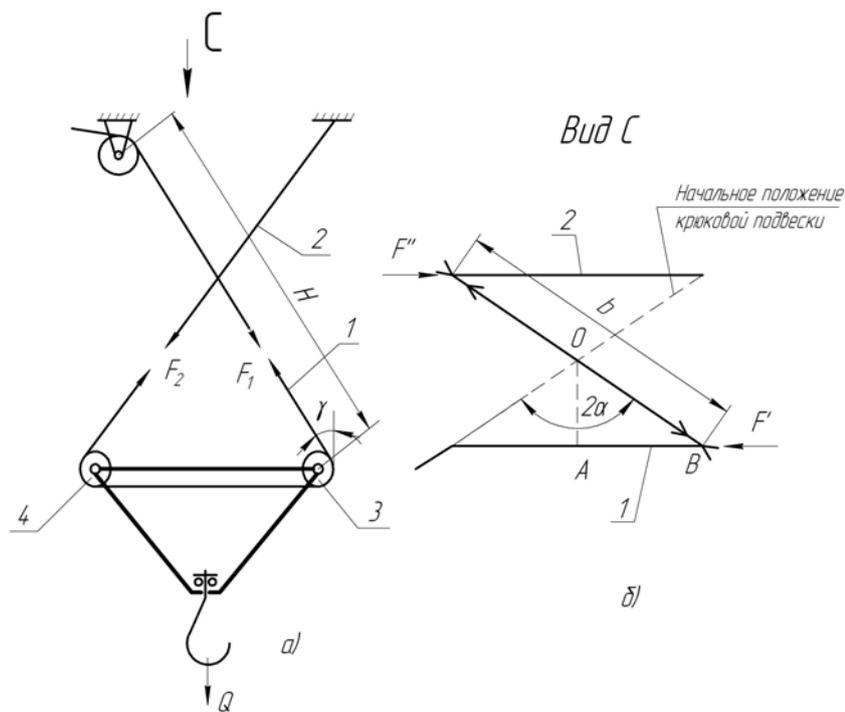
Работа крюковой подвески в начальный период – при включении привода на поворот стрелы. В начальный период поворота грузовой стрелы вследствие сопротивления в виде крутящего момента  $M_k$  провороту грузового крюка в опоре крюковой подвески равного

$$M_k = 0,5Qd_n f, \quad (1)$$

происходит разворот ветвей полиспаста на угол  $\gamma$  относительно вертикали, что соответствует на крюковой подвеске углу  $2\alpha$  (рис.2).

В уравнении (1)  $Q$  – сила тяжести поднимаемого груза на крюке,  $d_n$  – средний диаметр упорного подшипника качения по которому перекатываются тела качения;  $f$  – коэффициент трения сопротивления перекатыванию тел качения.

При дальнейшем повороте грузовой стрелы крана и достижением моментом сил от составляющих сил в наклонных ветвях полиспаста, момента сил сопротивления вращению грузового крюка в опоре крюковой подвески, начинается проворачивание грузового крюка в его опоре при постоянном сохранении угла  $\gamma$  – отклонения ветвей полиспаста от вертикали.

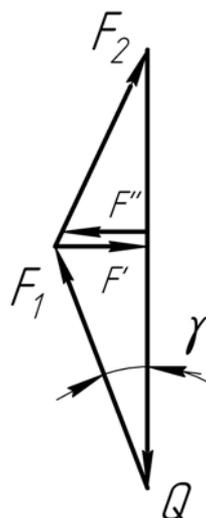


**Рис.2. Расчетная схема полиспаста с развернутым положением его ветвей и крюковой подвески.**

На рис.2 представлена схема крюковой подвески в развернутом положении и параллельном расположении между собой в пространстве ветвей 1 и 2 полиспаста, имеющих угол отклонения от вертикали  $\gamma$ . При этом принято расстояние между ветвями полиспаста равным  $b$  на крюковой подвеске в местах контакта этих ветвей по расчетным диаметрам подвижных блоков 3 и 4.

Из плана сил, действующих на крюковую подвеску (рис.3), горизонтальные составляющие  $F'$  и  $F''$  от усилий в наклонных ветвях 1 и 2 полиспаста составляют:

$$F' = F'' = F = 0,5Q \operatorname{tg} \gamma \quad (2)$$



**Рис.3. План сил действующих на крюковую подвеску полиспаста башенного крана.**

Максимальный крутящий момент  $M_{\text{кр}}$ , создаваемый этими силами на крюковую подвеску в момент начала проворачивания грузового крюка в упором подшипнике крюковой подвески составляет в этом случае

$$M_{\kappa} = M_{\kappa n} = Fb \cos \alpha = 0,5Qbtg\gamma \cos \alpha \quad (3)$$

Из треугольника OAB по рис. 2 следует

$$OA / AB = ctg\alpha \quad (4)$$

Заменяя в уравнении (4) отрезки  $OA=0,5b\cos\alpha$  и  $AB=0,5H\sin\gamma$  и преобразовав его получим

$$b = H \sin \gamma / \sin \alpha \quad (5)$$

Уравнение (5) имеет ответ на поставленную задачу, но она неразрешима в связи с неизвестностью углов  $\alpha$  и  $\gamma$ .

С целью последовательного исключения неизвестных параметров приравняв уравнения (1) и (3) и исключив из них параметр  $b$  в зависимости (5) получим

$$d_{\pi}f \operatorname{tg}\alpha / H = \operatorname{tg}\gamma \sin\gamma \quad (6)$$

Затем составив уравнение работы  $A_{\kappa}$  затрачиваемой при повороте крюковой подвески на угол  $2\alpha$ , до момента проворачивания крюка в опоре

$$A_{\kappa} = Q\pi d_{\pi}f \alpha / 180 \quad (7)$$

и уравнение работы  $A_{\pi}$  на подъем груза в связи с разворотом ветвей полиспаста и переводом их от вертикального положения к наклонному, в виде:

$$A_{\pi} = QH (1 - \cos\gamma) \quad (8)$$

и приравняв эти уравнения получим

$$\pi d_{\pi}f \alpha / 360 = H (1 - \cos\gamma), \quad (10)$$

из которого находим  $\alpha$

$$\alpha = 360 H (1 - \cos\gamma) / (\pi d_{\pi}f). \quad (11)$$

Заменяя в уравнении (6)  $\alpha$  зависимостью (11) имеем

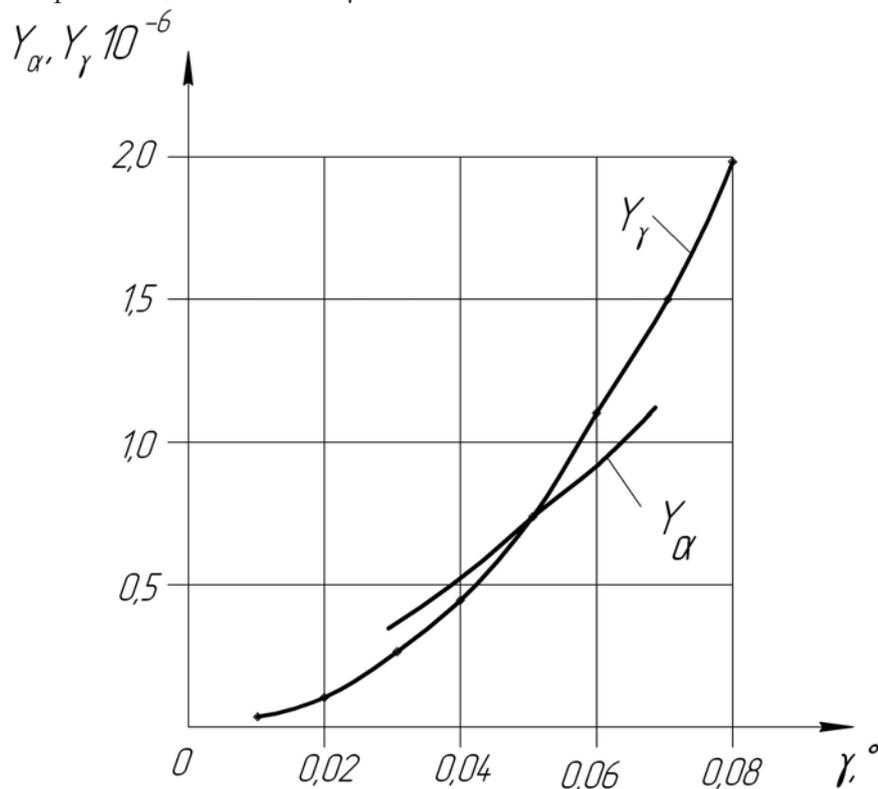
$$\frac{d_{\pi}f}{H} \operatorname{tg} \frac{360H(1 - \cos\gamma)}{\pi d_{\pi}f} = \operatorname{tg}\gamma \sin\gamma \quad (12)$$

Угол  $\gamma$  по уравнению (12) определим графоаналитическим методом. С этой целью уравнение (12) представим в виде двух функций

$$Y_{\alpha} = \frac{d_{\pi}f}{H} \operatorname{tg} \frac{360H(1 - \cos\gamma)}{\pi d_{\pi}f} \quad (13)$$

$$Y_{\gamma} = \operatorname{tg}\gamma \sin\gamma \quad (14)$$

Анализ функций  $Y_\alpha$  и  $Y_\gamma$  показывает, что оба они при  $\gamma = 0$  равны нулю и являются  $Y_\alpha$  убывающей, а  $Y_\gamma$  возрастающей функциями. Поэтому эти обе функции равны между собой при некоторой общей величине  $\gamma$ .



**Рис.4.** Зависимости функции  $Y_\alpha$  и  $Y_\gamma$  от  $\gamma$

При графическом построении зависимостей (13) и (14) по месту пересечения кривых определяется величина угла  $\gamma$ , подставив которую в преобразованную зависимость (6), находим величину угла  $\alpha$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{Htg\gamma \sin \gamma}{d_n f}\right). \quad (15)$$

Имея численные значения углов  $\alpha$  и  $\gamma$  и параметр высоты подъема крюковой подвески  $H$ , находим минимальное расстояние  $b$  между нисходящей и восходящей ветвями полиспаста по зависимости (5).

Проиллюстрируем этот расчет на примере для крана КБ-403А с параметрами  $H = 41$  м,  $b = 1$  м,  $d_n = 77,5$  мм (подшипник 8212) при  $f = 0,01$ .

По справочным материалам [2, с.237] коэффициент трения сопротивления перекачиванию шариковых тел качения  $f$ , приведенный к среднему диаметру  $d_n$  упорного подшипника 8212 составит 0,0065-0,0100.

На рис.4 представлены графические зависимости  $Y_\alpha$  и  $Y_\gamma$  при величине  $f = 0,01$ . Из этого рисунка находим угол  $\gamma = 0,05^\circ$ .

По зависимости (11) или (15)

$$\alpha = 360 \cdot 41000 (1 - \cos 0,05) / (3,14 \cdot 77,5 \cdot 0,01) = 2,3^\circ$$

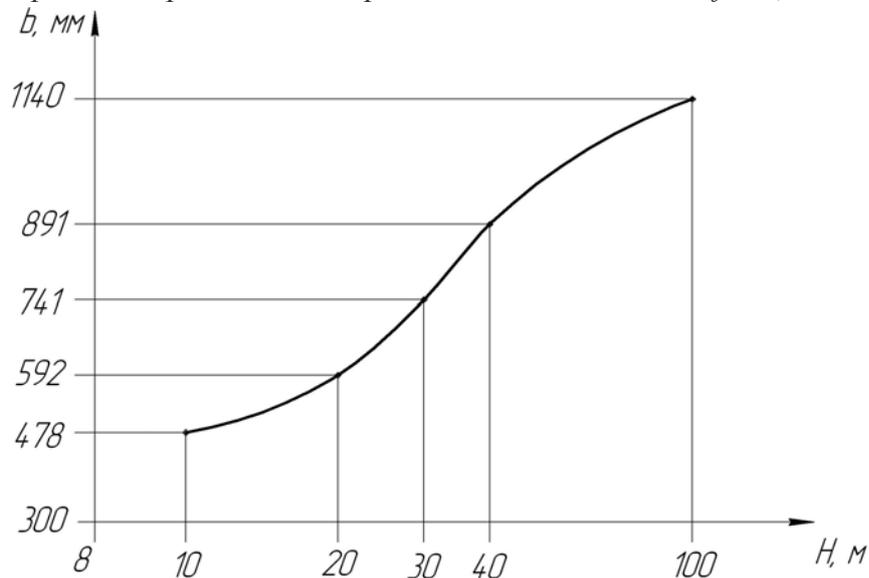
По зависимости (5)

$$b = 41000 \cdot \sin 0,05 / \sin 2,3 = 891,5 \text{ мм}$$

Полученная нами величина расстояния между ветвями полиспаста расчетным путем близка и несколько меньше чем в конструкции полиспаста рассмотренного нами башенного крана. Полученную величину параметра  $b$  следует рассматривать как минимальную, обеспечивающую работу полиспаста без перехлестывания его ветвей при повороте стрелы крана и крюковой подвески находящейся в самом нижнем положении.

Определение угла наклона  $\gamma$  ветвей полиспаста в вертикальном направлении сравнительно быстро можно найти путем последовательных подстановок его величин в зависимости (11) и (15) и при их равенствах находится и параметр  $\alpha$ .

На рис.5 представлена графически зависимость параметра  $b$  в зависимости от высоты подъема для крюковой подвески с упорным подшипником 8212 ( $d_{\text{п}} = 77,5$  мм) и коэффициенте трения сопротивления перекатывания тел качения  $f = 0,01$ .



**Рис.5. Зависимость  $b$  от  $H$ .**

Анализ графической зависимости по рис.5 показывает, что с увеличением высоты подъема  $H$  крюковой подвески, в которой установлен упорный подшипник 8212 ( $d_{\text{п}} = 77,5$  мм), величина расстояния между ветвями  $b$  увеличивается для обеспечения неперехлестывания ветвей полиспаста. Это последнее требует установки на крюковой подвеске второго блока, а это последнее как минимум увеличивает число перегибов гибкого органа не менее чем на 25%, что снижает долговечность одного из основных и дорогостоящих элементов привода механизма подъема крана. Долговечность гибких органов полиспастов башенных кранов можно повысить, уменьшив число перегибов гибкого органа, установив на крюковой подвеске один блок. При этом с целью исключения перехлестывания ветвей гибкого органа включение на поворот грузовой стрелы крана следует проводить в соответствии с представленным графиком при расстояниях  $b$  между ветвями полиспаста, несколько превышающими диаметр блока на крюковой подвеске и соответствующему ему расстоянию от крюковой подвески до грузовой стрелы крана.

На автомобильном кране КС-3575 при высоте подъема  $H = 16$  м на крюковой подвеске установлен один блок с расчетным диаметром 600 мм и упорным подшипником 8212 на крюке. Следовательно расстояние между ветвями полиспаста составляет  $b = 600$  мм при  $H = 16$  м. Эти параметры хорошо согласуются с полученными нами в результате аналитических исследований.

Так, например, при  $H = 16$  м минимальный размер между ветвями полиспаста по нашим расчетам составляет 571 мм, на рассматриваемом же кране это расстояние на 5% больше, что создает дополнительный запас на предотвращение перехлестывания ветвей полиспаста.

## ВЫВОДЫ

1. Из анализа работы крюковой подвески полиспаста механизма подъема крана приведено аналитическое описание ее работы, обеспечивающее нормируемый разворот (наклон) ветвей полиспаста в вертикальном направлении, предотвращающий их перехлестывание.

2. Аналитически установлено, что основным фактором, влияющим на разворот (наклон) ветвей в вертикальном направлении является сопротивление вращению грузового крюка в подшипниковой опоре крюковой подвески.
3. Установлено, что с увеличением высоты подъема крюковой подвески при повороте грузовой стрелы расстояние между ветвями полиспаста увеличиваться.
4. При значительных перемещениях крюковой подвески в вертикальном направлении на ней может быть установлен один блок с целью повышения долговечности гибкого органа – каната и при этом включение на поворот грузовой стрелы должно производиться при определенном расстоянии от крюковой подвески до грузовой стрелы.
5. Рекомендуется с целью повышения долговечности стальных канатов на механизмах подъема башенных кранов на крюковых подвесках полиспастов устанавливать по одному блоку повышенного диаметра, расчетный размер которого незначительно превышает параметр  $b$  по рис.5, приводящий к снижению числа циклов изгиба и напряжений изгиба в гибком органе.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.**

1. Александров М.П. Грузоподъемные машины // М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов и др. М.: Машиностроение, 1988. – 400 с.
2. Справочник по кранам в 2-х т. Т.2 / М.П. Александров, М.М. Гохберг, А.А. Ковин и др. Л.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
3. Кран автомобильный 10 т на шасси ЗИЛ-133ГЯ с гидравлическим приводом. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Львов, облполиграфиздат, 1987. – 108 с.

## **Раздел 5.**

# **ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

УДК 556(477.75):504.06

**Иваненко Т.А., инженер-эколог, Карнаух Е.П., аспирант, Сапронова З.Д., к.г-м.н., профессор, Снегирев В.С., студент**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

### **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БОЛЬШОЙ ЯЛТЫ**

*Проанализировано экологическое состояние поверхностных вод естественного стока (реки, источники) ливневого и канализационного стоков в прибрежную зону моря, выявлены основные проблемы, требующие решения для развития Большой Ялты как курорта*

**Южный берег Крыма, водные ресурсы, рекреационный потенциал, система водоотведения, поверхностный сток**

#### **Введение**

Туристическая деятельность, как приоритетный фактор развития экономики Крыма, является обоснованным выбором в политике развития полуострова. Ставка на курорты и туризм позволит реализовать идею устойчивого развития региона с сохранением природной среды и ресурсов, обеспечить нормальную экологическую и санитарно-эпидемиологическую обстановку, повысить жизненный уровень и благосостояние крымчан.

Во многих районах Украины происходит деградация природной среды вследствие чрезмерных техногенных нагрузок, истощения природных ресурсов, загрязнения, утраты биологического разнообразия, нарушаются санитарно-гигиенические требования к качеству окружающей среды (ОС). Эти процессы неблагоприятно отражаются на состоянии здоровья населения и демографических показателях качества жизни.

На территории Украины трудно привести пример рациональной планировки с экологической точки зрения города с численностью населения более 100 тыс. человек, т.к. эти города застраивались и перестраивались бессистемно, каждый исторический период диктовал свои требования. Длительное время ОС выдерживала эту нагрузку без видимых фактов деградации природной среды.

#### **Цель и задачи исследования**

Основная цель работы – оценка существующего санитарно-гигиенического состояния поверхностного стока и вод прибрежной зоны моря.

#### **Результаты исследования и их анализ**

В настоящее время нет четких планировочных, проектных требований для экологической оценки качества застройки и реконструкции городских территорий. По оценкам Госкомгеологии и Национальной Академии Наук Украины в ряде регионов Украины отрицательное влияние отходов на водные ресурсы в десятки раз превышает защитные способности почв и грунтов зоны аэрации [1]. В табл. 1 приведены данные о сбрасываемых загрязняющих веществах в поверхностные водные объекты в Крымской области, которые входят в первую десятку областей Украины после Днепропетровской, Донецкой, Одесской, Запорожской, Харьковской обл.

**Сведения о сбрасываемых загрязняющих веществах в поверхностные водные объекты в составе сточных вод в Крыму**

Административная единица	Количество ЗВ, т/год				
	Железо	Медь	Цинк	Никель	Хром
Крымская обл.	120,79	48,03	8,76	28,62	1,86
г. Симферополь	34,58	42,55	-	28,59	1,86
г. Севастополь	48,65	4,84	7,74	-	-
г. Ялта	24,3	2,42	3,87	-	-
Макс. значения: Днепропетровская обл.	590,34	2,81	5,34	10,06	6,45

Исследования показывают, что крупные города, а тем более промышленно-городские агломерации (ПГА) оказывают влияние на ОС в радиусе, в 50 раз превышающем их собственный радиус [1]. Масштаб антропогенного давления на окружающую природную среду в пределах урбанизированных территорий определяется величиной промышленно-городской агломерации (ПГА), плотностью застройки, отраслями промышленности и степенью развития санаторно-курортных функций.

Создание полноценной урбанизированной среды немыслимо без введения в нее экологически действенных природных элементов, искусственных рекреационных территорий, которые сохраняют ее ресурсный экологический потенциал.

Территория Большой Ялты протягивается от г.Гурзуфа до пгт. Форос, где расположены города Ялта, Алушка и 21 поселок городского типа с населением 160 тыс. чел. Береговая зона протянулась на 72 км.

Для оценки качества водных ресурсов (рек и родников) Большой Ялты использованы результаты аналитических исследований за последние 20-25 лет (Гидрометстата, Рескомводхоза, Рескомприроды, НАПКС, Крымской ассоциации «Экология и мир»).

Результаты исследований сгруппированы по направлениям:

1. Экологическое состояние поверхностного стока рек, родников
2. Качество морской воды для купания

Санитарно-гигиеническое состояние территории Большой Ялты связано со степенью ее антропогенного загрязнения: механического (промышленные и бытовые отходы), химического (токсичные тяжелые металлы, вырабатываемые промышленностью, сельским хозяйством и автотранспортом), физического (тепловое, шумовое, электромагнитное, световое, радиоактивное и др.загрязнения), биологического (биологические отходы, быстрое размножение патогенных микроорганизмов на антропогенных субстратах).

Поверхностные воды естественного стока территории Крыма формируются, в основном, в Горном Крыму, на большей территории которого действует режим водоохраной зоны. Общий суммарный сток поверхностных вод Крыма оценивается в 1000 тыс. м<sup>3</sup>/сут, или около 365 млн. м<sup>3</sup> в год. Речной сток, в основном зарегулирован и аккумулируется в системе водохранилищ и прудов.

Воды моря и рек загрязняются поверхностным стоком во время дождей, а так же через ливневую канализацию, которая находится в неудовлетворительном состоянии. Недостаточный охват территории сетями и сооружениями канализации, их неудовлетворительное состояние и эксплуатация приводят к загрязнению отдельных участков прибрежной территории и моря. В табл. 2 приведено сопоставление отечественных и европейских требований к водам для купания, в табл. 3 – классы качества воды для купания.

Таблица 2.

**Сопоставление отечественных и европейских требований к водам  
для купания**

№ п/п	Параметр	Европейская директива от 08.12.75 г. Воды для купания		Отечественные требования для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения СанПиН 4630-88
		Рекомендуемая величина	Обязательная величина	
<b>Микробиологические</b>				
1	Колиформы общие	5000/л	10000/л	100/л <sup>1)</sup>
2	Колиформы фекальные	1000/л	20000/л	100/л <sup>1)</sup>
3	Стрептококки	1000/л	-	0 <sup>2)</sup>
4	Сальмонеллы	-	0	0 <sup>2)</sup>
5	Кишечные палочки	-	0	5000/л
<b>Физико-химические</b>				
6	РН	-	6-9	6,5 - 8,5
7	Цвет		Нет необычного изменения цвета	Окраска не должна обнаруживаться в столбике 10 см
8	Минеральные масла	0,3 мг/л	Отсутствие видимой плёнки на поверхности и запаха	Отсутствие пятен минеральных масел
9	СПАВ	0,3 мг/л	Нет устойчивой пены	0,5 мг/л <sup>3)</sup>
10	Фенолы	0,005 мг/л	0,05 мг/л; отсутствие специфического запаха	0,001 мг/л
11	Прозрачность	2 м	1м	Содержание взвешенных веществ < 0,75 мг/л <sup>1)</sup>
12	Растворённый кислород	80 -120 %	-	4 мг/л
13	Плавающие объекты	Отсутствие дерева, пластика, бутылок и т.п.		Отсутствие плавающих плёнок и скопления других примесей
14	Аммоний (NH <sub>4</sub> )	Параметры должны контролироваться компетентными службами		2мг/л <sup>3)</sup>

Примечание: 1) воды для купания; 2) вода не должна содержать возбудителей заболеваний; 3) Дополнение к методическим указаниям по заполнению паспортов малых рек Украины. Минводхоз, 1990.

**Классы качества вод для купания**

Класс качества воды	Требования к качеству воды
<b>Класс А</b>	(Хорошее качество) Параметры качества воды для купания соответствуют рекомендуемым нормативным бактериологическим величинам
<b>Класс В</b>	(Среднее качество) Параметры качества воды для купания соответствуют обязательным нормативным бактериологическим величинам
<b>Класс С</b>	(Периодическое загрязнение) Параметры качества воды для купания не соответствуют обязательным нормативным бактериологическим величинам
<b>Класс D</b>	(Плохое качество, очень частое загрязнение) Параметры качества воды для купания не соответствуют обязательным нормативным бактериологическим величинам

По территории Большой Ялты протекает 8 рек. В соответствии с «Водным кодексом Украины» они относятся к категории «малых» рек. Длина их не превышает 10 км, а площадь водосборного бассейна 51 км<sup>2</sup>.

Оценка гидроэкологического состояния водных ресурсов сводится к анализу фактических значений показателей качества воды к предельно допустимым. Количество показателей для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения – 1345, для вод рыбохозяйственного назначения – 521. Были проанализированы наиболее значимые показатели качества (уровень загрязненности) поверхностных вод естественного стока территории Большой Ялты в верховьях рек Водопадной и Быстрой (табл. 4).

Таблица 4

**Результаты химического анализа воды рек Водопадной и Быстрой (август 2008 г, лаборатория Рескомприроды Крыма)**

Компоненты	Река Водопадная мг\дм <sup>3</sup>	Река Быстрая мг\дм <sup>3</sup>	ПДК мг/дм <sup>3</sup>
Na <sup>+</sup>	16,95	17,12	
K <sup>+</sup>	0,82	0,78	
Ca <sup>++</sup>	52,0	58,31	
Mg <sup>++</sup>	25,55	31,18	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	253,15	278,11	
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	33,32	38,12	500
Cl <sup>-</sup>	17,73	19,15	
Общая жесткость	4,95 мг/эquiv.	5,23	7 (не >10) мг/эquiv.
NO <sub>3</sub>	4,10	5,12	45
NO <sub>2</sub>	0,4	0,42	0,33
pH	8,25	7,9	6-8
EH	+120	+132	
Сухой остаток	290,0	309,25	1000 (1500)
Степень токсичности	261 (допустимая)	298	290

В сухом остатке этих вод определены: Cu - 3,2 мг/л, Ni – 8 мг/л, Mo – 0,5 мг/л, Cr – 8 мг/л, B – 500-630 мг/л, Fe – 25-400 мг/л, Sr – 120 мг/л, Ti – 32 мг/л, следы Ag, V, Pb.

Экологическое состояние рек Большой Ялты напрямую зависит от экологической обстановки на площади водосборных бассейнов, экологической культуры промышленного и сельскохозяйственного производства, плотности застройки, дорожной сети и др.

На условно чистых и умеренно загрязненных территориях ЮБК состояние рек характеризуется наиболее высокой экологической надежностью.

Территория южного склона характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, наличием активных оползней, значительной расчлененностью рельефа, большой крутизной склонов, сложными гидрологическими условиями, что оказывает непосредственное влияние на формирование поверхностного стока.

Система отвода поверхностных вод является локальной ливнесточной сетью с закрытыми и открытыми ливневодами, расположенными на территориях жилых поселков, здравниц и вдоль автодорог. Согласно данным Крымского противооползневого управления общая протяженность ливневодоотводов более 80 км, в том числе закрытых ливнесточных коллекторов – более 25 км, что для территории Большой Ялты явно недостаточно.

Для значительной части территории Ялты, Алупки, Гурзуфа, Симеиза, Кореиза и др. характерно отсутствие регулирования поверхностного стока. Водоотвод с территории г. Ялта осуществляется водотоками, которые по открытым лоткам, а также закрытой ливневой канализации со сбросом поверхностных вод в речки и балки. Тем не менее, существующая сеть ливнеотводов не обеспечивает нормативный отвод поверхностного стока. Очистные сооружения дождевой канализации отсутствуют. В районе ул. Морской, гостиницы «Ореанда» существует локальный выпуск ливневых вод непосредственно в Черное море, такие же выпуски существуют в районе гостиницы Ялта. В Приморском парке открытыми ливнеотводами осуществляется сброс поверхностных вод в Черное море.

Сброс в речки неочищенных стоков дождевой канализации и неорганизованного стока поверхностных вод с застроенных территорий, улиц и проездов приводит к интенсивному заилению русел речек, а также к их загрязнению регламентируемыми веществами.

Одной из важнейших экологических проблем ЮБК является загрязнение поверхностного стока тяжелыми металлами и другими токсичными и канцерогенными веществами, поступающими от автотранспорта, которые во время ливней смываются с проезжих частей автодорог и улиц (Южнобережное шоссе и др.) в придорожные лотки и кюветы и сбрасываются без очистки поверхностного стока на рельеф, что приводит к размывам горных склонов, эрозионным процессам, загрязнению пляжей и прибрежной зоны моря.

Дождевые воды по существующим локальным водостокам, ливневой канализации, открытым канавам и лоткам сбрасываются без предварительной очистки в ручьи, речки и Черное море.

По основным рекам было проведено опробование воды от верховий до устья с целью определения экологического состояния воды рек в зависимости от воздействия ливневого стока на ее состав. Результаты анализов приведены в таблице 5. Данные таблицы представляют собой совокупность результатов измерений параметров состояния водных объектов, сгруппированных по месту отбора проб. Отбор проб произведен в 2008 г с привязкой места отбора к местности.

Получены данные по р. Гува, Дерекойка, Водопадная, Авунда и др.

Обработка данных проведена в абсолютных значениях и расчете ПДК загрязняющего компонента, а затем дана экологическая характеристика зоны отбора с целью выяснения источников загрязнения или изменения состава речной воды вниз по течению. Оценивалось хозяйственное воздействие на окружающую среду – наличие и

плотность застройки (жилых и промышленных объектов), близость транспортных магистралей и др.

Используя значительное количество измерений состава воды вниз по течению рек, регулярные измерения выбранных переменных показателей (выбор которых может определить детальный анализ размещенных по берегу объектов, поставляющих загрязнители) позволяет достоверно прогнозировать уровни загрязнения воды, распределение загрязнителей в течении года, уточнить или выявить источники загрязнения.

По данным аналитических исследований состава воды (табл. 5), используя методику [2] можно рассчитать интегральный уровень загрязнения воды (ИУЗ), который определяется по формуле:

$$ИУЗ = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad [1]$$

$$P_i = \frac{C_i}{ПДК_i} \quad [2]$$

где  $P_i$  – уровень загрязнения воды по отдельным (i) компонентам

$C_i$  - концентрация определяемого i-ого элемента, мг/дм<sup>3</sup>

$ПДК_i$  - предельно допустимая концентрация i-ого элемента, мг/дм<sup>3</sup>

i-номер параметра

n – количество определяемых элементов в воде

Вданном случае интегральный уровень загрязнения воды рассчитывался по пяти параметрам: цветность, мутность, содержание нитратов и нитритов, химическая потребность в кислороде (ХПК O<sub>2</sub>).

Таблица 5.

**Показатели качества вод в реках территории Большой Ялты**

№ пробы	Пункт отбора пробы	ПОКАЗАТЕЛЬ					Интегральный уровень загрязнения воды
		Цветность, град.	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	Хим. потребление кислорода, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	
ПДК		< 20 град	< 0,5 н.е.м	0,1	45	4,0	
1	р. Гува над п. Долосы.	0	0	0	2,7	23,4	1,182
2	р. Гува ниже вертолетной площадки ЯГЛЗ	0	0	0,001	3,8	22,5	1,143
3	р. Гува, огороды перед п. Васильевка	0	0,13	0	3,9	22,9	1,214
4	р. Гува, под п. Васильевка	8,2	0,76	0,01	40,3	213,9	11,280
5	Слияние р. Гува и Быстрая	28,3	34,1	0,004	28,5	12,2	14,667
6	р. Дерекойка, пер. Киевский	18,9	24,1	0,003	32,7	39,8	11,970
7	р. Дерекойка, гидропост возле рынка	18	14	0,002	34	37	7,785
8	р. Дерекойка, переход возле исполкома	8,6	4,4	0,019	34,3	61,8	5,126

9	р. Водопадная над в/п Учан-Су	10,8	0,15	0,004	3,5	0,9	0,236
10	р. Водопадная над базой отдыха	13,1	0,23	0,01	6,4	3,7	0,456
11	р. Водопадная ниже базы отдыха и моста	12,2	0,4	0,003	4,3	2,7	0,442
12	р. Водопадная на 20 м ниже ресторана «Горный ручей»	22	5,4	0,018	2,6	13,7	3,112
13	р. Водопадная на 20-30 м ниже зоопарка	26,5	13,5	0,047	5,8	14,6	6,514
14	р. Водопадная ул. Блюхера, напротив «Крымэнерго»	36,8	10,8	0,048	3,8	7,3	5,165
15	р. Водопадная, устье, пляж	30,1	7,3	0,052	30	11,9	4,053
16	р. Авунда, выше с. Партизанское, проба из родника	7,7	0	0,016	0,07	0,9	0,154
17	р. Авунда, п. Гурзуф, 200 м ниже трассы	12,6	0,84	0,017	0,03	7,3	0,861
18	р. Авунда, п. Гурзуф, устье, пляж	110,7	474	0,018	0,19	22,8	191,883
19	р. Хаста-Баш, устье, между сан. «Морской прибор» и «Ай-Петри», Кореиз-Алупка	0	0	0,025	0,29	0,9	0,096
20	р. Хаста-Баш, ниже источника Кореиз-Алупка	0	0	0,015	0,1	0,9	0,075
21	р. Кикинеиз, выход водотока из каптажа. Выше воды нет.	33	0,84	0,064	2,1	16,4	1,623
22	р. Кикинеиз, мыс Кикинеиз, устье	107	17,5	1,75	4,6	57,5	14,465
23	Водоток над п. Оползневое – проба из водовода	7,7	0	0,021	0,3	0,9	0,165
24	Водоток у с. Понизовка, перед м. Троицы, устье	28	4,6	0,022	1,6	48,3	4,586
25	Водоток над Голубым заливом, исток выше каптажа, ниже воды нет	12,2	0	0,017	0,5	0,9	0,203
26	Водоток у п. Симеиз, устье.	18	2,9	0,019	1,2	7,3	1,748

На основании проведенных исследований были построены графики распределения интегрального уровня загрязнения воды рек Водопадная, Гува и Авунда вниз по течению.

С 01 января 2011 г вступил в силу Закон Украины от 02.12.10 №2740-VI «О внесении изменений в Водный и земельный кодексы относительно прибрежных защитных полос». На территории прибрежной полосы не менее 100 м от уреза воды морей, морских заливов, лиманов запрещены какие-либо строения (дачи, другие застройки), кроме оздоровительных лечебных учреждений.

Для того, что бы закон работал, необходимо составить проекты охранной зоны вокруг морей, заливов, лиманов, рек и озер. Закон направлен на обеспечение сбалансированного использования прибрежной полосы водоемов для сохранения ландшафтного, природного, культурного и исторического наследия. Необходимо отметить, что закон гарантирует свободный доступ населения к побережью.

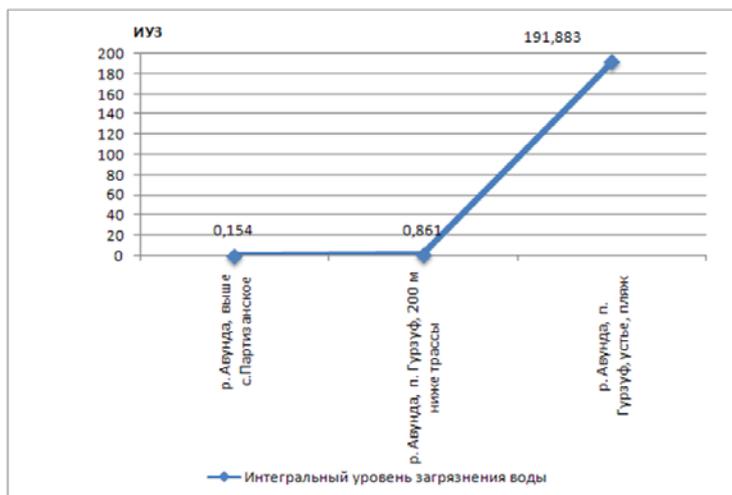
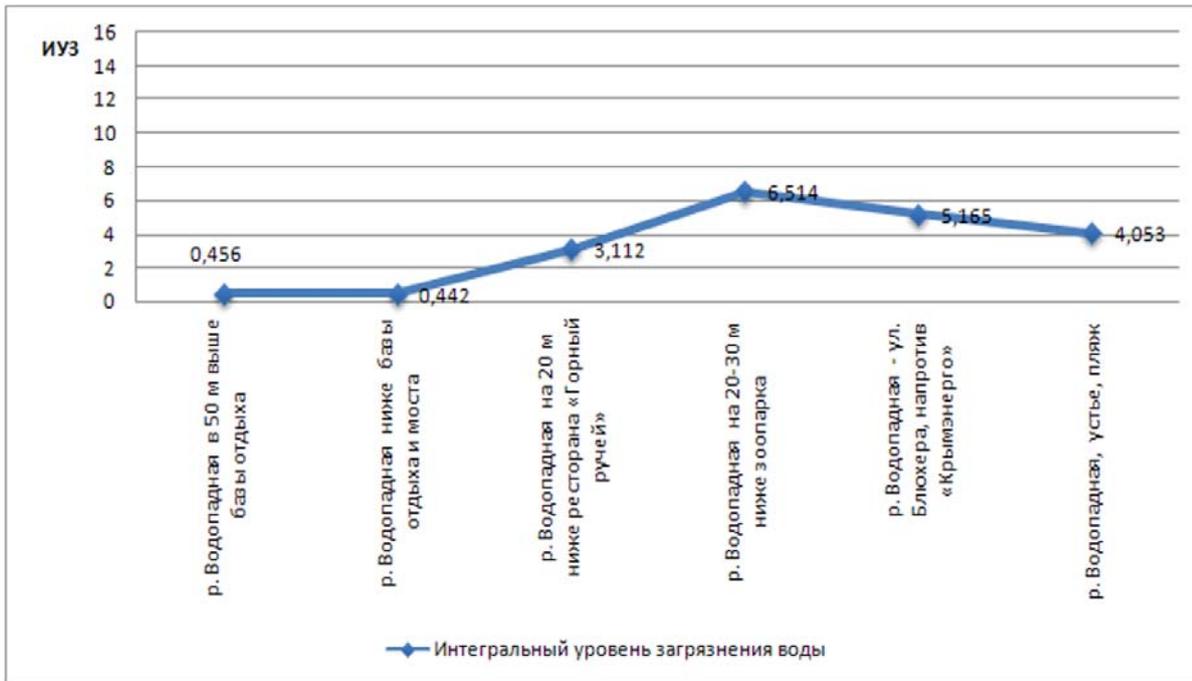


Рис. 1. Интегральный уровень загрязнения воды р. Водопадная, Гува и Авунда

## ВЫВОДЫ

В соответствии с полученными данными и рассчитанными интегральными уровнями загрязнения почти все реки характеризуются высоким качеством воды в верхней части русла и низким качеством в среднем и нижнем течении вплоть до устья.

Русла рек, которые проходят практически полностью вне территории населенных пунктов, промышленных предприятий, рекреационных объектов, практически не загрязнены на всем своем протяжении. Эти реки расположены в западной части Большой Ялты (р. Хаста-Баш, реки возле п. Оползневое и Голубой Залив). Реки г.Ялта, пос. Гурзуф в средней и, особенно, в нижней части течения содержат значительные количества антропогенных загрязнителей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устойчивый Крым. Курортполис Большая Ялта / В.С. тарасенко, В.Г. Ена, И.В. Бережная, А.Н. Олиферов, З.Д. Сапронова, А.Б. Хайтович, А.М. Ярош.-Симферополь: : ИТ Ариал, 2010.-392 с. : ил.

2. Матвеев П.И. Опыт создания ГИС экологического мониторинга источников питьевого водоснабжения в бассейне реки // П.И. Матвеев, Н.С. Глазнева, И.Д. Данилов, С.А. Фаныгин, И.Н. Шахова ArcReview. – 2008.- № 1 (44). – Режим доступа: [http://www.dataplus.ru/ARCREV/Number\\_44/17\\_VodSnab.htm](http://www.dataplus.ru/ARCREV/Number_44/17_VodSnab.htm)

УДК 614.7/8

Ревакина Ю. Н., аспирант

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА

*В статье исследованы возможности управления и повышения эффективности процесса регенерации воздуха в защитных сооружениях в режиме герметизации. Выделены основные направления, позволяющие без изменения принципиальной конструкции существующих регенеративных установок, повысить их защитный ресурс.*

**Коллективная защита населения, системы регенерации воздуха, защитные сооружения, регенеративные установки, регенеративный продукт, хемосорбционные процессы.**

### ВВЕДЕНИЕ

Для Украины, имеющей развитые химическую промышленность, трубопроводный транспорт, эксплуатируемые атомные электрические станции, значительные запасы опасных химических веществ, хранящихся или используемых в различных отраслях народного хозяйства, актуальными являются вопросы защиты населения, рабочего персонала в ЧС, связанных с авариями на этих объектах. Всего в зонах возможного химического заражения проживает около 26 % населения Украины [1].

При этом единственно надежным способом коллективной защиты населения при наступлении ЧС, связанных с заражением атмосферы радиоактивными и опасными химическими веществами, являются убежища гражданской защиты (ГЗ), способные работать в режиме герметизации [2].

Основной проблемой при укрытии людей в защитных сооружениях (ЗС) при III режиме эксплуатации является создание требуемых параметров воздуха по газовому

составу и микроклимату, которые в существующих убежищах создают специальные регенеративные устройства.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Проведенный анализ научно-технической литературы по имеющимся в ЗС ГЗ системам регенерации воздуха (СРВ) показал, что в данных установках процесс регенерации воздуха (ПРВ) осуществляется крайне неэффективно по следующему ряду причин:

1. Регенерации воздуха – экзотермический процесс, в ходе которого регенеративный продукт может разогреваться до 300...350 °С, что вызывает сильный разогрев корпуса патрона, газо-дыхательной смеси, и как следствие приводит к повышению температуры воздуха в убежище [3, 4, 5, 6]. В результате для рециркуляции и охлаждения регенерируемого воздуха требуются значительные энергозатраты.

2. Высокие температуры в зоне реакции приводят к неэффективному использованию регенеративного продукта вследствие его спекания, в результате чего лишь треть защитного ресурса регенеративного патрона используется в течение гарантированного срока, что значительно понижает КПД регенеративной установки (РУ) [7, 8].

3. Несовершенство конструкции РУ также значительно понижает эффективность всего ПРВ:

- из-за отсутствия в существующих аппаратах узлов, позволяющих увеличить их динамическую активность, возникает, т. н. ресурс мертвого слоя сорбента [7];

- отсутствие или несовершенство приборов, указывающих степень отработки сорбентов, не позволяет определить запас кислорода и полное время работы установки [7];

- нерегулируемый процесс регенерации может сопровождаться избыточным выделением кислорода, в результате полезное использование регенеративного продукта снижается до 50...70%; [9]

- большие габариты регенеративной установки [4];

Указанные недостатки создают неблагоприятные микроклиматические условия для укрываемых, ведущие к ограничению времени пребывания в убежище [4], и, следовательно, не могут обеспечить надежную защиту при авариях, связанных с выбросом радиоактивных и химически опасных веществ.

Таким образом, в настоящее время остро стоит проблема поддержания требуемых параметров микроклимата и газового состава воздуха в герметизированных помещениях. В связи с чем, совершенствование систем регенерации воздуха, обладающих высокими защитными свойствами, в настоящее время является актуальной задачей.

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Процессы, протекающие при регенерации воздушной среды ЗС, характеризуются высокой сложностью вследствие присутствия множества малоизученных факторов, а также значительной стоимости натурных экспериментов в реальных условиях [6].

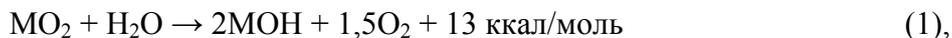
В большинстве существующих в Украине защитных сооружениях ПРВ осуществляется в регенеративных патронах РП-2, входящих в установку РУ-150/6, и основан на процессах хемосорбции. Рециркуляция воздуха при работе таких регенерационных установок обеспечивается электроручным вентилятором ЭРВ-600/300 [10,11].

Важнейшими параметрами, влияющими на качество регенеративных процессов в средствах коллективной защиты ГЗ, являются тип используемого регенеративного продукта, его количество, форма; геометрия патрона, а также внешние условия протекания ПРВ (величина объемного расхода воздушной смеси, влажность, температура, концентрация CO<sub>2</sub> на входе в РП и т. д.).

Конструктивные параметры патрона и используемый в них продукт закладываются на стадии разработки и не могут варьироваться в процессе

функционирования регенеративного оборудования, что не позволяет рассматривать их в качестве управляемых факторов. В свою очередь внешние условия оказывают непосредственное влияние на характер протекания ПРВ и могут быть управляемы.

В общем виде процесс регенерации с участием продуктов на основе надпероксидов щелочных металлов описывается следующими уравнениями химических реакций [6]:



Эти реакции протекают неоднозначно и зависят от условий, в которых находится регенеративный продукт: температуры, соотношения количеств диоксида углерода и влаги в регенерируемом воздухе, скорости воздушного потока и других факторов [3].

В реальном режиме эксплуатации исследований, связанных с повышением качества протекающих реакций (1) - (6) в условиях укрытия населения автору неизвестны.

С целью исследования процессов, протекающих при регенерации воздуха герметизированных помещений ЗС, решались следующие задачи, основанные на определении влияния:

1. влаги в воздухе, поступающем на регенерацию;
2. температурных эффектов на ПРВ;
3. исходной концентрации углекислого газа;
4. объемного расхода воздушной смеси.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Решение поставленных задач проводилось путем анализа соответствующей научно-технической литературы и документации.

Методы испытания регенеративных продуктов основаны на определении динамической активности и мощности рассматриваемых веществ. Основные методики для проведения указанных исследований изложены в работе [12].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

### 1. Влияние влаги в воздухе, поступающем на регенерацию

Способ выделения кислорода из кислородсодержащих препаратов основан на химическом взаимодействии углекислого газа и водяного пара с надпероксидами натрия и калия.

Взаимодействие супероксидов с водяным паром и углекислым газом описывается уравнениями реакций (1) и (3).

Выделившееся тепло разогревает препарат и при 100 °С возможно взаимодействие надпероксида с углекислым газом по уравнению (2).

Общую картину хемосорбционного процесса, протекающего в регенеративном патроне, можно представить в следующем виде. Углекислый газ и пары воды, диффундируя к поверхности зерна регенеративного препарата, реагируют с надперекисью с образованием на поверхности зерна твердых продуктов реакции. Процесс хемосорбции паров воды и CO<sub>2</sub> на твердой поверхности происходит неравномерно. Углекислый газ труднее проникает в поры зерна из-за меньшей скорости диффузии. В результате получается, что основная масса образующихся карбонатов находится на поверхности регенеративного препарата, а далее в последующих слоях находится гидрат окиси натрия и в центре - неотработанная надперекись. Таким образом, основным агентом регенеративного процесса является влага [13].

При этом в зависимости от температуры пары воды расходуются не только на прямую реакцию выделения кислорода из  $\text{MO}_2$ , но также на гидратацию продуктов реакции.

Суммарно, описанные выше реакции, на примере супероксида калия, можно представить в следующем виде [3]:



где A, B, D, f, p, n и m - коэффициенты, зависящие от условий протекания реакции.

Исходя из закона сохранения веществ, получаем систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = 2f + p \text{ (по калию);} \\ 2B = p(1 + 2n) \text{ (по водороду);} \\ D = f \text{ (по углероду);} \\ 2A + B + 2D = 3f + p(1 + n) + 2m \text{ (по кислороду).} \end{array} \right. \quad (2)$$

Для решения и анализа этих уравнений вводятся дополнительно два коэффициента:

- молярный коэффициент влаги, выражающий молярное отношение влаги к диоксиду углерода, участвующих в реакции:  $\omega = B/D$ , и

- коэффициент регенерации, обозначающий молярное отношение выделившегося кислорода к поглотившемуся диоксиду углерода:  $K_p = m/D$ .

После ряда преобразований получим, что:

$$D = 0,75 A/K_p \quad (3);$$

$$m = 0,75A \quad (4);$$

$$K_p = 1,5 + 1,5\omega / (1 + 2n) \quad (5).$$

Уравнения (3 - 5) отражают закономерности сорбции  $\text{CO}_2$  и выделения  $\text{O}_2$  надпероксидом калия при стационарном (установившемся) процессе работы регенеративного патрона.

Как видно из уравнений (3) и (5), поглощение  $\text{CO}_2$  в большей степени зависит от присутствия паров воды и продуктов реакции и выражается через коэффициент регенерации.

Поэтому исследование влияния влаги в воздухе, поступающем на регенерацию, является одним из потенциальных управляющих воздействий на эффективность всего ПРВ.

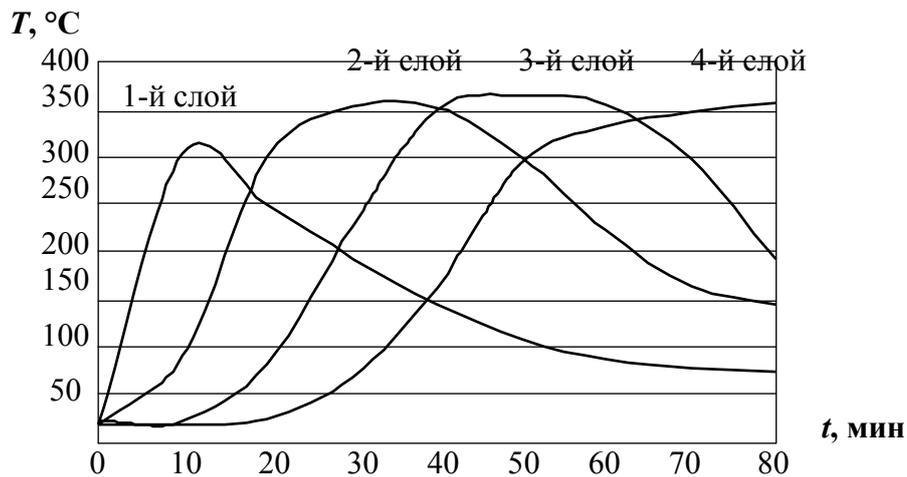
## 2. Влияние температурных эффектов на ПРВ

Суммарная теплота химических реакций, протекающих при регенерации складывается из теплоты сорбции  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  и составляет 230...290 кДж на 1 моль  $\text{CO}_2$  или 320...405 кДж на 1 кг регенерируемого воздуха.

Высокая температура в зоне реакции (300...400 °С) в сочетании с легкоплавкостью образующихся веществ является причиной оплывания и спекания кислородсодержащего продукта. В некоторых случаях чрезмерное разогревание продукта может привести к его термическому разложению с образованием дополнительного кислорода, увеличению коэффициента регенерации и снижению поглотительной способности по диоксиду углерода.

Изменение температуры в процессе регенерации представлено в работе [15] (рис. 1).

Исходя из изложенного, следует, что температура процесса непостоянна и существенно влияет, как на качество отработки регенеративного продукта, так и на защитные характеристики установки в целом.



**Рис. 1. Зависимость температуры слоя продукта от продолжительности работы регенеративного патрона:**  
 1-й слой - лобовой, 2,3-й слои - работающие, 4-й слой - замыкающий

Однако при математическом описании процессов, протекающих в герметично замкнутом объеме и влияющих на состав воздушной смеси, зачастую вводится допущение, что процесс регенерации воздуха является изотермический. Такое допущение ограничивает математическое описание ПРВ уравнением материального баланса и уравнением кинетики сорбции. Поэтому при описании процесса хемосорбции, сопровождающегося выделением тепла, следует использовать систему уравнений тепломассопереноса.

Мощность внутренних источников тепла при хемосорбции равна

$$q_V(z, \tau) = H_{\Sigma} \frac{\partial a}{\partial \tau} \quad (6)$$

где  $H_{\Sigma}$  - суммарный тепловой эффект химических реакций, рассчитанный по закону Гесса [15]; отношение  $\frac{\partial a}{\partial \tau}$  - скорость сорбции, которая определяется из уравнения кинетики сорбции и в общем случае имеет вид [6,14]:

$$\frac{da}{d\tau} = f(c - c^*), \quad (7)$$

где  $a = f(C, T)$  - концентрация поглощенного вещества в поглотителе, или количество вещества, адсорбированное весовой или объемной единицей поглотителя;  $T$  - температура процесса;  $C^*$  - равновесная концентрация, равная текущей величине сорбции.

Таким образом, мощность внутренних источников прямо пропорциональна скорости химической реакции.

При протекании хемосорбции необходимо учитывать как теплообмен между твердой и газовой фазой, так и теплопроводность шихты.

Краевая задача теплопередачи, согласно [15] имеет вид:

$$(c_s \rho_s) \frac{\partial \bar{T}(z, \tau)}{\partial \tau} = - \frac{2\bar{\alpha}}{R_0} [T(z, \tau) - T_c] - wc^r \rho^r \frac{\partial \bar{T}(z, \tau)}{\partial z} + q_V(z, \tau), \quad (8)$$

$$z > 0, \tau > 0;$$

$$\bar{T}(z, 0) = \bar{T}_0 \quad ; \quad (9)$$

$$\bar{T}(0, \tau) = \bar{T}_{вх}(\tau), \quad (10)$$

где  $c_s \rho_s$  - эффективная объемная теплоемкость шихты, Дж/(м<sup>3</sup>·К);  $\bar{T}$  - среднеинтегральная по сечению температура;  $\bar{\alpha}$  - скорректированное значение

коэффициента теплообмена;  $R_0$  - радиус макета, м;  $T_c$  - температура среды, К;  $c^r \rho^r$  - объемная теплоемкость газа;  $T_0$  - начальная температура, К;  $T_{ax}$  - температура во входном сечении шихты, К.

Уравнение (8) через член  $q_V(z, \tau)$  описывает влияние изменения температуры процесса на скорость химической реакции при хемосорбции, что подтверждает необходимость в проведении исследований проблемы теплоотвода от работающей регенеративной установки.

### 3. Влияние концентрации углекислого газа и расхода воздуха

Уравнения материального баланса процесса регенерации воздуха представляют систему обыкновенных дифференциальных уравнений [6]:

$$V \frac{dC^j(t)}{dt} = \sum_{i=1}^n G_i(t) \left( c_i^j(t, x) \Big|_{x=L_i} - C^j(t) \right) \pm \sum_{k=1}^m Q_k^j(t) \pm \sum_{s=1}^b H_s^j(t);$$

$$C^j(0) = C_{0j}^j$$
(11)

где  $V$  - величина герметично закрытого помещения, м<sup>3</sup>;  $G_i(t)$  - объемный расход воздушной смеси через  $i$ -тый регенеративный патрон, м<sup>3</sup>/ч;  $C^j(t)$  - концентрация  $j$ -го компонента воздуха, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $c_i^j(t, x) \Big|_{x=L_i}$  - концентрация  $j$ -го компонента на выходе из патрона  $i$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $L_i$  - длина  $i$ -го патрона, м;  $Q_k^j(t)$  - количество выделяемого/поглощаемого вещества  $j$  источником/стоком  $k$ , м<sup>3</sup>/ч;  $H_s^j(t)$  - количество выделяемого/поглощаемого вещества  $j$  человеком, м<sup>3</sup>/ч;  $i = \overline{1, n}$ , где  $n$  - количество патронов;  $j = \overline{1, 2}$ , где 1 - диоксид углерода, 2 - кислород;

$k = \overline{1, m}$ , где  $m$  - количество источников и стоков, не относящихся к регенеративному оборудованию;  $s = \overline{1, b}$ , где  $b$  - количество человек в ЗС.

Первый член правой части системы уравнений (11) характеризует стоки и источники вещества  $j$  в регенеративных патронах, второй – остальные стоки и источники в ЗС, а третий – описывает поглощение (выделение) веществ укрываемыми людьми.

Из уравнения материального баланса (11), математически описывающего механизмы протекания ПРВ, следует, что основными параметрами, влияющими на скорость химической реакции при регенерации, являются исходная концентрация углекислого газа и объёмный расход воздуха.

Это подтверждается вычислительным экспериментом, представленным в работе [6] (рис. 2, 3 и 4, 5).

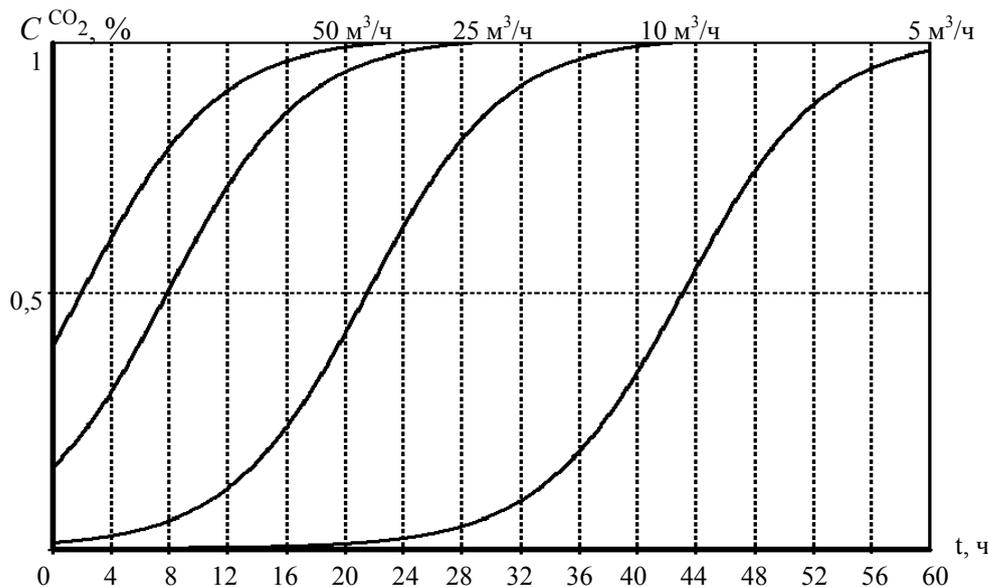
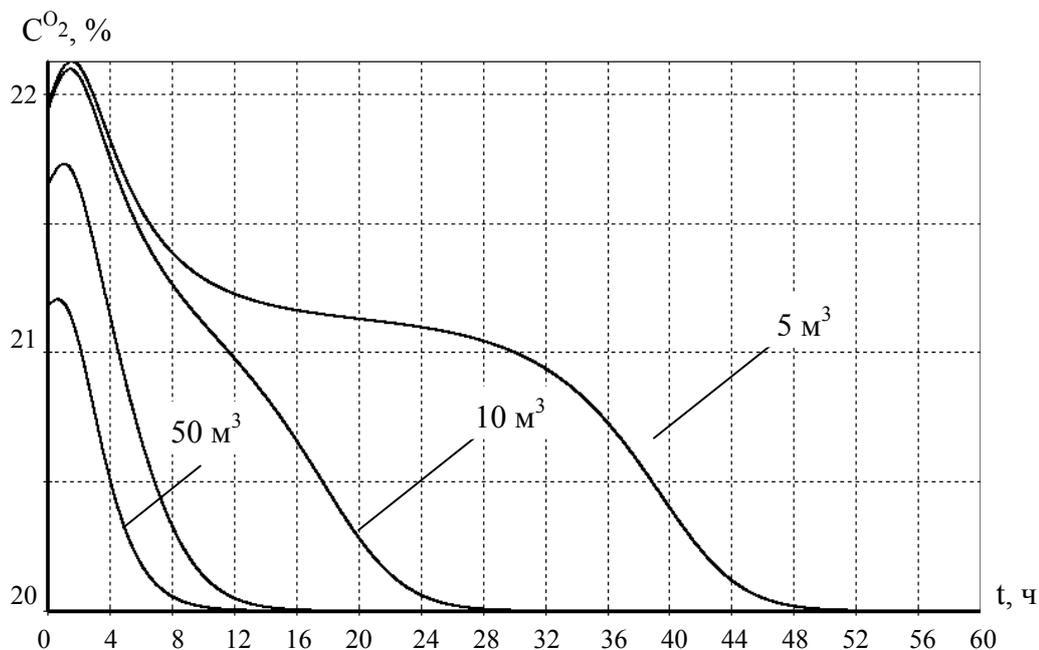


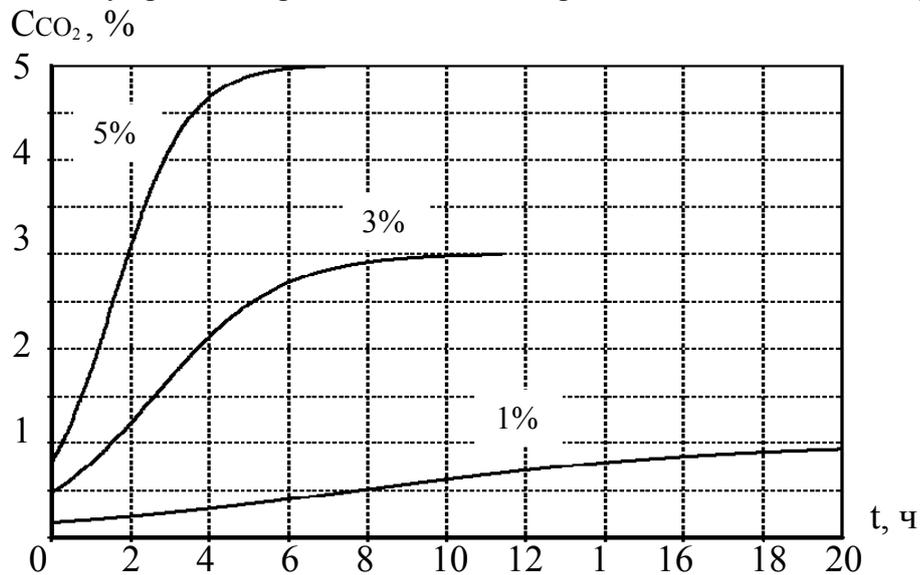
Рис. 2. Изменение концентрации диоксида углерода на выходе из РП при различном расходе воздуха



**Рис. 3. Изменение концентрации кислорода на выходе РП при различном расходе воздуха**

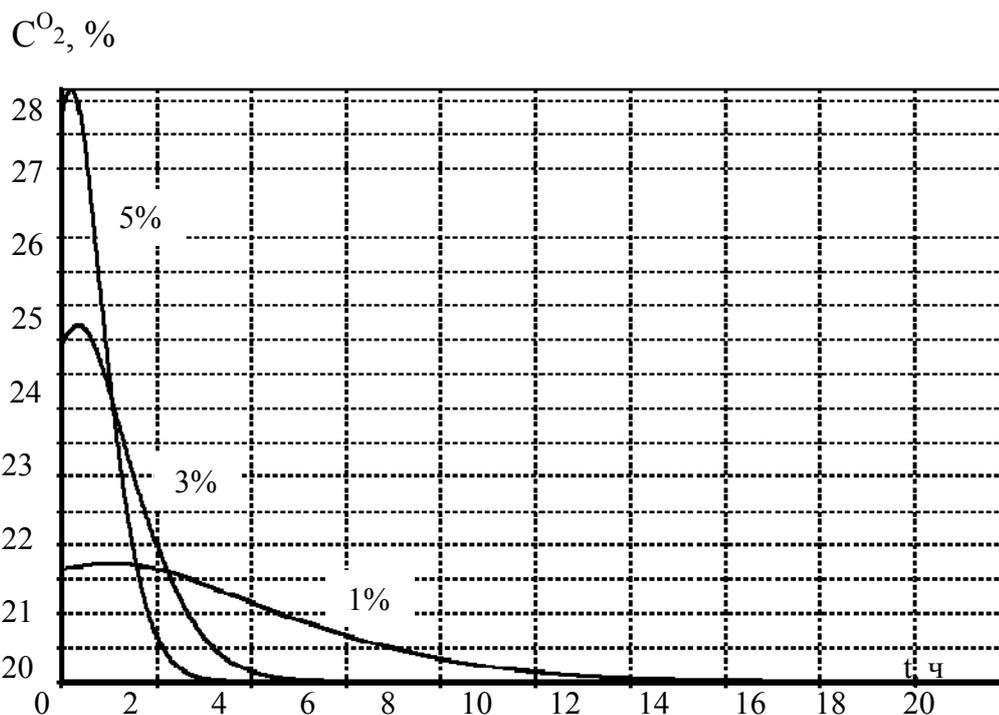
Из анализа рис. 2 и 3 следует, что уменьшение расхода приводит к более качественной обработке входного потока по удалению из нее диоксида углерода, но в то же время приводит к уменьшению количества поглощаемого вещества в единицу времени и, следовательно, к уменьшению скорости выделения кислорода.

Графики на рис. 4, 5 отображают прямую зависимость ПРВ от входной концентрации  $CO_2$ . Повышение концентрации «ускоряет» процесс регенерации, что выражается в увеличении объемов поглощенного диоксида углерода и выделенного кислорода в единицу времени, при этом снижается время защитного действия установки.



**Рис. 4. Изменение концентрации  $CO_2$  на выходе из РП при различных его входных концентрациях**

Кислород выделяется тем активнее, чем больше  $CO_2$  на входе в РУ, но и обработка сорбента в этом случае происходит быстрее. При значительном повышении входной концентрации углекислого газа выходная концентрация кислорода достигает пожароопасных уровней.



**Рис. 5. Изменение концентрации O<sub>2</sub> на выходе из РП при различных входных концентрациях CO<sub>2</sub>**

#### **ВЫВОДЫ**

Анализ результатов проведенных исследований показал:

1. Основным агентом регенеративного процесса является влага, присутствующая в воздухе ЗС. Регулирование количества паров воды, поступающих в регенеративный патрон, в перспективе является одним из управляющих воздействий на весь ПРВ.

2. Температурный эффект процесса регенерации оказывает прямое влияние на качество и скорость протекания реакций поглощения CO<sub>2</sub> - выделения O<sub>2</sub>. Его избыточные величины приводят к неполной отработке регенеративного продукта вследствие его спекания, что значительно сокращает время защитного действия всей регенеративной установки. При этом отведение избыточного тепла от работающей РУ остается мало изученной областью среди всех возможных путей повышения эффективности ПРВ.

3. Скорость подачи газовой смеси, обогащенной углекислым газом, оказывает влияние на процесс поглощения CO<sub>2</sub> - выделения O<sub>2</sub>. Управление ПРВ может осуществляться варьированием расходов воздушной смеси через регенеративные патроны путем изменения величины питающего напряжения двигателей вентиляторов.

4. Анализ результатов позволил отметить зависимость характера протекания ПРВ от текущих концентраций диоксида углерода в объеме герметично закрытого помещения. При определенных входных концентрациях CO<sub>2</sub> можно достичь требуемого выделения O<sub>2</sub> с максимальной степенью отработки регенеративного продукта.

Таким образом, исследование влияния внешних условий (влажность, концентрация углекислого газа, объемный расход воздуха, температура процесса) на протекание процесса регенерации воздуха, позволит повысить эффективность работы РУ без изменения её принципиальной конструкции при различных режимах работы, путем варьирования указанных факторов.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році.
2. Закон України Про правові засади цивільного захисту № 1859-IV від 24.06.04.

3. Гудков С. В., Дворецкий С. И., Путин С. Б., Таров В. П. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2008. – 188 с.
4. Стратегия развития научно-производственного комплекса Российской Федерации в области разработки и производства систем жизнеобеспечения и защиты человека в условиях химической и биологической опасности: материалы Рос. науч. конф. 14 октября 2009 г. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Державина, 2009. – 202 с.
5. Стоянов В. У., Ревякина Ю. Н. Системы регенерации воздуха защитных сооружений: перспективные направления развития// Научно-технический сборник «Строительство и техногенная безопасность». – 2009. – Вып. 28, с. 92-75.
6. Путин С. Б. Математическое моделирование и управление процессом регенерации воздуха. – М.: «Машиностроение», 2008. – 176 с.
7. Пак В. В., Ехилевский С. Г. Эффективное использование химически связанного кислорода для защиты дыхания шахтеров и горноспасателей// Научно-практическая конференция «Донбас 2020: наука і техніка - виробництву», 5-6 лютого 2002 р., Донецьк – с.549-553.
8. Стоянов В. У., Ревякина Ю. Н. Анализ и оценка риска возникновения ЧС, обусловленных химическими авариями и катастрофами// Научно-технический сборник «Строительство и техногенная безопасность». – 2009. – Вып. 26, с. 105-109.
9. Регенеративные продукты нового поколения: технология и аппаратурное оформление: монография/ Н. Ф. Гладышев, Т. В. Гладышева, С. И. Дворецкий, С. Б. Путин, М. А. Ульянова, Ю. А. Ферапонтов. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2007. – 156 с.
10. Приказ МЧС Украины «Про затвердження Інструкції щодо утримання захисних споруд цивільної оборони у мирний час» № 653 от 09.10.2006.
11. ДБН В 2\_2\_5\_97. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони.
12. Руководство по лабораторным испытаниям изолирующих противогазов. - М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1959. - 124 с.
13. Горбунов С. В., Пономарев А. Г. Средства индивидуальной и коллективной защиты в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие. - Новогорск, 1998. - 255 с.
14. Дворецкий С. И., Матвеев С. В., Путин С. Б., Туголуков Е. Н. Основы математического моделирования и оптимизации процессов и систем очистки и регенерации воздуха: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2008. – 324 с.
15. Балабанов П. В., Кримштейн А. А., Пономарев С. В. Исследование кинетики поглощения углекислого газа и влаги регенеративными веществами путем определения мощности внутренних источников тепла//Вестник ТГТУ. - 2008. - Том 14. № 3, с. 503 - 512.

## **УДК 628.5**

**Стоянов В.У., д.т.н., Фридман А.В., аспирант**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

### **АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИ-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ**

*Исследована проблема возможности оценки и прогнозирования химической обстановки в результате чрезвычайных ситуаций на экологически-опасных объектах.*

**Загрязнение, экологически-опасные объекты, моделирование атмосферного переноса, методика оценки и прогнозирования.**

**Введение.** Обеспечение безопасного функционирования объектов – источников техногенно-экологической опасности является, и будет являться актуальной для Украины задачей в ближайшем обозримом будущем. После распада СССР на территории Украины осталось значительное количество объектов хранения материалов повышенной опасности. Их утилизация требует не только больших финансовых средств, но и значительного количества времени.

Кроме чрезвычайно опасных специальных объектов на территории Украины располагается более 600 полигонов для хранения твердых бытовых отходов и 5000 складов с непригодными и запрещенными ядохимикатами. Большая их часть превысила нормативные сроки эксплуатации, не обустроена в соответствии с требованиями ныне действующего природоохранного законодательства [1,2].

Экологически-опасные объекты (ЭОО) – мины замедленного действия, которые будут действовать десятки лет, нанося огромный экологический и социальный ущерб природной среде и, тем самым, населению.

Анализ работ по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) [2], связанных с разливами (выбросом) опасных химических веществ (ОХВ) показал, что методики прогнозирования официально принятые для оценки и прогнозирования химической обстановки [3-6] позволяют производить расчеты зон химического заражения только для «стандартных» ОХВ, что крайне затруднительно при оценке масштабов ЧС на ЭОО.

**Анализ публикаций.** Для определения негативного воздействия поражающих факторов ЧС на человека, его имущество и окружающую природную среду (ОПС), необходимо знать пространственно-временное распределение тех или иных физико-химических, биологических, теплофизических и других параметров. Иными словами определить границы зон поражающих факторов ЭОО.

Под сценарием развития техногенной аварии понимается последовательность логически связанных между собой событий (истечение, выброс, испарение, рассеяние, дрейф паров, воспламенение, взрыв, воздействие на людей), в соответствии с которыми определяются поля физических параметров, вид и величина поражающих факторов.

В настоящее время разработано достаточно большое количество методик и руководящих материалов для оценки последствий аварий на опасных промышленных объектах [3-9] и другие. Анализ некоторых из них представлен в Таблице 1. (Приложение 1) [10].

Проведенный анализ показал, что данные методики в основном предназначены для оценки материальных ущербов в результате аварий и оценки негативных воздействий на производственный персонал опасных промышленных объектов, на которых точно известно выброс какого ОХВ может привести к аварийной ситуации и его количество. В месте с тем, для ЭОО данные параметры трудно определимы.

В Таблице 2. [10] представлен анализ моделей оценки физико-химических параметров при авариях на промышленных объектах.

Основными результатами расчетов по моделям являются определение масс жидкостей, в случае возникновения ЧС (разгерметизация, растекание, разрушение) на технологических установках и трубопроводах промышленных производств. Также в этих методиках используются такие параметры, как концентрация паров в заданной точке пространства, интенсивность испарения жидкости, интенсивность теплового излучения и т.п.. То есть параметры, при помощи которых только косвенно можно оценить и спрогнозировать химическую обстановку в результате ЧС на ЭОО.

**Цель и постановка задачи исследований.** По состоянию на 1 января 2011 года в Автономной Республике Крым расположено более 113 ЭОО из них: 30 полигонов твердых бытовых отходов и 72 склада хранения запрещенных и непригодных ядохимикатов (рис.1.) [11,12].

С точки зрения авторов, для Крыма, как для рекреационной зоны Украины одним из актуальных вопросов является своевременная оценка и возможность максимально точного прогноза химической обстановки в результате ЧС на ЭОО.

Как один из вариантов решения данного вопроса рассмотрим наиболее распространенные математические модели распространения вредных веществ в атмосфере, которые в дальнейшем можно включить в единый программный комплекс.

**Методика исследований.** Последствия выброса опасных химических веществ в атмосферу определяются в три этапа: определение мощности и скорости выброса; определение распространения загрязняющих веществ после выброса и определение его воздействия на исследуемые объекты.

Для анализа последствий необходимо иметь модели для расчета:

- выбросов вредных веществ (смеси);
- выбросов вредных веществ в случае возгорания;
- рассеяния вредных веществ;
- загрязнения воздуха на малых и больших расстояниях;
- выпадения примесей;
- химических реакций;
- долгосрочной и кратковременной токсичности;
- ущерба для здоровья населения и другие.

Для решения задачи анализа и прогноза загрязнения атмосферного воздуха применимы следующие математические модели распространения вредных веществ в атмосфере:

**Штатная модель служб гражданской защиты.**

В настоящее время службами гражданской защиты Украины используется регламентированная «Методика прогнозирования последствий разлива (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте» [3]. Для ее разработки использовались теоретические и эмпирические модели распространения примесей в атмосфере. Данная модель позволяет определить только внешний контур опасной зоны, но не дает возможности определять концентрацию примеси в определенной точке пространства.

Таблица 1.

**Анализ методик оценки последствий аварий на объектах техногенной опасности**

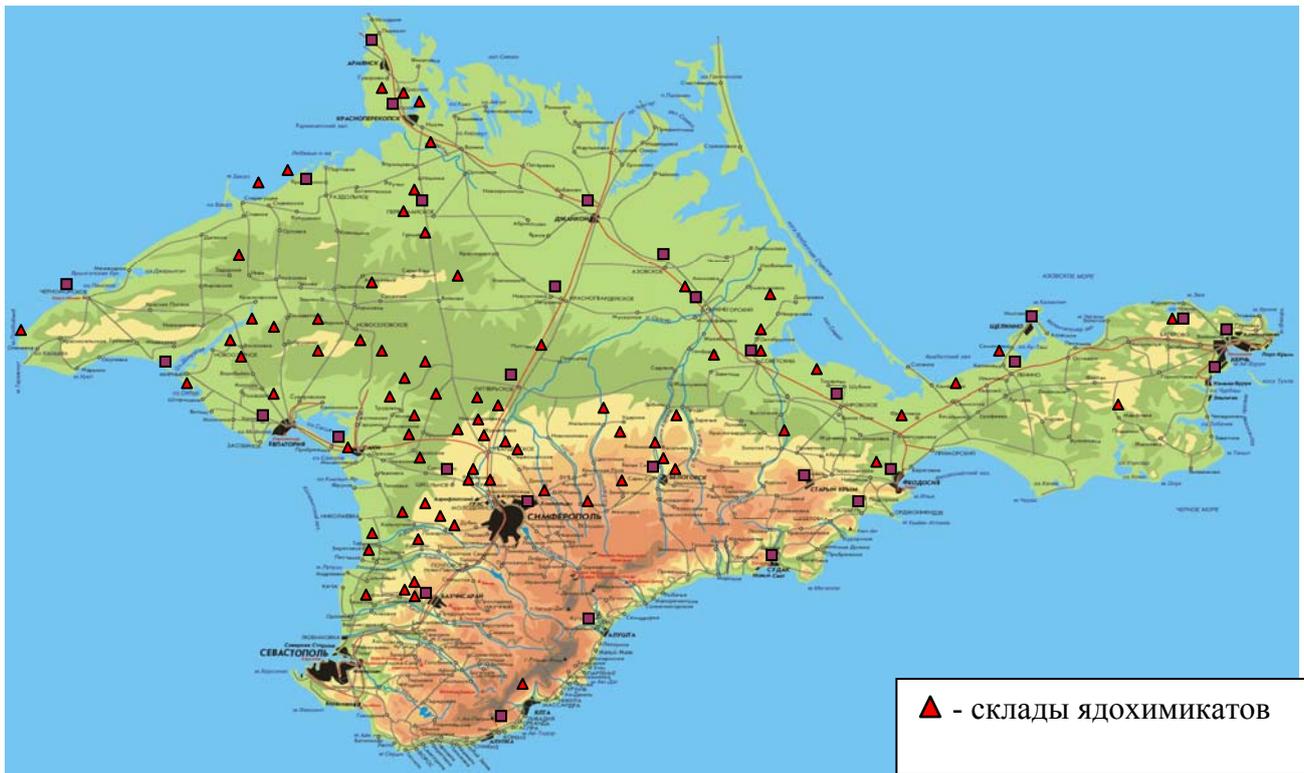
Наименования методики	Назначение	Исходные данные	Результаты	Использование (в том числе и в других методиках)
Методика прогнозирования последствий разлива (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте (ОХВ)	Методика заблаговременно и оперативного прогнозирования масштабов заражения на случай выбросов ОХВ в окружающую среду при авариях на химически опасных объектах и транспорте	- общее количество ОХВ на объекте и данные о размещении их запасов в технологических емкостях и трубопроводах; - количество ОХВ, выброшенных в атмосферу, и характер их разлива на подстилающей поверхности («свободно», «в поддон» или «в обваловку») - высота поддона или обваловки складских емкостей; - метеорологические условия: температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 м (на высоте флюгера), степень вертикальной устойчивости воздуха	- прогнозирование глубины зоны заражения ОХВ; - площадь зоны заражения ОХВ; - время подхода зараженного воздуха к объекту и продолжительность поражающего действия ОХВ	Для оценки экологических последствий заражения воздушной среды

<p>Методика оценки последствий химических аварий (ТОКСИ)</p>	<p>Для количественной оценки последствий химических аварий на промышленном объекте с выбросом опасных химических веществ в атмосферу</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химические и токсикологические характеристики ОХВ;</li> <li>- количество и технологические параметры ОХВ;</li> <li>- вероятный сценарий выброса ОХВ в атмосферу;</li> <li>- параметры технологического аппарата, на котором произошла авария;</li> <li>- топографические характеристики территории вблизи аварийного объекта;</li> <li>- метеоусловия на момент аварии;</li> <li>- время экспозиции;</li> <li>- данные о персонале и населении, находящимся вблизи аварийного объекта</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- количество поступивших в атмосферу опасных химических веществ при различных авариях;</li> <li>- пространственно-временное поле концентраций ОХВ в атмосфере;</li> <li>- зоны химического заражения;</li> <li>- степень поражения людей в случае химической аварии</li> </ul>	<p>Для оценки экологических и социальных последствий; прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха; поражения людей (токсодозы)</p>
<p>Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (ТВС)</p>	<p>Для оценки последствий аварий на объектах по хранению, переработке и транспортировке сжиженных и сжатых углеводородных газов (СУГ, СЖУГ)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- масса топлива, находящегося в различных местах объекта (резервуарах, установках и т.д.);</li> <li>- класс окружающего пространства;</li> <li>- план объекта и прилегающей территории с картограммой распределения людей;</li> </ul>	<p>Определение массы веществ в облаке ТВС для СУГ и СЖУГ, определение режима взрывного прекращения огненного шара, оценка параметров ударной волны, осколки оборудования.</p>	<p>Для оценки экономических последствий. В качестве исходных данных для ОХВ и ТОКСИ (косвенных экологических последствий)</p>
<p>Методика оценки последствий аварий на пожаро-, взрывоопасных объектах (ПАПВО)</p>	<p>Для оценки последствий аварий, на объектах по хранению, переработке и транспортировке сжиженных и сжатых углеводородных газов (СУГ, СЖУГ), ЛВЖ, конденсированных взрывчатых веществ (КВВ)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- масса топлива, находящегося в различных местах объекта (резервуарах, установках и т.д.);</li> <li>- класс окружающего пространства;</li> <li>- план объекта и прилегающей территории с картограммой распределения людей.</li> </ul>	<p>Определение массы веществ в облаке ТВС для СУГ и СЖУГ, ЛВЖ, КВВ, объем вытекаемой жидкости при разрушении емкостей, определение режима взрывного прекращения огненного шара, определения индекса теплового излучения, оценка параметров ударной волны, осколки оборудования, количества погибших на открытой местности, в зданиях и сооружениях</p>	<p>Для оценки экологических и социальных последствий. В качестве исходных данных для ОХВ и ТОКСИ (косвенных экологических последствий)</p>

Таблица 2.

**Анализ моделей физико-химических параметров в аварийных ситуациях**

№ п/п	Наименования модели	Исходные данные	Результаты	Использование в методиках оценки последствий аварий
1.	Оценка интенсивности теплового излучения от пожара, пролива и от огненного шара	- среднеповерхностная интенсивность теплового излучения; - площадь пролива; - удельная массовая скорость выгорания ЛВЖ (ГЖ); - параметры окружающего воздуха; - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта; - масса ЛВЖ в огневом шаре.	- эффективный диаметр пролива и огневого шара, высота пламени; - интенсивность теплового облучения	Испарения жидкости из пролива, методика прогнозирования масштаба заражения сильнодействующими ядовитыми веществами (ОХВ), методика оценки последствий химических аварий (ТОКСИ)
2.	Истечение жидкости из отверстия в резервуаре	- физико-химические параметры ЛЖВ; - коэффициент истечения; - параметры технологического оборудования; - характеристики территории вблизи аварийного объекта (обвалования); - начальная высота столба жидкости в резервуаре	- массовый расход жидкости; - количество жидкости, перелившейся через отверстие за время истечения.	ОХВ, ТОКСИ
3.	Определение избыточного давления в ударной волне при взрыве паровоздушного облака	- расстояние от эпицентра взрыва; - количество паров ЛВЖ в облаке; - удельная теплота сгорания топлива	- массовый расход жидкости; - количество жидкости, перелившейся через отверстие за время истечения.	Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (ТВС), методика оценки последствий аварий на пожаро-, взрывоопасных объектах (ПАПВО)
4.	Метод оценки избыточного давления в ударной волне при взрыве резервуара с перегретой ЛВЖ (ГЖ) в очаге пожара	- масса ЛВЖ (ГЖ), содержащейся в резервуаре; - физико-химические параметры жидкости; - параметры технологического аппарата; - расстояние от эпицентра взрыва	- избыточное давление в ударной волне; - импульс положительной фазы ударной волны.	ТВС, ПАПВО
5.	Определение массы ЛВЖ или ГЖ при аварийных разгерметизациях	- физико-химические параметры ЛВЖ (ГЖ), паров ЛВЖ (ГЖ); - технологические параметры оборудования.	- масса ЛВЖ при аварийных разгерметизациях	ОХВ, ТОКСИ
6.	Испарение жидкости из пролива	- молярная масса жидкости; - параметры воздушного потока; - давление насыщенных паров жидкости	- интенсивность испарения жидкости	ОХВ, ТОКСИ
7.	Образование паровоздушного облака	- топографические характеристики территорий; - интенсивность испарения; - площадь испарения; - скорость ветра.	- концентрация паров в заданной точке пространства	ОХВ, ТОКСИ, ТВС, ПАПВО
8.	Определение максимальных размеров взрывоопасных зон	- физико-химические параметры паров ЛВЖ; - площадь пролива; - нижний концентрационный предел.	- горизонтальный и вертикальный размер взрывоопасных зон	ТВС, ПАПВО



**Рис.1. Места расположения полигонов твердых бытовых отходов и складов ядохимикатов на территории АР Крым**

**Модель распространения загрязняющей примеси в атмосфере вследствие ветрового подъема с площадного наземного источника - модель Паскуилла-Гиффорда**

Для расстояний до 10 км используют модель Паскуилла-Гиффорда, которая является также рабочей моделью Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [13,14].

Модель распространения примесей в атмосфере, созданная Паскуиллом и Гиффордом, является эмпирической моделью. В ее основе лежит представление концентрации примеси, выбрасываемой непрерывным точечным источником в атмосфере, как струи с гауссовыми распределениями по вертикали и в поперечном к ветру направлении:

$$q(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)u} \times f_F f_W \times \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \times \left( \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) \right) \quad (1)$$

где  $x, y, z$ - декартовы координаты, ось  $z$ - вверх, ось  $x$  - по ветру;

$h$  - эффективная высота источника;

$Q$  - мощность источника выброса;

$q$  - концентрация примеси в данной точке пространства;

$u$  - скорость ветра, усредненная по слою перемешивания;

$\sigma_y(x)$  и  $\sigma_z(x)$  - вертикальная и поперечная дисперсии облака примеси;

$f_F$  и  $f_W$  - поправки на обеднение облака за счет сухого осаждения примеси и ее вымывания осадками.

Сумма экспонент в этой формуле соответствует поверхности земли, не поглощающей примесь, при абсолютном поглощении будет разность. Основным содержанием модели являются обобщающие многочисленные экспериментальные данные, конкретные функции  $\sigma_y(x)$  и  $\sigma_z(x)$  и выражения для  $h, f_F$  и  $f_W$ .

При этом метеорологические условия подразделяются на 6 классов устойчивости атмосферы (от А до F). Распределение скорости ветра считают степенной функцией.

Конкретны формулы для дисперсий  $\sigma_y(x)$  и  $\sigma_z(x)$  различны для разных рельефов местности. Обычно местности делят на равнинные, сильно пересеченные, сельскую местность, лес, город.

Реализация этой модели на ЭВМ достаточно проста и время расчетов по ней пренебрежимо мало по сравнению с вводом и выводом информации. При появлении новых сведений для конкретной местности модель несложно пополнять.

**Модель Института экспериментальной метеорологии (НПО «Тайфун», г. Обнинск, Калужской обл.).**

При необходимости определения зоны химического заражения на расстоянии от 10 до 100 км, наиболее совершенной из практически применимых моделей является в настоящее время модель, созданная в Институте экспериментальной метеорологии [15,16].

Эта модель в равной степени пригодна для описания распространения облака, созданного мгновенным источником, и струи от непрерывного источника.

Распределения концентрации примеси по всем трем координатам имеют гауссову форму, как и в модели Паскуилла-Гиффорда, однако положение центра облака или струи находят интегрированием кинематического уравнения (2).

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{u}(t), \quad (2)$$

где  $\vec{u}(t)$  - скорость ветра в точке, где облако в настоящий момент находится,

$\vec{x}$  - вектор координат центра облака,

$t$  - время движения.

В данном случае, процесс диффузии в перпендикулярных к ветру направлениях рассматривают как функцию времени, в отличие от чисто пространственных распределений в модели Паскуилла-Гиффорда (1).

Таким образом, данная модель включает важные свойства так называемых моделей "лагранжева облака", что позволяет учесть изменения направления и скорости ветра в процессе распространения облака. Это условие является главным фактором, позволяющим применять модель для расстояний, много больших 10 км.

**Лагранжево-эйлерова модель распространения опасных химических примесей в атмосфере LEDI.**

Лагранжево-эйлерова диффузионная модель переноса примеси в атмосфере LEDI [17] разработана для расчетов переноса примеси на расстояния до 1000 км от газоаэрозольного «точечного» источника с эффективной высотой выброса от 0 до 1500 м.

Модель учитывает следующую входную информацию:

нестационарность метеорологических характеристик (вследствие суточного хода параметров пограничного слоя атмосферы или изменений погоды);

пространственную неоднородность метеорологических характеристик;

различные типы источника по длительности выброса (залповый, конечного времени действия, непрерывный), фазовому (газовый, аэрозольный) и химическому составу;

горизонтальную неоднородность подстилающей поверхности.

Источник выброса в атмосферу моделируется в виде последовательности выбросов («клубов») с учетом изменчивости количества вещества или активности в них. В модели используется сочетание лагранжевого и эйлера-вого методов к описанию распространения примеси в пограничном слое атмосферы. Такой подход позволяет при относительно небольших затратах времени для расчетов на ЭВМ физически корректно учесть основные факторы, определяющие перенос примеси. Трехмерная задача расчета распространения примеси в атмосферном пограничном слое разбивается на три стадии:

1. Вычисления горизонтальной траектории распространения примеси на основе лагранжевого метода частицы;

2. Расчеты вертикального профиля концентрации примеси в узлах горизонтальной траектории, выполняемые с помощью одномерного полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии. Уравнение учитывает вертикальную турбулентную диффузию, гравитационное оседание аэрозольных частиц, сухое и влажное осаждение примеси на подстилающую поверхность, вертикальные движения воздуха синоптического масштаба, изменения количества примеси в атмосфере благодаря химическим реакциям. Вертикальный профиль коэффициента турбулентности параметризован согласно теории подобия Монина-Обухова;

3. Вычисление распределения концентрации примеси в поперечном направлении, которое полагается нормальным с дисперсией, параметризованной как сумма вкладов горизонтальной турбулентной диффузии и расширения струи примеси за счет взаимодействия поворота ветра с турбулентностью в пограничном слое атмосферы.

Модель использует следующую входную информацию:

- а) метеорологическую (данные измерений полей температуры и ветра в слое до 3 км, данные о количестве осадков);
- б) данные о параметрах выброса (мощность выброса, его фазово-химический состав и т. д.);
- в) данные о характеристиках подстилающей поверхности (рельеф, растительность).

#### Модель подъема облака нагретого газа

Для прогнозирования последствий аварий на объектах, связанных со взрывом или пожаром, необходимо решить задачу переноса примеси опасных веществ с облаками нагретого газа.

Большое количество тепла, выброшенное в атмосферу мгновенно (в результате взрыва), или в течение некоторого времени (при горении), вызывает атмосферную конвекцию. Конвекция приводит к тому, что выброшенная в атмосферу вместе с теплом загрязняющая примесь оказывается быстро поднятой вверх.

При моделировании подъема примеси с облаком горячего газа необходимо как можно более корректно учитывать эффекты процессов турбулентного переноса примеси от облака к окружающей среде в результате нарушения регулярной вихревой структуры. Для учета подобных эффектов поставлена задача газодинамического расчета поднятия облака нагретого газа на основе полных нестационарных уравнений Навье-Стокса с последующим моделированием переноса и диффузии токсичной примеси.

Расчет плотности температуры и скоростей потоков газа проводится численным интегрированием по времени полных уравнений Навье-Стокса (3)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) \\ \frac{\partial(\rho \vec{v})}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v} \vec{v}) + \nabla p = \rho \vec{g} + \nabla \sigma + \vec{F} - \rho f[\vec{n} \times \vec{v}] \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla(\rho E + p) \vec{v} = \rho \vec{g} \vec{v} + \nabla(\eta \nabla J + \sigma \vec{v}) + \vec{F} \vec{v}, \\ \sigma_{ij} = \eta \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \eta \nabla \vec{v} \delta_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $E = J + (1 + \rho_p / \rho)(\vec{v} \vec{v} / 2 - \vec{g} \vec{r})$  - удельная полная энергия системы;

$J = \rho_p / [(\gamma - 1)\rho] = c_v T$  - внутренняя энергия системы;

$T$  - температура;

$p$  - давление;

$\vec{V}$  - скорость среды;

$\rho$  - плотность среды;

$\rho_p$  - плотность примеси;

$\sigma_{ij}$  - тензор вязких напряжений;

$\eta$  - вязкость воздуха;

$\gamma = c_p / c_v \approx 1,4$  - показатель адиабаты;

$\tilde{n}_v \approx 719,89$  - удельная изохорическая теплоемкость воздуха;

$\tilde{n}_p \approx 1007,85$  - удельная изобарическая теплоемкость воздуха;

$\vec{g}$  - ускорение свободного падения;

$\vec{F}$  - объемные силы, действующие со стороны частиц примеси;

$\vec{n}$  - нормаль к поверхности земли;

$f$  - параметр Кориолиса.

Уравнения записаны в предположении, что коэффициент турбулентной диффузии численно равен коэффициенту кинематической вязкости среды. В уравнения также включены силы, действующие на газ со стороны пассивной примеси. Пассивная примесь имеет только вертикальную компоненту скорости относительно среды, обусловленную гравитационным оседанием.

Для корректного описания турбулентного рассеяния энергии и импульса в уравнениях газовой динамики коэффициент молекулярной вязкости  $\eta$  заменялся на полуэмпирический коэффициент турбулентной вязкости  $\eta_{y\delta\delta}$ , рассчитанный из полуэмпирической  $KE$ -модели турбулентности [18-22].

#### **Метод вычисления концентраций и токсонагрузок**

Для вычисления концентраций и токсонагрузок в приземном слое толщиной  $l_z$  воспользуемся следующей моделью (4) [9,18,20,23]:

$$\left. \begin{aligned} C(x, y, t) &= \frac{1}{l_z} \sum_i m_i Q(l_z - z_i(t)) Q(z_i(t)) \omega_i(x, y, t) \\ D(x, y, t) &= \int_{-\infty}^t C(x, y, s) ds, \quad Q(x) = \begin{cases} 0 & \dots X < 0 \\ 1 & \dots X \geq 1 \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $C(x, y, t)$  - концентрация в точке  $(x, y)$  на поверхности земли в момент времени  $t$ ;

$D(x, y, t)$  - токсонагрузка;

$m_i$  - масса, сосредоточенная в  $i$ -й частице;

$\omega_i(x, y, t)$  - плотность вероятности перехода  $i$ -й лагранжевой частицы из точки  $(x_0, y_0, t_0)$  в точку  $(x, y, t)$  [18-22].

**Результаты и их анализ.** Анализ рассмотренных моделей приводит к выводу, что при вводе в эксплуатацию комплекса современных средств метеорологических измерений на территории ЭОО (сонар, автоматические метеостанции, высотная мачта для измерений вертикальных профилей метеоэлементов и т.п.) позволит производить необходимые расчеты в едином программном комплексе, что обеспечит оперативное принятие решений о введении контрмер по защите персонала, работающего на территории ЭОО, и населения, проживающего вблизи при возникновении ситуаций повышенной химической опасности.

В дальнейшем единый программный комплекс может быть усовершенствован для выполнения более широкого круга задач. С помощью него возможно спрогнозировать развитие химической обстановки за пределами ЭОО в случае возникновения событий, приводящих к значительному переносу ОХВ за пределы санитарно-защитной зоны объектов (в частности, пожары). Лагранжево-эйлерова модель LEDI, включаемая в единый программный комплекс, позволит рассчитывать перенос ОХВ на расстояния порядка десятков и сотен километров.

### **ВЫВОДЫ**

1. В настоящее время на территории Крымского полуострова (и в Украине в целом) существует постоянная угроза возникновения ЧС в результате воздействия экологически-опасных объектов, поражающе факторы которой, оказываю серьезное воздействие на здоровье граждан.

2. Для оперативного и эффективного реагирования специализированными службами гражданской защиты на ЧС, связанные с выбросом ОХВ на территории экологически-опасных объектов необходима своевременная, в том числе долгосрочная оценка и прогноз возможной химической обстановки.

3. Методики прогнозирования официально принятые для оценки и прогнозирования химической обстановки не позволяют в полном объеме произвести расчеты зон химического заражения при оценке масштабов ЧС на экологически-опасных объектах.

4. Включение математических моделей распространения вредных веществ в атмосфере в единый программный комплекс позволит в полном объеме оценить возможную химическую обстановку при ЧС на экологически-опасных объектах, что в свою очередь позволит оперативно принять решение о проведении контрмер по защите населения и территории от воздействия выбрасываемых ОХВ.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Карпенко С.А., Ефимов С.А., Болдырев В.Б., Васильев П.С., Угаров С.Г. Геоинформационные прогнозно-моделирующие комплексы «Источники техногенно-экологической опасности»/ Институт эволюционной экономики [<http://iee.org.ua>].

2. Официальный сайт МЧС Украины [<http://www.mns.gov.ua>].

3. Совместный Приказ МЧС Украины, Министерства аграрной политики Украины, Министерства экономики Украины, Министерства экологии и природных ресурсов Украины «Об утверждении методики прогнозирования последствий разлива (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте» от 27 марта 2001 года № 73/82/64/122.

4. Постановление Кабинета Министров Украины «Об утверждении порядка учета пожаров и их последствий» от 26 декабря 2003 года № 2030.

5. Постановление Кабинета Министров Украины «Об утверждении Методики оценки ущерба от последствий чрезвычайной ситуации техногенного и природного характера» от 15 февраля 2002 года № 175.
6. Методики оценки последствий химических аварий на опасных производственных объектах. Сборник документов. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: НТЦ по безопасности в промышленности и Ростехнадзора России, 2002. – 206 с.
7. Методика оценки последствий аварий на пожаро-, взрывоопасных объектах. М.: Министерство РФ по делам ГО, ЧС и ликвидация последствий стихийных бедствий, 1994. – 43 с.
8. Сборник методик №1. М.: Ростехнадзор России. НТЦ «Промышленная безопасность», М., 1999.
9. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД 86. Л.: Госкомгидромет, 1987. – 94 с.
10. Стоецкий В.Ф., Дранишников Л.В., Есипенко А.Д., Жартовский В.М., Найверт А.В. Управление техногенной безопасностью объектов повышенной опасности/ Тернополь: «Астон», 2006. – 424 с.
11. Официальный сайт Главного управления статистики в Автономной Республике Крым [<http://www.crimeastat.sf.ukrtel.net>].
12. Официальный сайт Главного управления МЧС Украины в Автономной Республике Крым [<http://www.mail.crimea.com/~fire/index.php>].
13. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС/ Под ред. К.П. Махонько. Л.: Гидрометеоздат. 1990. 264 с.
14. Turner D.B. Addendum to TUPOS - Incorporation of a Hesitant Plume Algorithm. 1986. EPA-600/8-86/0.27. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (available only from NTIS, Accession Number PB86-241 031/AS).
15. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС. Под ред. К.П. Махонько. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 264 с.
16. Вызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчет распространения примеси. Л.: Гидрометеоздат, 1991.
17. Талерко Н. Н., Гаргер Е. К. Опыт тестирования модели атмосферного переноса LEDI на основе натуральных экспериментов и Чернобыльских данных: Препринт / НАЛ Украины. Институт проблем безопасности АЭС, 05—1 (2005). — 16 с.
18. Аксаков А.В. Моделирование распространения выбросов веществ с облаками горячего газа в условиях промышленной застройки/ Доклады ТУСУРа. 2004 г. Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования.
19. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред. - М.: Наука, 1984.
20. Мурин А.В. Математическое моделирование на параллельных системах последствий химических аварий. - Дис... канд. физ.-мат. наук. - Ижевск, 2002.
21. W.-Mei Jiang, H. Liu, and H.-Nian Liu. The Numerical Simulation on Atmospheric Transport and Dispersion of the Spray Atomized from Flood Discharging by Hydropower Station over Complex Terrain. - Meteorol. Atmos. Phys. 70, 215-226 (1999).
22. D. Brickman, P.C. Smith. Lagrangian Stochastic Modelling in Coastal Oceanography. - Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. - Vol. 19. - № 1, 2002. - Pp. 83-99.
23. Колодкин В.М., Мурин А.В., Петров А.К., Горский В.Г. Количественная оценка риска химических аварий./ Под редакцией Колодкина В.М. Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2001 – 228 с.

**Сухорученко С.К., инженер-геолог II категории**  
*Частное предприятие «Институт «КРЫМГИИНТИЗ»*

## **УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭОЛОВО-ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ РАВНИННОГО КРЫМА**

*В статье рассматриваются просадочные эолово-делювиальные лёссовые грунты Равнинного Крыма и изменение их физико-механических свойств под воздействием хозяйственной деятельности человека. Приведены регрессионные уравнения зависимости модуля деформации от плотности сухого грунта для лёссовых отложений Равнинного Крыма.*

**Лёсс, просадочные грунты, физические свойства, модуль деформации, регрессионные уравнения, Равнинный Крым.**

### **Введение.**

Начиная с XIX века, равнинная часть Крымского полуострова была признана недостаточно водообеспеченной [1], поэтому надо было искать новые источники воды для нужд человека и полива сельскохозяйственных угодий. Данное направление было реализовано в 60-80-х годах XX века с вводом двух очередей Северо-Крымского канала (СКК) в Крыму, что позволило дать воду в такие города, как Феодосия, Керчь, Симферополь и др. населённые пункты Равнинного Крыма и увеличить площадь орошаемых земель. Наряду с этим произошло подтопление территорий возле СКК, что привело к изменению деформационных свойств эолово-делювиальных лёссовых отложений Равнинного Крыма.

### **1. Цель, задачи, объект, предмет и методика исследования**

Цель работы – оценка изменения деформационного состояния просадочных эолово-делювиальных лёссовых отложений Равнинного Крыма при помощи регрессионных уравнений.

Задачи исследования:

- характеристика просадочных свойств лёссовых делювиально-пролювиальных отложений Равнинного Крыма;
- характеристика физических показателей в природных (ПК) и природно-техногенных комплексах (ПТК);
- установления регрессионных уравнений зависимостей между модулем деформации и их физическими характеристиками в ПК и ПТК.

Объектом исследования служат лёссовые суглинки и глины эолово-делювиального происхождения Равнинного Крыма.

Предмет исследования – изменение модуля деформации просадочных лёссовых эолово-делювиальных отложений от их физических характеристик при хозяйственной деятельности человека.

Изучение изменения геологической среды проводились на основе инженерно-геологических и лабораторных методов применяемых в Украине, корреляционного анализа и математических методов.

### **2. Результаты исследований**

Эолово-делювиальные отложения Равнинного Крыма представлены макропористыми лёссовыми суглинками и глинами коричнево-красного, темно-коричневого, коричнево-палевого, светло-коричневого и палевого цвета с ходами землероев. Лёссовые породы имеют вкрапления и пунктуацию гидроокислов марганца, стяжения карбонатов (журавчики), кристаллы и щётки гипса и прослой погребённых почв [2]. Содержание гипса по результатам инженерно-геологическим исследованиям

изменяется от 0,6 до 10,5%. Гранулометрический состав лёссовых отложений характеризуется изменчивым составом: глинистая фракция изменяется от 25 до 50%, пылеватая от 45 до 75% и песчаная от 2 до 20% [3]. Преобладают суглинки (63%) от общего количества определений (5290), всё остальное – это глины. По сравнению с материковой Украиной в Равнинном Крыму в эолово-делювиальных отложениях практически отсутствуют супеси, которые в данной статье не рассматриваются, из-за недостаточного количества определений. Все исследования закономерностей и свойств касались глин и суглинков в ПК (418 и 1523 определений соответственно) и ПТК (848 и 2501).

Просадочные свойства лёссовых пород Равнинного Крыма в ПК и ПТК приведены в табл. 1.

Влияние СКК сказывается не только в подтоплении, но и в уменьшении, из-за замачивания, площадей просадочных грунтов [4, 5], но последующие инженерно-геологические исследования подтвердили сохранения просадочных свойств у деградированных замоченных лёссовых отложений в районах техногенного подтопления. При этом наибольшая просадка – 7,2-12,5см была зафиксирована именно в ПТК (пос. Красногвардейский).

Таблица 1

**Крайние значения просадочных свойств лёссовых отложений Равнинного Крыма**

Относительная просадочность при нагрузках, МПа				Начальное просадочное давление, МПа	Просадка, см
0,1	0,2	0,3	0,4		
0,001-0,041	0,002-0,063	0,005-0,086	0,006-0,099	0,004-0,400	0,38-12,5

Для создания регрессионных уравнений модуля деформации от их физических характеристик были проанализированы изменения физических характеристик просадочных лёссовых отложений в ПК и ПТК (табл. 2).

Таблица 2

**Средние значения физических характеристик лёссовых отложений Равнинного Крыма в ПК и ПТК**

Характеристики	Значения			
	ПК		ПТК	
	глины	суглинки	глины	суглинки
Естественная влажность, д.е.	0,187	0,172	0,220	0,219
Влажность на границе текучести, д.е.	0,381	0,321	0,377	0,324
Влажность на границе раскатывания, д.е.	0,188	0,186	0,185	0,178
Число пластичности, б.р.	0,193	0,137	0,192	0,146
Показатель текучести	-0,01	-0,10	0,18	0,28
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	1,83	1,79	1,95	1,92
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,54	1,53	1,60	1,57
Плотность частичек грунта, г/см <sup>3</sup>	2,71	2,70	2,71	2,70
Коэффициент пористости, б.р.	0,766	0,770	0,728	0,729
Пористость, %	43,1	43,2	40,9	41,9
Коэффициент водонасыщения	0,69	0,67	0,92	0,86

В ПТК увеличились значения естественной влажности, плотности, плотности сухого грунта, показателя текучести, коэффициента водонасыщения и уменьшились значения коэффициента пористости и пористости. Наибольшие изменения произошли среди

суглинков, которые в ПТК в среднем по показателю текучести характеризуются, как тугопластичные.

Создание регрессионных уравнений для лёссовых отложений Равнинного Крыма – это первый опыт получения подобных уравнений. Правда следует отметить, что создание таких уравнений для лёссов Украины существуют и такие регрессионные уравнения приведены в работе [6].

Для оценки тесноты связи между модулем деформации и их физическими показателями использовано 1448 парных определений из ПК и 2890 – из ПТК (табл. 3).

Из приведённой табл. 3., следует, что достоверные связи между физическими показателями и модулем деформации для ПК и ПТК Равнинного Крыма образуется с плотностью сухого грунта (коэффициент корреляции больше 0,5), а также с плотностью, коэффициентом пористости и пористостью в ПК и с коэффициентом пористости (суглинки) и пористостью (глины) в ПТК.

Таблица 3

**Оценка между модулем деформации лёссовых эолово-делювиальных отложений Равнинного Крыма и их физическими показателями при помощи коэффициента корреляции**

Физические характеристики	ПК		ПТК	
	глины	суглинки	глины	суглинки
Естественная влажность	0,004	0,006	-0,111	-0,103
Влажность на границе текучести	0,042	-0,148	0,101	0,082
Влажность на границе раскатывания	0,051	-0,036	0,064	0,010
Число пластичности	0,015	-0,188	0,064	0,117
Показатель текучести	-0,463	-0,151	-0,487	-0,482
Плотность грунта	0,555	0,520	0,485	0,496
Плотность сухого грунта	0,611	0,556	0,576	0,628
Плотность частичек грунта	0,217	-0,036	0,027	0,022
Коэффициент пористости	-0,573	-0,559	-0,476	-0,589
Пористость	-0,589	-0,559	-0,564	-0,253
Коэффициент водонасыщения	-0,101	-0,212	-0,013	-0,052

Для создания регрессионных уравнений была выбрана следующая физическая характеристика – плотность сухого грунта для ПК и ПТК (табл. 4).

В табл. 5 и 6 приведены значения модуля деформации (E) лёссовых суглинков и глин Равнинного Крыма от плотности сухого грунта ( $\rho_{ск}$ ) для ПК и ПТК соответственно.

По результатам исследований значения модуля деформации в ПТК, по сравнению с ПК уменьшились у суглинков в 1,05-1,45раза, у глин – 1,08-1,69раза.

Таблица 4

**Регрессионные уравнения, которые отражают зависимость между модулем деформации и плотностью сухого грунта лёссовых эолово-делювиальных отложений Равнинного Крыма в ПК и ПТК**

Состояние лёссовых отложений	Показатель текучести, $I_L$	Наименование грунта	
		Глина	Суглинок
Ненарушенные (для ПК)	$I_L < 0$	$E = 42,5\rho_{ск} - 39,9$	$E = 52,6\rho_{ск} - 59,7$
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$E = 51,9\rho_{ск} - 59,4$	$E = 48,6\rho_{ск} - 55,5$
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$E = 48,3\rho_{ск} - 56,8$	$E = 38,1\rho_{ск} - 44,5$
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	$E = 30,1\rho_{ск} - 33,8$	$E = 27,7\rho_{ск} - 33,1$
Нарушенные техногенным влиянием (для ПТК)	$I_L < 0$	$E = 44,2\rho_{ск} - 48,4$	$E = 40,1\rho_{ск} - 44,0$
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$E = 44,7\rho_{ск} - 52,2$	$E = 42,5\rho_{ск} - 49,8$
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$E = 32,4\rho_{ск} - 36,6$	$E = 34,1\rho_{ск} - 40,6$
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	$E = 30,4\rho_{ск} - 36,2$	$E = 25,1\rho_{ск} - 30,6$

Таблица 5

**Значения модуля деформации лёссовых эолово-делювиальных суглинков  
Равнинного Крыма от плотности сухого грунта для ПК и ПТК**

Состояние лёссовых отложений	Показатель текучести, $I_L$	Плотность сухого грунта						
		1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Ненарушенные (для ПК)	$I_L < 0$	40,2	35,0	29,7	24,5	19,2	13,9	8,7
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	36,8	32,0	27,1	22,3	17,4	12,5	7,7
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	27,9	24,1	20,3	16,5	12,7	8,8	5,0
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	19,5	16,8	14,0	11,2	8,5	5,7	2,9
Нарушенные техногенным влиянием (для ПТК)	$I_L < 0$	32,2	28,2	24,2	20,2	16,2	12,1	8,1
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	31,0	26,7	22,5	18,2	14,0	9,7	5,5
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	24,2	20,8	17,4	14,0	10,6	7,1	3,7
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	17,1	14,6	12,1	9,6	7,1	4,5	2,0

Таблица 6

**Значения модуля деформации лёссовых эолово-делювиальных глин Равнинного  
Крыма от плотности сухого грунта для ПК и ПТК**

Состояние лёссовых отложений	Показатель текучести, $I_L$	Плотность сухого грунта						
		1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Ненарушенные (для ПК)	$I_L < 0$	40,9	36,6	32,4	28,1	23,9	19,6	15,4
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	39,2	34,0	28,8	23,6	18,5	13,3	8,1
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	35,0	30,1	25,3	20,5	15,7	10,8	6,0
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	23,4	20,4	17,4	14,4	11,4	8,3	5,3
Нарушенные техногенным влиянием (для ПТК)	$I_L < 0$	35,6	31,2	26,7	22,3	17,9	13,7	9,1
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	32,7	28,3	23,8	19,3	14,9	10,4	5,9
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	25,0	21,7	18,5	15,2	12,0	8,8	5,5
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	21,6	18,5	15,5	12,4	9,4	6,4	3,3

### ВЫВОДЫ

1. Среди лёссовых отложений Равнинного Крыма преобладают суглинки (63%), супесчаные отложения для этих отложений не свойственны и практически отсутствуют.

2. Измененные техногенным влиянием лёссовые эолово-делювиальные отложения Равнинного Крыма характеризуются переходом в полутвёрдые (глины) и тугопластичные (суглинки) разновидности по сравнению с неизменёнными этими отложениями (природными), где они характеризуются, как твёрдые.

3. Достоверные связи между модулем деформации и физическими характеристиками наблюдаются с плотностью сухого грунта в меньшей степени с плотностью, коэффициентом пористости и пористостью. С другими физическими характеристиками модуль деформации не образует устойчивых связей.

4. При использовании показателя модуля деформации в замоченном состоянии возможно принимать его значения на два порядка ниже, чем в естественном состоянии, что вытекает из того, что лёссовидные суглинки в ПК характеризуются твёрдым состоянием, а в ПТК тугопластичным.

5. Значения модуля деформации в ПТК после введения в строй СКК уменьшились по сравнению с аналогичными отложениями в ПК у суглинков в 1,05-1,45 раза, у глин в 1,08-1,69раза.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водное хозяйство Крыма: история развития, современное состояние. – Симферополь: Доля, 2003. – 80с.

2. Державна геологічна карта України масштабу 1:200000, аркуші L-36-XXXVIII (Євпаторія), L-36-XXXIV (Севастополь). Кримська серія. Пояснювальна записка / [наук. ред. Білецький С.В.]. – К.: Державна геологічна служба, Казенне підприємство «Південекогеоцентр», УкрДГРІ, 2006. – 176с.
3. Палиенко Э.Т., Кошик Ю.А., Чмыхал В.Н., Табес И.В., Леута В.С. Структурно-геоморфологический анализ при выявлении условий четвертинного осадконакопления с целью инженерно-геологического районирования Степного Крыма // Материалы Харьковского отдела Географического общества. Структурная геоморфология, палеогеоморфология и неотектоника. – 1974. – Выпуск XI. – С 72-76.
4. Альбом проектно-строительного районирования Крыма. – Симферополь: «КРЫМНИИПРОЕКТ», 1985. – 81с.
5. Борейко Л.Г. Теория и методы инженерно-геологической оценки лёссовых пород. – К.: Наукова думка, 1989. – 168с.
6. Розроблення нормативних значень характеристик міцності та деформованості ґрунтів на території України: Звіт про науково-дослідну роботу / державне підприємство «УкрНДІПНТБ» / Г.Г. Стріжельчик, А.В. Дроздов, М.А. Ігрунова. – №0109V007535; Інв. №25016. – Харків, 2009. – 77с.

УДК 502 (477.75):624.131.22

**Сухорученко С.К., инженер-геолог II категории**

*Частное предприятие «ИНСТИТУТ «КРЫМГИИНТИЗ»*

### **ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАБУХАЮЩИХ НИЖНЕМЕЛОВЫХ ГЛИН КРЫМСКОГО ПРЕДГОРЬЯ В ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМАХ**

*В статье рассмотрены основные природные и техногенные факторы формирования нижнемеловых глин Крымского Предгорья. Впервые приведены количественные показатели ухудшения состояния изучаемых глин в природных и природно-техногенных системах.*

**Нижнемеловые глины, природные системы, природно-техногенные системы, деформационно-прочностные показатели, набухание.**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

История геологического изучения нижнемеловых глин Крымского Предгорья насчитывает более чем два столетия, но, несмотря на то, что были изучены инженерно-геологические свойства [1] и опасные экзогенные и эндогенные геологические процессы [2-4] для нижнемеловых глин не проводился комплексный анализ с целью оценки влияния природных и техногенных факторов на изменения эколого-геологического состояния глин.

#### **ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, ОБЪЕКТ, ПРЕДМЕТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Цель работы – оценка состояния нижнемеловых глин Крымского Предгорья под влиянием природных и техногенных факторов.

Задачи исследования:

- установление особенностей формирования инженерно-геологических условий нижнемеловых глин в Крымском Предгорье под влиянием природных факторов;
- анализ особенностей изменения в пространстве и времени основных инженерно-геологических показателей нижнемеловых глин под воздействием природных и техногенных факторов.

Объект исследования – нижнемеловые глины, предмет исследования – эколого-геологическое состояние нижнемеловых глин и его изменение под влиянием экзогенных геологических процессов и хозяйственной деятельности человека.

Основными методами исследования были методы сбора, сравнительного и количественного анализа, комплексные инженерно-геологические методы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нижнемеловые глины сформировались под влиянием постоянных и переменных факторов. К группе постоянных факторов относятся геологическое строение территории и геоморфология. Основным переменным фактором является климат. Гидрология, гидрогеология и растительность являются производными факторами от климата. Совместное влияние постоянных и переменных факторов обуславливают физико-механические и коррозионные свойства глин, процессы выветривания и сейсмичность территории [5].

На данном этапе, территория распространения нижнемеловых глин находится в условиях достаточно большого количества активных тектонических нарушений разного порядка. Плотность тектонических нарушений на некоторых участках достигает  $6,1\text{ км}/\text{км}^2$ , что в 5-6 раз больше, чем в Равнинном Крыму. Сейсмичность территории составляет 7-8 баллов.

Негативное эколого-геологическое влияние рельефа – это территории, где отмечается значительное горизонтальное расчленение рельефа, что усложняет застройку территории (г. Феодосия, сёла Грушевка, Богатое, Головановка, Пчелиное, Верхоречье).

Основной переменный фактор – климат – влияет на эколого-геологическое состояние глин за счёт колебания температур, которые способствуют выветриванию глин и выпадения атмосферных осадков, когда их количество превышает 70мм/сутки, что в горных условиях вызывает прохождение селей, паводков и эрозии склонов и речных долин.

Эрозия – это доминирующий геологический процесс на нижнемеловых глинах, скорость которого зависит от типа растительности и структурных особенностей глин (слоистости, прослоев других горных пород) и изменяется от 0,1 под лесными сообществами до 7мм/год на бедлендах.

Оползневой процесс – это наиболее унаследованный процесс для глин, который проявляются интенсивнее и активнее в зонах тектонических нарушений и на увлажнённых склонах в районе г.Симферополя, г.Феодосии, г.Балаклавы, сёл Перевальное, Денисовка, Наниково, Доброе, Грушевка.

В нижнемеловых глинах, через засушливый климат, преобладает физическое выветривание, при этом зона выветривания достигает 1-5м [5].

В нижнемеловых глинах непосредственно не образуется сплошной горизонт подземных вод, при этом их минерализация изменяется от 0,448 до  $54,462\text{ г}/\text{дм}^3$ . На эколого-геологическое состояние нижнемеловых глин подземные воды влияют за счёт их агрессивности к бетонам, железобетонным и металлическим конструкциям. На большей территории распространения глин подземные воды обладают неагрессивной – сильной агрессивностью к бетонам и железобетонным конструкциям и средней агрессивностью к металлическим конструкциям, кроме Коктебельско-Феодосийского низкогорья, где отмечается сильная агрессивность.

На большей территории распространения глин установлена неагрессивная, слабая, средняя сульфатная и неагрессивная, слабая хлоридная агрессивность к бетонам, железобетонным и металлическим конструкциям, кроме Коктебельско-Феодосийского низкогорья, где отмечена средняя и сильная сульфатная и средняя хлоридная агрессивность.

В среднем для природных систем, нижнемеловые глины характеризуются, как твёрдые, средненабухающие. Деформационно-прочностные показатели нижнемеловых глин рассматривались при взаимодействии с пресными водами (табл. 1).

Разнообразные экзогенные геологические процессы (подтопление, выветривание, оползни) ухудшают природное состояние исследуемых глин, за счёт уменьшения деформационно-прочностных показателей (табл.2) и увеличения показателей набухания (табл. 3).

Большая часть территории распространения нижнемеловых глин (85%), нарушена техногенным влиянием за счёт сельскохозяйственных угодий, населённых пунктов, дорог, водохранилищ и других хозяйственных объектов.

Таблица 1

**Зависимость между деформационно-прочностными показателями и показателем текучести нижнемеловых глин в природных системах**

Показатель текучести	Деформационно-прочностные показатели								
	Модуль деформации, МПа			Удельное сцепление, кПа			Угол внутреннего трения, гр.		
	мини-мальное	макси-мальное	среднее	мини-мальное	макси-мальное	среднее	мини-мальное	макси-мальное	среднее
$I_L < 0$	18	53	32	29	77	49	9	27	3
$0 \leq I_L \leq 0,25$	15	48	23	26	66	42	8	24	20
$0,25 < I_L \leq 0,5$	7	33	14	16	47	29	7	22	16

Таблица 2

**Уменьшение средних деформационно-прочностных показателей нижнемеловых глин Крымского Предгорья в природных системах**

Характеристики	Уменьшение показателей при разнообразных процессах, которые обусловлены природными факторами, в разы		
	подтопле-ние	выветривание	на оползневых склонах в сравнении с оползнеопасными склонами
Удельное сцепление	1,26	1,11-1,15	2,73
Угол внутреннего трения	1,14	1,04-1,09	1,2
Модуль деформации	1,24	1,10-1,15	-

Таблица 3

**Увеличение средних набухающих показателей нижнемеловых глин Крымского Предгорья в природных системах**

Характеристики	Увеличение показателей при разнообразных процессах, которые обусловлены природными факторами, в разы	
	Подтопление	Выветривание
Давление набухания	1,5	1,71
Относительное набухание	1,36	1,4

На основе исследований были выделены техногенные факторы, которые влияют на состояние нижнемеловых глин – это дополнительное увлажнение и механическое преобразование рельефа [6-8]. Под влиянием приведённых факторов нижнемеловые глины Крымского Предгорья в природно-техногенных системах в среднем характеризуются, как полутвёрдые и сильнонабухающие, кроме этого по показателю

текучести в изменённых глинах встречаются мягкопластичные и текучепластичные разновидности, которые отсутствуют в природных системах. Нарушенные техногенезом нижнемеловые глины, по сравнению с природными, обладают увеличенными показателями природной влажности, важности на границе текучести и раскатывания, числа пластичности, коэффициентов пористости и водонасыщения, пористости и уменьшенными показателями плотности и плотности сухого грунта.

В природно-техногенных системах зона выветривания достигает 5-15м [5].

По результатам исследований установлено, что средние значения деформационно-прочностных показателей нижнемеловых глин в природно-техногенных системах снизились (табл. 4): модуля деформации в 1,09-1,14, удельного сцепления – 1,18-1,28 и угла внутреннего трения – 1,08-1,24 раза, по сравнению с аналогичными показателями в природных системах.

Ухудшение состояния нижнемеловых глин при разнообразных экзогенных геологических процессах в природно-техногенных системах под влиянием дополнительного техногенного увлажнения и механического преобразования рельефа привело к ещё большему уменьшению деформационно-прочностных показателей (табл. 5) и к увеличению показателей набухания (табл. 6), по сравнению с природными системами.

Таблица 4

**Деформационно-прочностные показатели нижнемеловых глин в природно-техногенных системах**

Показатель текучести	Деформационно-прочностные показатели								
	Модуль деформации, МПа			Удельное сцепление, кПа			Угол внутреннего трения, гр.		
	мини-мальное	макси-мальное	среднее	мини-мальное	макси-мальное	среднее	мини-мальное	макси-мальное	среднее
$I_L < 0$	17	46	29	20	68	40	7	24	20
$0 \leq I_L \leq 0,25$	9	41	20	18	60	34	6	22	17
$0,25 < I_L \leq 0,5$	5	30	12	14	43	21	4	19	13
$0,5 < I_L \leq 0,75$	4	25	10	11	34	16	3	16	8

Таблица 5

**Уменьшение средних деформационно-прочностных показателей нижнемеловых глин Крымского Предгорья в природно-техногенных системах**

Характеристика	Уменьшение показателей при разнообразных процессах, обусловленных техногенными факторами, в разы			
	подтопление	выветривание	склоны	
			оползне-опасные	оползне-вые
Удельное сцепление	1,39-1,44	1,18-1,28	2,3	1,07
Угол внутреннего трения	1,18-1,19	1,08-1,24	1,2	1,25
Модуль деформации	1,26-1,27	1,09-1,14	-	-

Таблица 6

**Увеличение средних показателей набухания нижнемеловых глин Крымского Предгорья в природно-техногенных системах**

Характеристика	Увеличение показателей при разнообразных процессах, обусловленных техногенными факторами, в разы		
	подтопление	глины	
		выветрелые	невыветрелые
Давление набухания	1,9-3,5	2,5	2,3
Относительное набухание	1,7-5,6	2	1,6

Наиболее опасные эколого-геологические последствия наблюдались там, где было одновременно отмечено проявление нескольких опасных экзогенных геологических процессов, например в г. Симферополе в районе ул. Б.Хохлова и Лескова [6, 8]. Разрушение домов по ул. Б.Хохлова 8/4 и Лескова, 45 (рис. 1) произошло под влиянием техногенного Марьинского оползня, дополнительного увлажнения и набухания нижнемеловых глин.



**Рис. 1** Разрушенное здание по ул. Лескова, 45 в г. Симферополе

Последствием одновременного действия нескольких опасных геологических процессов на этой территории стало увеличение физических и набухающих и уменьшение деформационно-прочностных показателей нижнемеловых глин (табл. 7).

Таблица 7

**Результаты оценки деформационно-прочностных, физических и набухающих показателей нижнемеловых глин в микрорайоне «Марьино» в г. Симферополе в начале застройки и через 40-45 лет**

Физико-механические и набухающие показатели нижнемеловых глин	Значения показателей	
	в начале застройки	через 40-45 лет после застройки
Удельное сцепление, кПа	30–94	10–64
Угол внутреннего трения, гр.	16–26	6–16
Модуль деформации, МПа	16–20	11–17
Давление набухания, МПа	0,05–0,20	0,25–0,55
Относительное набухание, %	3–11	13–69
Коэффициент пористости, б.р.	0,488–1,304	0,503–1,519
Показатель текучести, б.р.	-0,54 – 0,02	-0,44–0,58

## ВЫВОДЫ

Природные и техногенные факторы изменяют эколого-геологическое состояние нижнемеловых глин, тем самым, нарушая экологическую безопасность и условия жизнедеятельности человека, за счёт, уменьшения несущих способностей изучаемых глин, увеличения зоны выветривания глин и количества оползней на них, возможного приращения сейсмичности территории на 1 бал и развития подтопления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инженерная геология. Кавказ. Крым. Карпаты / [ред. И.М. Буачидзе, К.И. Джанджгава, М.В. Чуринов]. – М.: Издательство МГУ, 1978. – Т.8. – 1978. – 366с.
2. Ключкин А.А. Экзогеодинамика Крыма / А. А. Ключкин. – Симферополь: ГП «Издательство «Таврия», 2007. – 320с.
3. Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР / [под ред. Шеко А.И.]. – М.: Недра, 1976. – 184с.
4. Олиферов А.Н. Селевые потоки в Крыму и Карпатах / А.Н. Олиферов. – Симферополь: Доля, 2007. – 176с.
5. Сухорученко С.К. Эколого-геологическое состояние нижнемеловых глин предгорного Крыма / С.К. Сухорученко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – №3. – С. 13-18.
6. Сухорученко С.К. Влияние изменения физических и набухающих свойств набухающих глин на экологическую безопасность при хозяйственном освоении территории (на примере предгорного Крыма) / С.К. Сухорученко // Строительство и техногенная безопасность. – 2005. – №12. – С. 89-91.
7. Сухорученко С.К. Эколого-геологическое состояния нижнемеловых глин г. Симферополя / С.К. Сухорученко // Строительство и техногенная безопасность. – 2007. – №18. – С. 119-125.
8. Сухорученко С.К. Эколого-геологическое состояние нижнемеловых глин г. Феодосии / С.К. Сухорученко // Строительство и техногенная безопасность. – 2007. – №22. – С. 89-93.

## **Раздел 6. ВОДОБЕСПЕЧЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ, ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА**

*Посвящается V Всеукраинскому съезду преподавателей по  
теплогазоснабжению и вентиляции (27-30 сентября 2011г.)*

УДК 628.314.2

Анисимов С.Н., доцент, Глухов Н.Д., д.т.н., профессор, Слободина А.Д., ассистент  
Национальная академия природоохранного и курортного строительства

### **АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ОТОПИТЕЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОТЕЛЬНОЙ С УЧЕТОМ НЕОБРАТИМЫХ ПОТЕРЬ**

*Проведен термодинамический анализ эффективности работы традиционной тепловой схемы котельной с паровыми котлами. Выявлены элементы с наибольшими потерями работоспособности. Предложена модернизированная тепловая схема.*

**Тепловая схема, необратимые потери, эффективность работы котельной, модернизация, утилизация теплоты, теплонасосная установка.**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в Украине примерно треть топливно-энергетических ресурсов расходуется на коммунально-бытовые нужды. Подавляющая часть этих ресурсов используется на морально и физически устаревших объектах – котельных различного назначения, проектирование и строительство которых осуществлялось еще во второй половине прошлого столетия, когда проблема энергосбережения и экологической безопасности не стояла так остро.

Современный подход к этой проблеме базируется на разработке и внедрении энергосберегающих и природоохранных технологий во всех сферах жизнедеятельности человека и общества.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Отопительно-производственные котельные предназначены для обеспечения тепловой энергией коммунально-бытовых потребителей и технологических нужд предприятий.

Как показывает анализ [1,2,3], эти котельные обычно вырабатывают насыщенный или слабоперегретый пар с давлением до 1,4 или 2,4 МПа.

Для технологических потребителей и подогревателей систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, использующих пар более низкого давления (0,5...0,7 МПа) по сравнению с вырабатываемым котлоагрегатами, в тепловых схемах котельных предусматривается редуционно-охладительная установка (РОУ) для снижения давления и температуры пара.

Тепловые схемы паровых котельных довольно стабильны и мало отличаются друг от друга. Типовая тепловая схема отопительно-производственной котельной представлена на рис.1.

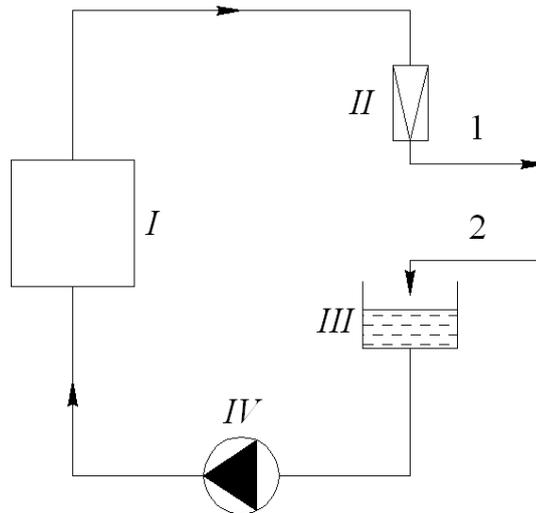


Рис.1. I – парогенератор; II – РОУ; III – сборник конденсата; IV – питательный насос; 1 – пар к потребителям; 2 – возврат конденсата.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводятся термодинамическим методом на основе анализа энерго-энтропийных балансов.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной статьи является исследование энергетической эффективности тепловой схемы котельной и поиск путей её совершенствования.

Задача исследования состоит в расчете энерго-энтропийных балансов и выявлении элементов тепловой схемы, в которых необратимые процессы вносят основной вклад в потери работоспособности и требуют совершенствования в первую очередь.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Рассмотрим тепловую схему отопительно- производственной котельной рис.1, вырабатывающей насыщенный пар с давлением  $P_1 = 1,4$  МПа. Понижение давления пара происходит в РОУ. В котельной установлены три котла типа ДЕ-16-14 ГМ. Производительность котельной по пару  $D = 48$  т/ч, общая тепловая мощность  $Q_{\Sigma} = 31,3$  МВт. Топливо – природный газ с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p = 37,6$  МДж/нм<sup>3</sup>.

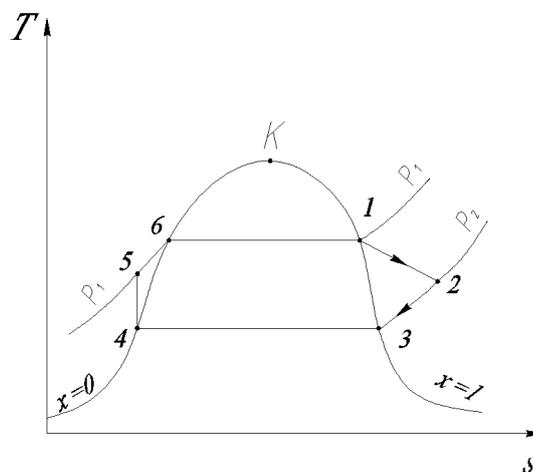


Рис.2. Термодинамические процессы, протекающие в тепловой схеме

Для удобства анализа, термодинамические процессы, протекающие в тепловой схеме изобразим в системе координат  $Ts$ .

На диаграмме, рис. 2: 1-2–процесс дроселирования пара в РОУ; 2-3 – изобарный процесс охлаждения в РОУ; 3-4–изобарно-изотермический процесс конденсации водяного пара у потребителей; 4-5 – адиабатный процесс повышения давления питательной воды в питательном насосе; 5-6-1 – изобарный процесс подогрева и парообразования в котельном агрегате.

Численные значения параметров рабочего тела в характерных точках цикла находим по таблицам теплофизических свойств воды и водяного пара [4].

В формате статьи не предоставляется возможным показать весь объем проведенных расчетов, поэтому далее ограничимся рассмотрением основных этапов расчета и анализом полученных результатов.

На предварительном этапе по методике [5] рассчитываем объемы и энтальпии продуктов сгорания, тепловой баланс котельного агрегата и находим численные значения: коэффициента полезного действия  $\eta_{ка} = 91\%$  и расчетный расход топлива  $B_p = 0,305 \text{ нм}^3/\text{с}$ .

Анализ тепловой схемы с учетом необратимых потерь проведен по методике [6].

Используя метод коэффициентов полезного действия определяем потери тепла в отдельных элементах и составляем тепловой баланс системы:

$$q' = q_{нотр} + \Delta q_{ка} + q_{пп},$$

где  $q'$  – количество тепла, выделяющегося при сгорании топлива в топке котла, в расчете на 1 кг рабочего тела;  $q_{нотр}$  – количество тепла, отданного потребителям;  $\Delta q_{ка} = (1 - \eta) \cdot q'$  – потери тепла котельным агрегатом;  $\Delta q_{пп} = q' \cdot \eta_{ка} (1 - \eta_{пп})$  – потери тепла паропроводом, включая РОУ;  $\eta_{пп} = 0,99$  – коэффициент полезного действия паропровода.

Расчет потерь работоспособности выполнен с помощью энтропийного и эксергетического методов

$$\Delta L_{ycm} = \sum_{i=1}^n \Delta L_i = \sum_{i=1}^n T_o \cdot \Delta S_i ;$$

$$\Delta L_{ycm} = \sum_{i=1}^n \Delta L_i = \sum_{i=1}^n \left\{ (e_{вх} + e_{qвх}) - e_{вых} \right\} - L_{полезн}_i ;$$

где  $T_o = 283 \text{ К}$  – температура окружающей среды;  $\Delta S_i$  – увеличение энтропии в  $i$ -том элементе схемы в результате протекания в нем необратимых процессов;  $e_{вх}$ ,  $e_{qвх}$  и  $e_{вых}$  – эксергия потоков рабочего тела и потока тепла на входе и выходе, соответственно;  $L_{полезн}$  – полезная работа, производимая этим элементом и отдаваемая внешнему потребителю.

Расчеты показали, что наибольшие потери работоспособности (1203 кДж/кг) имеют место в котельном агрегате, где необратимость наиболее велика вследствие большой разности температур топочных газов и рабочего тела. Таким образом, котельный агрегат, эффективное теплотехническое устройство ( $\eta_{ка} = 0,91$ ) с позиций первого закона термодинамики, является весьма неэффективным с позиций второго закона (коэффициент потери работоспособности  $\eta_{пр} = 0,59$ ) и это несовершенство вскрывается энтропийным и эксергетическими методами анализа.

Уменьшение потери работоспособности котельного агрегата можно достигнуть главным образом за счет повышения температуры рабочего тела, однако это мероприятие выгодное с термодинамической точки зрения, влечет за собой увеличение капитальных затрат, которое экономически не может быть оправдано.

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Сводная таблица результатов расчета

Элемент тепловой схемы	Причины потери работоспособности	Типовая схема			Модернизированная схема		
		$\frac{\Delta q, \text{кДж}}{\text{кг}}$	$\frac{\Delta L, \text{кДж}}{\text{кг}}$	$\eta_{пр}, \%$	$\frac{\Delta q, \text{кДж}}{\text{кг}}$	$\frac{\Delta L, \text{кДж}}{\text{кг}}$	$\eta_{пр}, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8
Котлоагрегат	Теплопотери котла и необратимый теплообмен в котле	209	1203	58,91	209	1203	58,91
Паропровод	Теплопотери паропровода и РОУ	23	9	0,44	23	9	0,44
Редукционно-охлаждающая установка	Необратимый процесс дросселирования		74	3,62	–	–	–
Паровая турбина с противодавлением	Необратимость расширения пара в турбине, механические потери в турбине	–	–	–	–	23,7	1,16
Питательный насос	Необратимость процесса в насосе	–	0,1	0,005	–	0,1	0,005
Потребители	Необратимый теплообмен при конденсации пара	2089	756	37	2089	708	34,67
В целом по тепловой схеме		2321	2042	100	2321	1944	95,2

Потери в паропроводе относительно малы; их дальнейшее снижение связано с улучшением теплоизоляции паропровода и его гидродинамических характеристик.

В РОУ для снижения давления пара используется процесс дросселирования. Этот процесс является безусловно вредным, так как сопровождается уменьшением работоспособности рабочего тела.

Для снижения начального давления пара на выходе из котельного агрегата, до давления необходимого потребителям, предлагается заменить процесс дросселирования адиабатным процессом расширения в паровой турбине с противодавлением. При этом параметры пара на выходе из турбины будут примерно такими же, как и в случае использования РОУ, но турбина будет производить полезную работу, которая может быть использована для различных целей, например, для привода электрогенератора.

Еще больший интерес представляет использование полезной работы турбины для привода турбокомпрессора теплонасосной установки с целью глубокой утилизации тепла уходящих газов, которое можно использовать для нужд горячего водоснабжения. Это позволит не только понизить температуру уходящих газов, но и использовать теплоту конденсации водяных паров в уходящих газах, т.е. появляется возможность использования не низшей, а высшей теплоты сгорания топлива. Такая модернизация тепловой схемы позволит серьезно улучшить тепловой баланс всей котельной установки в целом.

Модернизированная тепловая схема и ее цикл представлены на рис. 3 и 4.

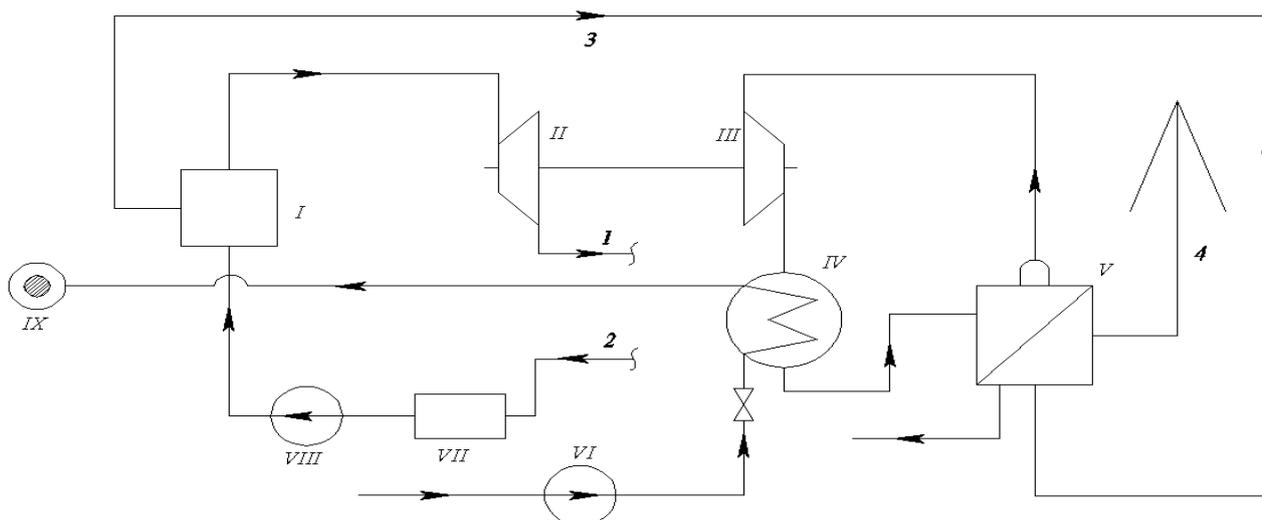


Рис. 3. I – парогенератор; II – паровая турбина; III – турбокомпрессор; IV – конденсатор; V – испаритель; VI – насос исходной воды для ГВС; VII – сборник конденсата; VIII – питательный насос; IX – система ГВС. 1 – пар к потребителям; 2 – возврат конденсата; 3 – дымовые газы к испарителю; 4 – дымовые газы в атмосферу.

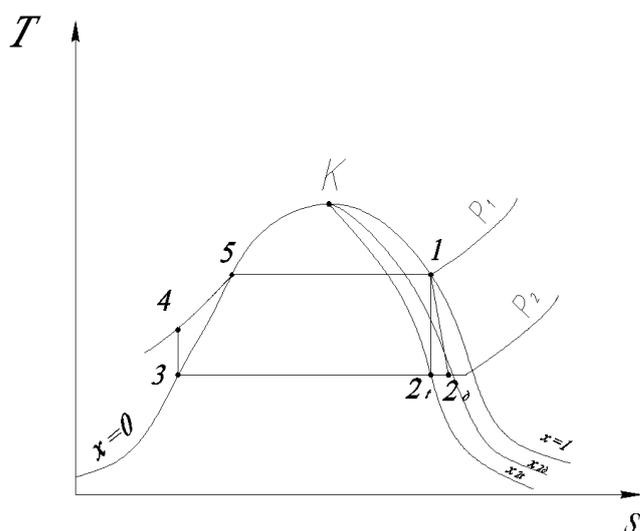


Рис. 4.

На диаграмме, рис. 4: 1-2t–теоретический (адиабатный) процесс расширения пара в турбине; 1-2d–действительный процесс расширения; 2d-3–процесс конденсации пара у потребителей; 3-4–адиабатный процесс повышения давления питательной воды в насосе; 4-5-1–изобарный процесс подогрева и парообразования в парогенераторе.

Результаты расчетов модернизированной тепловой схемы представлены в табл. 1.

По данным табл. 1 строим диаграммы потоков эксергии в типовой (рис. 5) и модернизированной (рис. 6) тепловых схемах.

Из рис. 5 и 6 следует, что в модернизированной схеме за счет замены РОУ паровой турбиной производится полезная работа. Как показали детальные расчеты, этой работы (мощность на валу турбины  $N_e \approx 1,3$  МВт) вполне хватает для привода турбокомпрессора теплонасосной установки, использующей в качестве холодильного агента фреон-113, чтобы полностью утилизировать теплоту уходящих газов с учетом теплоты конденсации водяных паров в уходящих газах. Теплота утилизации может быть использована в системе горячего водоснабжения, обеспечивая расход горячей воды примерно 180 т/час при температуре  $t_{гв} = 50$  °С. Кроме того, за сутки из дымовых газов можно получить порядка

150 т конденсата, который в дальнейшем при соответствующей обработке (при необходимости), может быть использован в технических целях для нужд котельной.

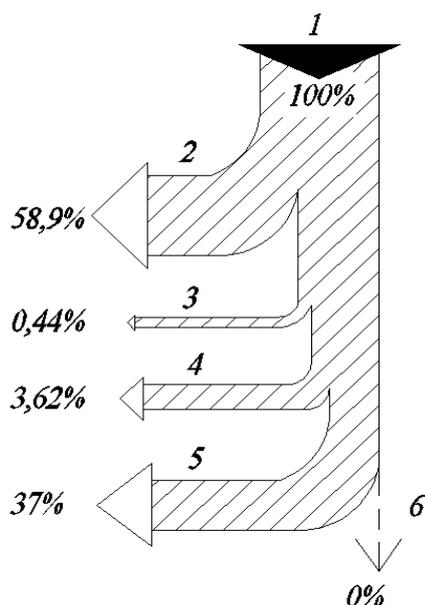


Рис.5.

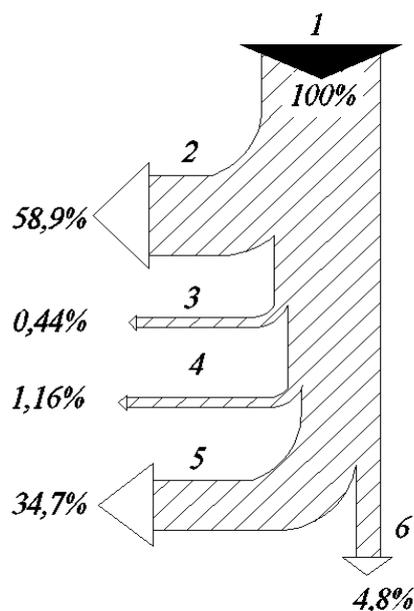


Рис.6.

1 – эксергия тепла, выделившегося при сгорании топлива; 2 – потери в котле; 3 – потери в паропроводе; 4 – потери в РОУ (Рис. 5) и потери в турбине (Рис. 6); 5 – потери у потребителей; 6 – полезная работа.

Расчеты показали, что коэффициент использования тепла в типовой схеме составляет  $k_m = 0,8$ , а в модернизированной  $k_m = 1,0$ .

Таким образом, модернизация тепловой схемы котельной позволит доиспользовать около 20% располагаемой теплоты топлива, которая в традиционной схеме бесполезно тратится, приводя к тепловому загрязнению окружающей среды.

### ВЫВОДЫ

1. Выявлены элементы тепловой схемы котельной, в которых необратимые процессы вносят основной вклад в потери работоспособности и намечены пути совершенствования тепловой схемы.
2. Усовершенствование тепловой схемы дает возможность повысить коэффициент использования располагаемой теплоты топлива с 0,8 до 1,0 и резко снизить тепловое загрязнение окружающей среды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев В.И., Пермяков Б.А., Хаванов П.А. Расчет и проектирование теплогенерирующих установок систем теплоснабжения: Учебное пособие – М.: Стройиздат, 1994 – 358с.: ил.
2. Делягин Г.Н., Лебедев В.И., Пермяков Б.А. Теплогенерирующие установки.– М.: Стройиздат, 1986. – 559с. ил.
3. Либерман Н.Б., Нянкoвская М.Т. Справочник по проектированию котельных установок систем центрального теплоснабжения. – М.: Энергия, 1979. -224с.
4. Вукалович М.П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара.– М. – Л.: Энергия, 1965, - 400 с. с черт.
5. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) Под. Ред. Н.В. Кузнецова и др. – М.: Энергия, 1973.- 296с.
6. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. – М.: Энергия 1973.-296с.

**Башта А. И.,** доцент

*Крымский научный центр НАНУ и МОНУ*

## **ВЛИЯНИЕ РОСТА УРОВНЯ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕКРЕАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ В ОБЩЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БЮДЖЕТЕ РЕГИОНА**

*Определено влияние роста внедрения возобновляемых источников энергии в рекреационных предприятиях на увеличение производства энергии в регионе. Обоснована необходимость внедрения возобновляемых источников энергии в рекреационной системе, как основы инновационных технологий в энергетике*

**Рекреационная система, рекреационный комплекс, энергетика, возобновляемые источники энергии, инновационные технологии**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Для того, чтобы реализовать идею управления балансом производства энергии в регионе необходимо иметь возможность прогнозировать сценарии эколого-экономических процессов при различных вариантах природоохранных действий. С этой целью была разработана информационная технология управления, которая включала в себя 5 динамических моделей, построенных АВС-методом:

- модель трансформации совокупного спроса на энергообеспечение,
- экономическая модель традиционного энергообеспечения,
- экономическая модель альтернативного энергообеспечения,
- интегральная модель экологического состояния региона и уровня экологического сознания населения
- модель управления стоимостью потребляемых ресурсов в зависимости от экологического состояния природной среды.

Была выполнена компьютерная реализация формульных алгоритмов этих пяти моделей и объединение их в общую систему управления балансом производства и потребления энергии. Построенная система управления применена при проведении 4 имитационных экспериментов, в ходе которых были получены сценарии процессов развития.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Вопрос развития энергетики Крыма в экономическом аспекте - достаточно новое направление исследований. Разработкой данного вопроса на сегодняшний день занимаются ученые Таврического национального университета им. В.И. Вернадского: Боков В.А., Мазин А.С., Карпенко С.А.; ученые Национальной академии природного и курортного строительства – Ветрова Н.М., Бекиров Э.А.

В рамках исследований приведенных авторов в 2007-2010 году были получены

- модель развития солнечной энергетики в Крыму на базе метода системной динамики (АВС) [1-4];
- оценка эффективности применения ВИЭ при постройке новых жилых комплексов на территории Крыма;
- модель использования возобновляемой энергии в рекреационных учреждениях;
- модель энергоэффективного дома;
- модель оптимизации транспортных потоков с целью экономии энергоресурсов;
- модель сбора и обработки актинометрических данных;
- модель интегрального использования ресурсов альтернативной энергетики.

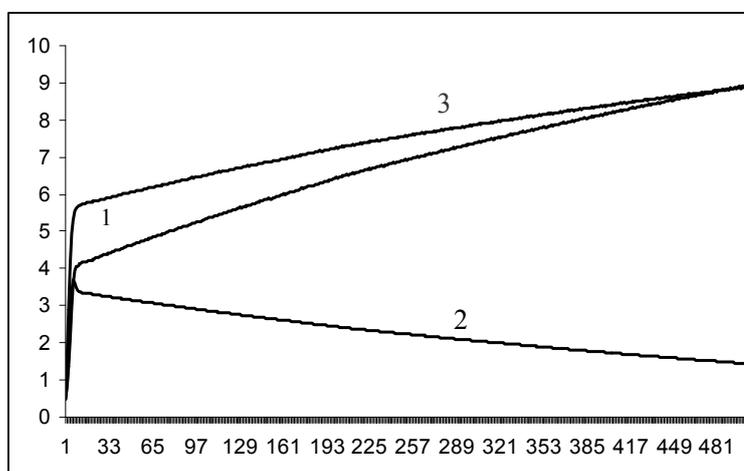
показаны общие направления модернизации энергетики для обеспечения устойчивого развития региона .

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы является определение влияния роста внедрения возобновляемых источников энергии в рекреационных предприятиях на увеличение производства энергии в регионе.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В вычислительном эксперименте анализировалось влияние роста уровня экологического сознания населения и степени внедрения возобновляемых источников энергии в рекреационном комплексе на увеличение производства возобновляемой энергии в общем энергетическом бюджете региона. В этом эксперименте была использована интегральная модель состояния природной среды региона и уровня экологического сознания населения. На рис. 1 показаны рассчитанные по модели сценарии уменьшения уровня биоразнообразия (кривая 2) и роста экологического сознания населения региона и степени внедрения возобновляемых источников энергии. Эти сценарии были построены в предположении, что уровень загрязнения продолжает расти, несмотря на применение санкций к традиционной энергетике и политики протекционизма в отношении альтернативной.

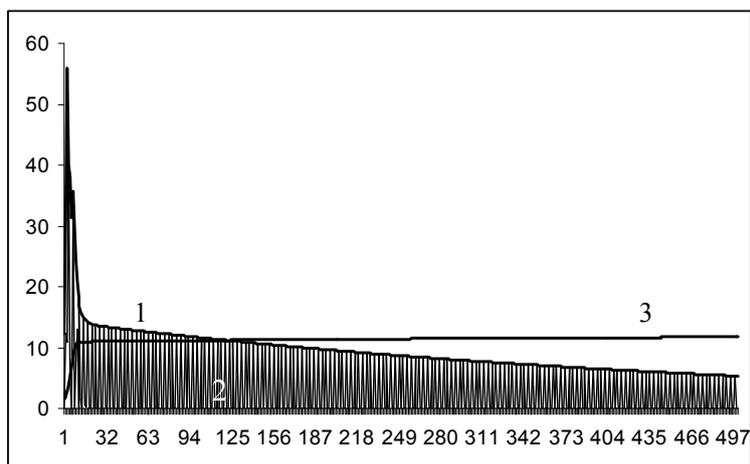


**Рис. 1. Сценарии уровня биоразнообразия, уровня экологического сознания населения региона: 1 – уровень загрязнения  $P_i$ ; 2 – уровень биоразнообразия  $B_d$ ; 3 – уровень экологического сознания и степени внедрения возобновляемых источников энергии в рекреационной сфере  $E_c$**

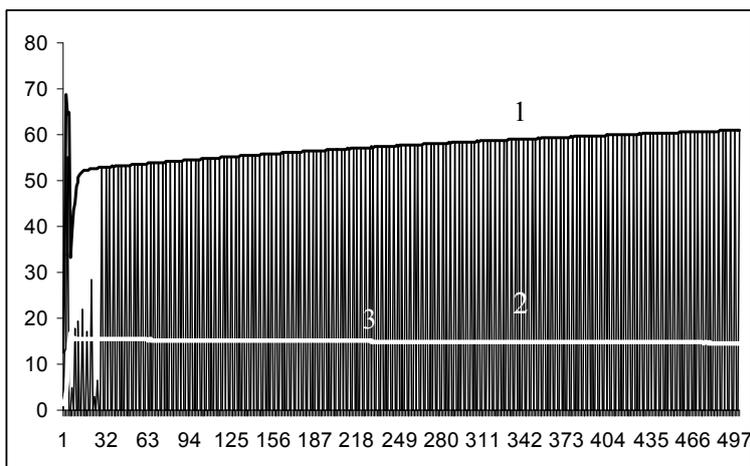
Было принято предположение о том, что обеспокоенность населения региона растущим уровнем загрязнения и уменьшением индекса биоразнообразия, должны привести к существенной трансформации спроса на энергообеспечение в сторону возобновляемых источников энергии. Выше мы условились характеризовать эту обеспокоенность индексом экологического сознания  $E_c$ . Сценарий индекса  $E_c$ , рассчитанный по модели, представляет кривая 3 на рис. 1.

В дальнейших расчетах уровень экологического сознания населения региона был использован в качестве еще одного дополнительного рычага управления спросом на энергообеспечение. Динамика индекса  $E_c$  была учтена в уравнениях для спроса на традиционную энергию и на альтернативную энергию. Таким образом, экологическое сознание было использовано наряду с налогообложением традиционной энергетике и протекционизмом развития альтернативной энергетике для перераспределения спроса на энергию в регионе.

Результирующая динамика спроса показана на рис. 2, а и б. Из этих рисунков следует, что сценарии спроса претерпели существенные изменения. Уже в начале эксперимента потребление альтернативной энергии составило около 80% от общего бюджета, а к его концу оно возросло до 95%.



(а)

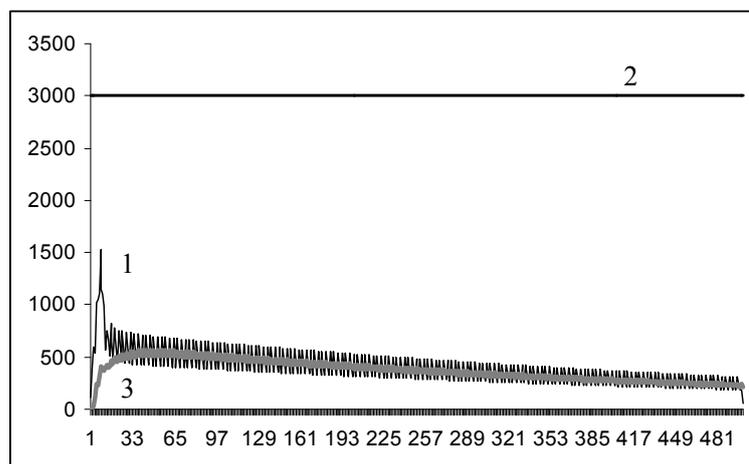


(б)

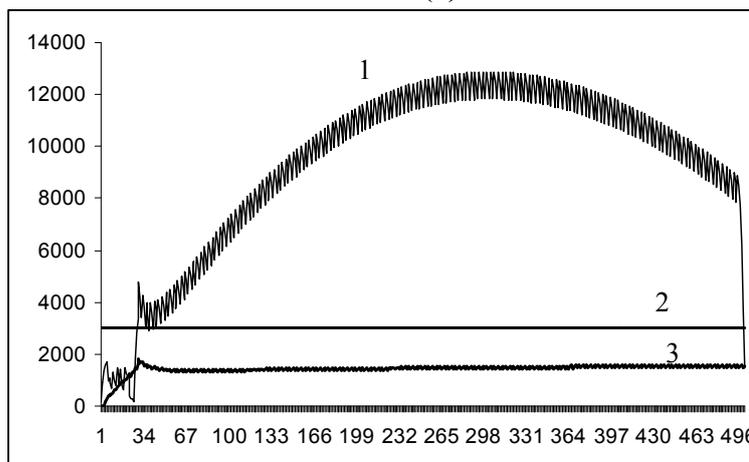
**Рис. 2. Сценарии экономических процессов традиционной (а) и альтернативной (б) энергетики при управлении производством энергии по уровню загрязнения окружающей среды, протекционизме развития ресурсосберегающих технологий и учете уровня экологического сознания населения региона: 1 – спрос, 2 – объемы производства, 3 – стоимость энергии**

Соответствующие изменения произошли и в финансовом положении каждой из отраслей энергетики. В связи с резким сокращением спроса оборотные средства традиционной энергетики значительно снизились, а уровень кредитования сократился. Оборотные средства альтернативной энергетики испытывали бурный рост, а уровень кредитования вырос и составлял примерно половину от предельно допустимого значения (см. сценарии 1 и 3 на рис. 3, б.) Вместе с тем обе системы энергообеспечения продолжали работать и оставались рентабельными. Об этом свидетельствуют сценарии динамики рентабельности производства традиционной (а) и альтернативной энергии (б), которые приведены на рис. 4.

Рис. 5 демонстрирует итоги проведенного имитационного эксперимента. На нем показаны результирующие сценарии стратегического развития региона, как общий итог управления производством традиционной энергии по уровню загрязнения окружающей среды, протекционизма развития ресурсосберегающих технологий и учета уровня экологического сознания населения региона. Как следует из этого рисунка, при использовании до 80% возобновляемой энергии в общем энергетическом бюджете региона уровень загрязнения окружающей среды существенно снижается, а уровень биоразнообразия растёт.

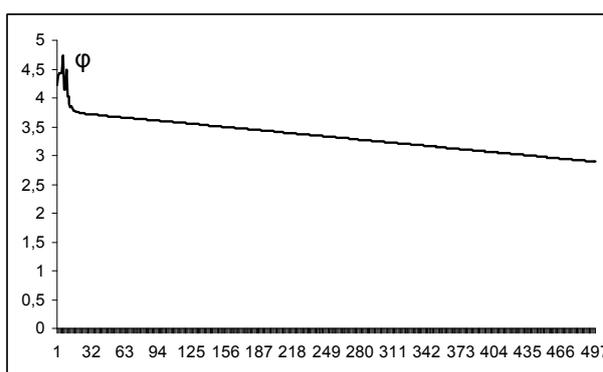


(а)

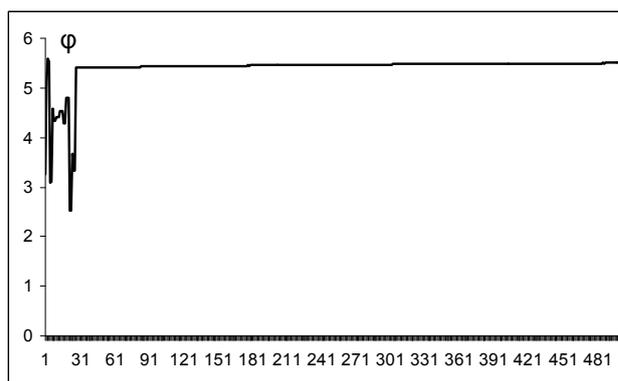


(б)

**Рис. 3. Сценарии экономических процессов традиционной (а) и альтернативной (б) энергетики при управлении производством энергии по уровню загрязнения окружающей среды, протекционизме развития ресурсосберегающих технологий и учете уровня экологического сознания населения региона: 1 – оборотные средства, 2 – предельно допустимый кредит, 3 – накопленный кредит**

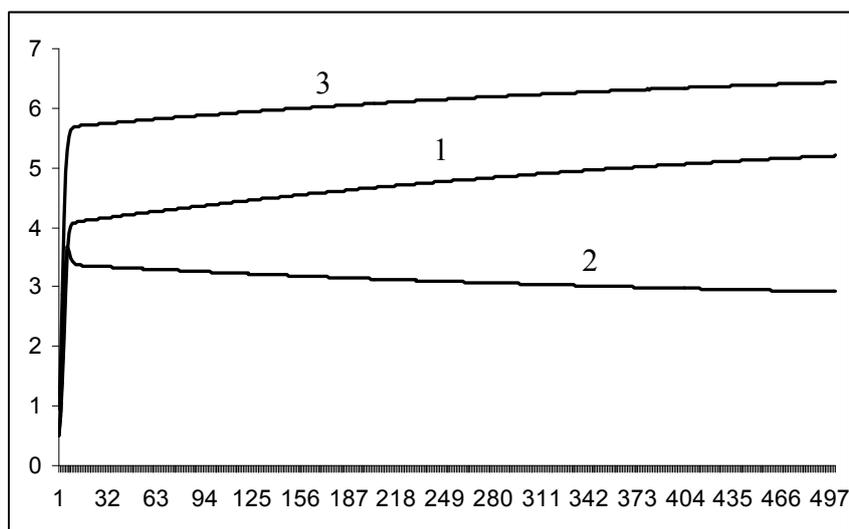


(а)



(б)

**Рис. 4. Динамика рентабельности производства традиционной (а) и альтернативной энергии (б) при управлении производством энергии по уровню загрязнения окружающей среды, протекционизме развития ресурсосберегающих технологий и учете уровня экологического сознания населения региона**



**Рис. 5. Результирующие сценарии стратегического развития региона, как результат управления производством энергии по уровню загрязнения окружающей среды, протекционизма развития ресурсосберегающих технологий и учета уровня экологического сознания населения региона: 1 – уровень загрязнения PI; 2 – уровень биоразнообразия Bd; 3 – уровень экологического сознания населения Es**

### **ВЫВОДЫ**

В эксперименте было исследовано влияние уровня экологического сознания населения на увеличение производства возобновляемой энергии. В этом наиболее общем варианте управления производством энергии население региона делало сознательный выбор в пользу альтернативного энергообеспечения в связи наблюдаемым ростом загрязнения окружающей среды и сокращением уровня ее биоразнообразия. Проведенный анализ позволил получить количественные оценки снижения уровня загрязнения природной среды за счет перевода до 80% энергообеспечения региона на возобновляемые источники энергии.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Тимченко И.Е. Системный анализ ресурсных свойств природной среды / И.Е. Тимченко, Е.М. Игумнова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: Сб.научн.тр. Вып.14/ НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. Редкол.: Иванов В.А. (гл.ред). - 2003.- 235 с.
2. Тимченко И.Е. Эколого-экономическая оценка ресурсных свойств морской среды/ И.Е. Тимченко, Е.М. Игумнова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа Украины. - Севастополь, 2005. - Вып.13. - С. 274 - 290.
3. Тимченко И.Е. Системный менеджмент и ABC- технологии устойчивого развития /И.Е. Тимченко, Е.М. Игумнова, И.И. Тимченко. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. -2004. – 201 с.

**Бекиров Э.А., д.т.н., проф., Романовский И.В., магистрант гр. НВИЭ-531,**  
*Национальная академия природоохранного и курортного строительства,*  
**Колобов С.И., генеральный. директор.**  
*Компания «Greentech Energe».*

## **АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ**

*В работе проводится анализ качества электроэнергии генерируемой солнечной электростанцией в общую энергосистему. По экспериментальным данным напряжений и токов трехфазной системы определены значения коэффициентов гармоник и фазы, рассчитаны значения мощности обратной последовательности высших гармоник, определены коэффициенты несимметрии. На основании полученных данных проведен анализ качества вырабатываемой солнечной электростанцией электрической энергии.*

**солнечная электростанция, энергосистема, несимметрия, высшие гармоники, качество электроэнергии.**

**Введение.** В связи с дефицитом электроэнергии в Автономной Республике Крым (АРК) и благоприятными климатическими условиями за 2011 год в Крыму введено в эксплуатацию несколько солнечных электростанций, генерирующих электроэнергию в общую энергосистему. Суммарная мощность введенных в эксплуатацию генерирующих солнечных электростанций достигает 100 МВт. Солнечная электростанция содержит солнечные батареи, преобразующие энергию солнечного излучения в постоянный ток, линий передачи энергии постоянного тока в преобразовательные устройства, которые преобразуют энергию постоянного тока в энергию переменного трехфазного тока промышленной частоты и через трансформаторы генерируется в единую энергосистему.

**Постановка задачи.** При работе преобразовательных устройств – инверторов, получаем трехфазное напряжение. На рис. 1 приведена структурная схема электропитания СЭС.

Для анализа качества электрической энергии, генерируемой солнечной электростанцией установленной мощностью 7,5 МВт. Сняты осциллограммы токов и напряжений трехфазного тока (рис. 2), построена векторная диаграмма токов и напряжений (рис. 3).

Из осциллограмм токов и напряжений (рис. 2) видно, что они отличаются от синусоидальных, то есть в токах и напряжениях присутствуют высшие гармонические составляющие напряжений и токов. Из векторной диаграммы (рис. 3) наблюдается, что нагрузка несимметричная.

При генерировании СЭС электрической энергии наблюдается следующее: с увеличением активной мощности в дневное время растет и емкостная составляющая реактивной мощности, величина которой во много раз меньше активной энергии. При неработающей СЭС емкостная составляющая реактивной мощности отсутствует, но имеется индуктивная составляющая, наличие которой можно объяснить электрическими линиями и трансформатором.

Основная часть. Измеренные значения напряжений при работе СЭС:

$$U_A=187,8 \text{ В}; \quad U_B=185,9 \text{ В}; \quad U_C=185,6 \text{ В}.$$

$$I_A=830 \text{ А}; \quad I_B=730 \text{ А}; \quad I_C=740 \text{ А}.$$

Полные мощности по фазам:

$$S_A=155874 \text{ ВА}; \quad S_B=135707 \text{ ВА}; \quad S_C=137344 \text{ ВА};$$

и мощность трехфазной системы генерируемой СЭС в энергосистему

$$S=S_A+S_B+S_C=428925 \text{ Вт}=428,925 \text{ кВт}.$$

Расчет энергетических параметров проводим по данным работы СЭС, имеющимся на 2.10.2010г. Активная мощность составляет 2,355 кВт, коэффициент мощности  $\cos \varphi = \frac{P}{S} = 0,54$  Определим активное сопротивление  $R = \frac{P}{I^2} = 0,566 \text{ Ом}$ . По показаниям приборов индуктивная составляющая мощности на тот же момент времени  $Q_L=6000 \text{ Вар}$ , емкостная  $Q=1500 \text{ Вар}$ . Следовательно:

$$x_L = \frac{Q_L}{I^2} = 0,00871 \text{ Ом}; \quad L = \frac{x_L}{\omega} = 0,02 \text{ мГн};$$

$$x_C = \frac{Q_C}{I^2} = 0,218 \text{ Ом}; \quad c = \frac{1}{\omega \cdot x_C} = 14,6 \text{ мФ}.$$

Структурная схема электропитания СЭС представлена на рис. 1.

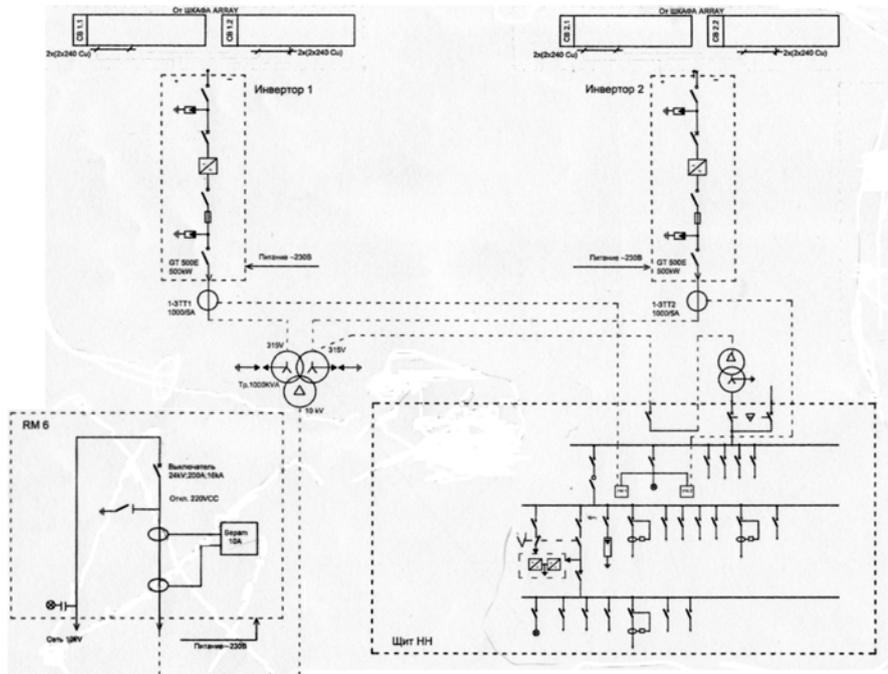


Рис. 1. Структурная схема электропитания СЭС.

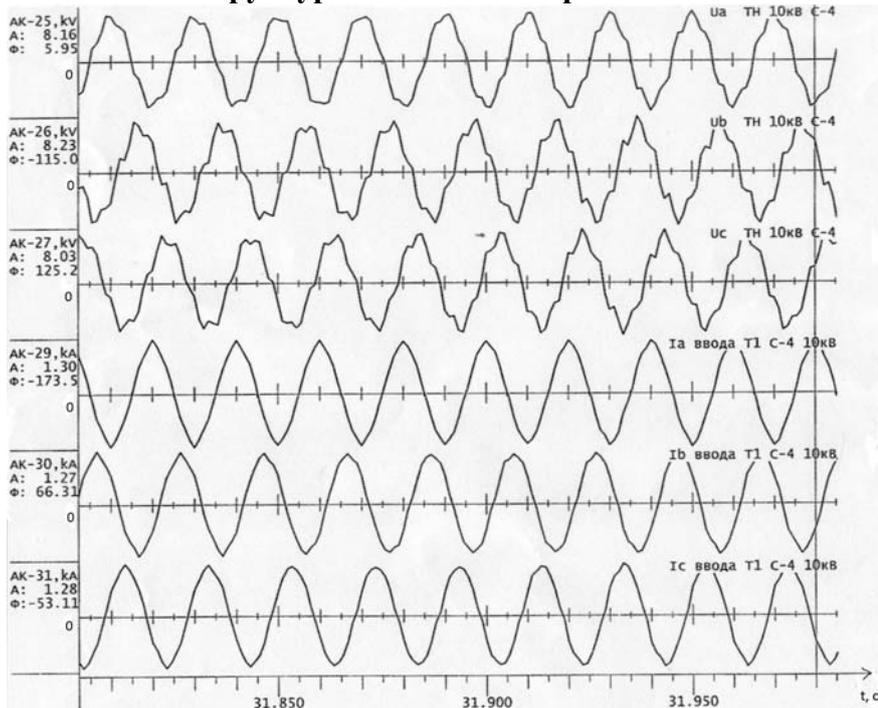


Рис. 2. Осциллограммы напряжений и токов.

Метод исследования. Произведем разложение напряжений и токов по полученным осциллограммам в тригонометрический ряд Эйлера-Фурье. Данные коэффициентов гармоник и углы сдвига фаз для напряжений и токов приведены в таблицах 1–6:

Таблица.1

**Коэффициенты гармоник и начальные фазы гармоник напряжения,  $U_A$**

№	2	3	5	6	8	11	13
$K_r$	0,036	0,017	0,095	0,023	0,012	0,09	0,012
$\delta_i$	-12,2	21,74	7	3,32	3,32	0,89	1,44

Таблица. 2

**Коэффициенты гармоник и начальные фазы гармоник напряжения,  $I_A$**

№	2	3	4	5	6	7	11	13
$K_r$	0,02	0,029	0,015	0,016	0,06	0,017	0,005	0,001
$\delta_i$	15	-1,43	3,3	8,3	-7	0,52	-1,7	-3,46

Таблица.3

**Коэффициенты гармоник и начальные фазы гармоник напряжения,  $U_B$**

№	2	3	4	5	6	7	11	13
$K_r$	0,013	0,013	0,026	0,136	0,017	0,026	0,013	0,025
$\delta_i$	-24,3	24,7	7,8	2,7	2	4,8	-1,9	-0,1

Таблица.4

**Коэффициенты гармоник и начальные фазы гармоник напряжения,  $I_B$**

№	2	3	4	5	6	7	11	13
$K_r$	0,05	0,01	0,019	0,035	0,011	0,016	0,006	0,002
$\delta_i$	3,1	-10,1	3,6	-1,8	8,6	2,39	-0,88	-1,33

Таблица.5

**Коэффициенты гармоник и начальные фазы гармоник напряжения,  $U_C$**

№	2	3	5	6	7	8	11	13
$K_r$	0,006	0,02	0,122	0,024	0,018	0,017	0,019	0,021
$\delta_i$	-19,5	-26,1	-0,01	-2,65	-11,4	-0,82	-1,8	0,51

Таблица.6

**Коэффициенты гармоник и начальные фазы гармоник напряжения,  $I_C$**

№	2	3	5	6	7	8	11	13
$K_r$	0,042	0,013	0,024	0,016	0,014	0,012	0,005	0,006
$\delta_i$	-2,12	4,14	-10,1	13,8	3,74	-4,7	-2,57	4,98

В таблицах приведены значения, имеющие наибольшую величину, из которых видно, что наиболее значимые в секторе высших гармонических составляющих являются 2,3,5,11 и 13 гармоники.

По полученным данным определяем активные мощности высших гармоник.

$$P_v = \sum_{i=2}^{13} P_v = \sum_{i=2}^{13} U_v I_v \cos \delta_v \quad (1)$$

Для фазы А по формуле:

$$P_{vA} = U_{2A} I_{2A} \cos(\delta_{U_{2A}} - \delta_{I_{2A}}) + U_{3A} I_{3A} \cos(\delta_{U_{3A}} - \delta_{I_{3A}}) + \dots + U_{13A} I_{13A} \cos(\delta_{U_{13A}} - \delta_{I_{13A}}) \quad (2)$$

рассчитано, что  $P_{vA} = 4,8$  кВт, что составляет  $P_{vA} = 0,31\%$  от всей активной мощности фазы А, генерируемой в энергосистему.

Аналогично, рассчитаем значения  $P_{vB}$  и  $P_{vC}$ , которые составляют  $P_{vB}=10,104$  кВт, что составляет 0,76% от всей активной мощности и  $P_{vC} 5,999$  кВт, что составляет 0,44% от генерируемой активной мощности.

При наличии высших гармонических составляющих в кривых токов и напряжений происходит ускоренное старение изоляции в результате повышенного нагрева, а также возникновение необратимых физико-химических процессов, протекающих под воздействием полей высших гармоник. Дополнительный нагрев изоляции обмотки силового трансформатора можно найти из уравнения:

$$\Delta\tau_T = 0,6\tau_T \sum_{v=2}^n k_{iv}^2 k_{Rv} \quad (3)$$

где  $k_{iv}$  - относительное значение  $v$ -ой гармоники тока, проходящего через трансформатор;

$k_{Rv}$  - коэффициент, учитывающий возрастание сопротивления обмоток вследствие поверхностного эффекта; приближенно можно считать  $k_{Rv} = \sqrt{v}$ ;

$\tau_T$  - температура перегрева изоляции при синусоидальном режиме.

Активные потери в сети на частотах высших гармоник приближенно равны:

$$\Delta P_v = 3I_v^2 R \sqrt{v} \quad (4)$$

Оценивая эквивалентное активное сопротивление сети величиной

$$R = k_{Rv} \cdot x_k; \quad (5)$$

где  $x_k$  - сопротивление короткого замыкания при частоте 50 Гц, из (4) получаем

$$\Delta P_v = k_{Rv} S_k \sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \cdot 10^{-3}; \quad (6)$$

где  $S_k$  – мощность короткого замыкания сети на шинах нелинейной нагрузки, МВА.

Расчетное выражение для оценки ущерба, гр/год, обусловленного дополнительными потерями мощности и сокращением срока службы изоляции электрооборудования при стоимости электроэнергии  $\beta=0,365$  гр/(кВтч) и работе в течение времени  $T$  определяется согласно выражения:

$$Y = (AT\Delta P_{ном} + BK) \sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \quad (7)$$

где,  $P_{ном}$  – номинальные потери в электрооборудовании по паспортным данным;

$k$  – капитальные затраты на электрооборудование.

Значения коэффициентов  $A$  и  $B$  для ТУ:

35 кВт	$A=695$	$B=10$
0,4 кВт	$A=640$	$B=1,3$

Для батарей конденсаторов номинальной мощностью  $Q_{ном.}(б.к)$  при наличии батареи конденсаторов для увеличения коэффициента (б.к) мощности, величина  $Y$  определяется по формуле.

$$Y = CQ_{ном} (б.к.) \sum_{v=2}^n vU_v^2 \quad (8)$$

где,  $C=1,7$  при  $U_{ном}=0,4$  кВ;  $C=1,1$  при  $U_{ном}=6-10$  кВ

При генерации электрической энергии на СЭС применяются трехфазные мостовые полупроводниковые преобразователи.

Рассмотрим амплитудный спектр сетевого тока мостового преобразователя. Преобразователи работают на активно-индуктивную нагрузку. Форма кривой сетевого тока при соединении обмотки трансформатора преобразователя в звезду зависит от угла управления  $\alpha$ , задаваемого системой импульсно-фазового управления, и угла коммутации  $\gamma$  определяемого по выражению:

$$\gamma = \arccos(\cos \alpha - I_a x_k) \quad (9)$$

где,  $I_d$  - относительно значение постоянного тока;

$x_k$  - относительное значение индуктивного сопротивления контура коммутации, приведенное к мощности трансформатора преобразователя.

На уровень гармоник тока, генерируемых преобразователем, существенно влияют отклонения напряжения. В переходных режимах работы преобразователя сохраняется то же соотношение между значениями высших гармоник сетевых токов, что и в установившемся. Однако появляются гармоники кратные 3-м с амплитудой до 0,6% амплитуды тока основной частоты и четные гармоники, в первую очередь 2-я и 4-я, с амплитудой до 2%.

Мостовые преобразователи при несимметричном управлении генерируют как нечетные, так и четные гармоники. Относительные значения их, если пренебречь значениями углов коммутации, с достаточной для практических целей точностью можно определять по выражениям:

$$I_v = \frac{1}{v} \frac{\left| \sin \frac{v\alpha}{2} \right|}{\cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (10)$$

при  $v=2;4;6$

$$I_v = \frac{1}{v} \frac{\left| \cos \frac{v\alpha}{2} \right|}{\cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (11)$$

при  $v=5;7;11$

Силовые трансформаторы являются источниками высших гармоник намагничивающего тока. Вследствие несимметрии магнитопровода трехфазных трехстержневых трансформаторов действующие значения намагничивающих токов крайних фаз в 1,3-1,35 раз больше намагничивающего тока средней фазы. По той же причине в намагничивающих токах имеются все нечетные гармоники, в том числе и кратные трем. Эти гармоники образуют системы прямой и обратной последовательностей. Наибольший удельный вес, кроме основной, имеют 3,5,7,11 и 13 гармоники. Кроме генерирования высших гармоник в системе электрогенерирования электрической энергии СЭС в общую энергосистему при подключении и отключении происходит резкопеременный характер изменения нагрузки, обуславливающий колебания напряжения в сети.

Частная характеристика входного сопротивления энергосистем со стороны узлов  $Z_{вх}=f(v)$  представляет собой непериодическую кривую с чередующимися максимумами и минимумами. Число экстремумов не имеет прямой связи с числом реактивных элементов, что свойственно цепям с сосредоточенными параметрами согласно теореме Фостера [1] – это объясняется распределенностью активных и реактивных сопротивлений энергосистемы на частотах гармоник. На частотах гармоник, ориентировочно до 5-7 порядков положения экстремумов существенно изменяется при включениях или отключениях линий электропередачи. Аналитическое определение именно этих экстремумов весьма важно для правильного выбора фильтров.

При несинусоидальности напряжения сети (3÷5)% при  $v=5;7$  и (12÷17)% при  $v=11;13$  погрешность обусловлена возрастанием угла коммутации IGBT транзисторов на 1-5°.

На практике получил распространение метод непосредственного определения коэффициента  $k_{нс}$  при работе преобразователя. Этот метод основывается на гармоническом анализе коммутационных импульсов фазного или линейного напряжения одиночного или группы согласованно работающих преобразователей. В этом случае

сопротивление питающей энергосистемы предполагается индуктивным и чисто линейным.

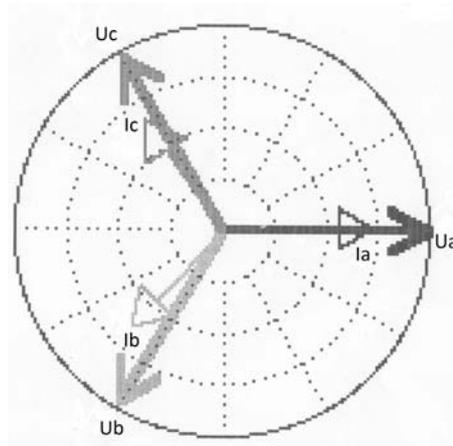
Чем выше порядок гармоники, тем большее сопротивление току представляет одно и то же индуктивное сопротивление. Поэтому амплитуды гармоник тока будут уменьшаться обратно пропорционально порядку гармоники и высокие гармоники тока могут стать невыявленными в общей форме тока, хотя в напряжении присутствуют. Чем выше порядок гармоники, тем меньшее сопротивление току представляет один и тот же конденсатор. Поэтому амплитуды гармоник тока будут увеличиваться пропорционально порядку гармоники и выявляться в общей форме тока в большей степени, чем в кривой напряжения.

Одним из перспективных способов снижения несинусоидальности в электрических сетях является улучшение формы кривой сетевого тока преобразователей. Этого можно достичь компенсацией высших гармоник магнитного потока трансформатора преобразователя, наложением токов 3, 9, 15-й и гармоник более высших порядков на токи обмоток трансформатора или обеспечением специальных законов управления преобразователями, например, регулированием угла коммутации и установлением одинаковых значений угла IGBT транзисторов трехфазного инвертора. Введение тока 3-ей или кратной трем нечетной гармоники возможно в мостовых схемах преобразователей, в том числе схемах с уравнительным реактором. Изменяя значение и фазу наложенного тока, можно снизить до нуля ту или иную гармонику сетевого тока (5-ю, 7-ю) при одновременном существенном уменьшении значений остальных гармоник. Источником наложенного тока для мощных преобразователей используются синхронные генераторы.

При работе преобразовательных устройств в режиме генерации электрической энергии солнечных батарей в общую энергосистему наблюдается некоторая несимметрия напряжения (рис. 3).

$U_{AB}=324,5 \text{ В}$
$U_A=187,8 \text{ В}$
$I_A=830 \text{ А}$
$\varphi_A=2^\circ$
$U_{BC}=320 \text{ В}$
$U_B=185,9 \text{ В}$
$I_B=730 \text{ А}$
$\varphi_B=-12^\circ$
$U_{CA}=324 \text{ В}$
$U_C=185,6 \text{ В}$
$I_C=740 \text{ А}$
$\varphi_C=6^\circ$

$f=50 \text{ Гц}$



**Рис.3. Векторная диаграмма напряжений и токов.**

Несимметрия напряжения не оказывает заметного влияния на работу воздушных и кабельных линий, в то же время нагрев трансформаторов и, следовательно, сокращение срока их службы могут оказаться существенными. Согласно расчетам при номинальной нагрузке трансформатора и коэффициента несимметрии токов равным 0,1 срок службы изоляции трансформатора сокращается на 16%.

Согласно осциллограммам напряжений и токов трехфазной системы определим активные и реактивные мощности трехфазной системы основной гармоники.

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A = 187,8 \cdot 830 \cdot \cos 2^\circ = 155779 \text{ В} = 155,779 \text{ кВт}$$

$$P_B = U_B I_B \cos \varphi_B = 185,8 \cdot 730 \cdot \cos(-12^\circ) = 132670 \text{ В} = 132,67 \text{ кВт}$$

$$P_C = U_C I_C \cos \varphi_C = 185,5 \cdot 740 \cdot \cos 6^\circ = 136518 \text{ В} = 136,518 \text{ кВт}$$

$$Q_A = U_A I_A \sin \varphi_A = 187,8 \cdot 830 \cdot \sin 2^\circ = 5440 \text{ ВАр} = 5,44 \text{ кВАр}$$

$$Q_B = U_B I_B \sin \varphi_B = 185,8 \cdot 730 \cdot \sin(-12^\circ) = -28200 \text{ ВАр} = -28,2 \text{ кВАр}$$

$$Q_C = U_C I_C \sin \varphi_C = 185,5 \cdot 740 \cdot \sin 6^\circ = 14348 \text{ВАр} = 14,348 \text{кВАр}$$

Мощность трехфазной системы:

$$P = P_A + P_B + P_C = 424967 \text{Вт} \approx 425 \text{кВт}$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = 5440 - 28200 + 14348 = -8412 \text{ВАр} = -8,412 \text{кВАр}$$

По фазам А и С нагрузка имеет индуктивный характер, а по фазе В – емкостной. Полная мощность СЭС, представленная в комплексной форме записи, имеет вид:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 425,08 \text{кВт}$$

$$\varphi = \arctg \frac{-8412}{425000} = -1,13^\circ$$

$$S = 425,08 e^{-j1,13} \text{кВА}$$

Степень приближения формы кривой напряжения и тока к синусоидальной оценим значением коэффициента нелинейных искажений:

$$k_{н.и.} = \sqrt{\frac{(U)}{(U_1)}} - 1; \quad (12)$$

где,  $U$  – действующее значение напряжения;

$U_1$  – действующее значение его основной гармоники.

Коэффициенты нелинейных искажений составляют:  $U_A k_{н.и.А} = 2,3\%$ ;

$U_B k_{н.и.В} = 1,9\%$ ;  $U_C k_{н.и.С} = 2,22\%$ .

Определим полные сопротивления фаз:

$$\underline{Z}_A = \frac{\dot{U}_A}{\dot{I}_A} = 0,2263 e^{j2^\circ} = 0,2262 + j0,079 [\text{Ом}]$$

$$\underline{Z}_B = \frac{\dot{U}_B}{\dot{I}_B} = 0,2545 e^{-j12^\circ} = 0,2489 - j0,0529 [\text{Ом}]$$

$$\underline{Z}_C = \frac{\dot{U}_C}{\dot{I}_C} = 0,2507 e^{j6^\circ} = 0,2493 + j0,0262 [\text{Ом}]$$

Несимметричная нагрузка энергосистем обуславливает несимметричные потери напряжения в ее элементах и в результате приводит к появлению несимметрии напряжения у трехфазных потребителей.

Практически большое значение имеет относительный коэффициент несимметрии тока, представляющий собой отношение модуля тока обратной последовательности к номинальному току преобразователя, для которой оценивается влияние токов обратной последовательности.

$$\alpha_{U_A} = \frac{U_{2A}}{U_{1A}} = 0,011$$

$$\alpha_{U_B} = \frac{U_{2B}}{U_{1B}} = 0,011$$

$$\alpha_{U_C} = \frac{U_{2C}}{U_{1C}} = 0,003$$

При одном и том же коэффициенте несимметрии напряжений  $\alpha_U = \frac{U_2}{U_{ном}}$  угол  $\psi$  между составляющими прямой и обратной последовательности одноименных фаз может быть различным. В наихудшем случае, когда токи прямой и обратной последовательностей совпадут по фазе, суммарный ток не должен превосходить номинального:

$$I_1 + I_2 = I_{ном}$$

Из вышеизложенного:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_2} = \alpha_U \frac{\dot{U}_{1ном}}{\underline{Z}_2} \quad (13)$$

По фазам:

$$\text{“А” } \dot{I}_{2A} = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_{2A}} = \alpha_{UA} \frac{\dot{U}_{2Ано}}{\underline{Z}_A} = 12,833e^{-j2^\circ} [A]$$

$$\text{“В” } \dot{I}_{2B} = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_{2B}} = \alpha_{UB} \frac{\dot{U}_{2Вно}}{\underline{Z}_B} = 11,32e^{j12^\circ} [A]$$

$$\text{“С” } \dot{I}_{2C} = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_{2C}} = \alpha_{UC} \frac{\dot{U}_{2Сно}}{\underline{Z}_C} = 3,795e^{j6^\circ} [A]$$

Сопровитвления обратной последовательности составляют:

$$\underline{Z}_{2A} = \frac{(U_{5A} + U_{11A})}{(I_{5A} + I_{11A})} = 0,2263 [Ом]$$

$$\underline{Z}_{2B} = \frac{(U_{5B} + U_{11B})}{(I_{5B} + I_{11B})} = 0,2546 [Ом]$$

$$\underline{Z}_{2C} = \frac{(U_{5C} + U_{11C})}{(I_{5C} + I_{11C})} = 0,2061 [Ом]$$

Если коэффициент мощности для прямой последовательности получается близким к единице, то для обратной последовательности он близок к нулю.

Обозначив кратность тока короткого замыкания (по отношению к начальному току) через  $\beta$  [Маркв.] имеем:

$$\frac{I_1}{I_{1ном}} = 1 - \alpha_U \beta \quad (14)$$

Из справочных данных [2] при значении  $\alpha_U=0,1$   $\beta=4$ .

Для условий изменяющейся нагрузки при подключении СЭС в питающую энергосистему значение и угол несимметрии напряжения будут все время изменяться и различные фазы поочередно будут загружаться то больше, то меньше.

Эмпирическая формула [2] дает допустимую нагрузку в виде

$$P_{доп} = P_{ном} \frac{\sqrt{1 - \alpha_U^2 \beta^2}}{1 + \alpha_U^2 U^2} 425 \frac{\sqrt{1 - 0,16}}{1 + 0,16} = 335,8 кВт$$

При симметричной системе напряжений и несимметричной системе токов средняя (активная) мощность определяется токами прямой последовательности, а колеблющаяся – токами обратной последовательности.

Амплитуда колеблющейся части мощности:

$$P_m'' = 3UI_2 \quad (15)$$

Полная мощность:

$$S = 3UI_1 \quad (16)$$

Найдем степень неуравновешенности по фазам:

$$\alpha_A = \frac{P_m''}{S} = \frac{3UI_2}{3UI_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{12,833}{830} = 0,0155$$

$$\alpha_B = \frac{11,32}{730} = 0,0155$$

$$\alpha_C = \frac{3,795}{740} = 0,0051$$

При трехфазной симметричной системе напряжений и несимметричной системе токов степень неуровновешенности мощности равняется коэффициенту несимметрии токов.

Мощность несимметричной нагрузки трехфазной цепи может быть представлена в виде двух частей – постоянной и изменяющейся по синусоидальному закону и никакие схемы трансформаторов не могут неравномерную нагрузку трехфазной системы обратить в равномерную. Напряжение обратной последовательности образуется вследствие несимметричных по фазам падений напряжения, оно больше всего в сети около потребителя (источника) несимметричной нагрузки и уменьшается по мере удаления от него. При бесконечно большой мощности энергосистемы напряжения обратной последовательности на ее шинах будет равно нулю.

Понижение напряжения вызывает уменьшение мощности и общей активной мощности. При этом понижаются электрический к.п.д. и коэффициент мощности, и ухудшаются экономические показатели работы.

Так как основная мощность всей станции

$$P = \frac{U^2}{R^2 + x^2} R, \quad (17)$$

Где  $R, x$  – активное и реактивное сопротивление всей станции и максимум этой мощности.

$$P_m = \frac{U^2}{2x}, \quad (18)$$

то активная мощность с понижением напряжения уменьшается пропорционально квадрату величин напряжения.

С изменением напряжения меняется и мощность в энергосистеме.

$$P_{cucm} = \frac{U^2}{R^2 + x^2} (R - r), \quad (19)$$

где  $r$  – активное сопротивление проводящей сети.

Максимальная активная мощность генерации:

$$P_{cucm} = \frac{U^2}{2} \frac{1}{\sqrt{r^2 + x^2} + r}, \quad (20)$$

Величина тока, при которой будет иметь место максимальная мощность генерации

$$I_{cucm..Pm} = \frac{U}{\sqrt{2Z}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r}{Z}}}, \quad (21)$$

где  $Z = \sqrt{r^2 + x^2}$

Величина тока, соответствующая минимальному значению генерируемой электроэнергии

$$I = \frac{U}{\sqrt{2x}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_n}{U^2 \frac{r}{x^2} + \rho_n}}, \quad (22)$$

где  $\rho_n$  - потеря электроэнергии на преобразовательных устройствах

Проведем анализ графиков нагрузки. Из суточного графика нагрузки определяем коэффициент отношения минимальной нагрузки к максимальной:

$$\beta = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \frac{759}{6126} = 0,1227$$

Площадь графика представляет собой электрическую энергию в течение суток  $W$ , кВт\*ч. Среднее значение  $W_{\text{ср}}=3755,3$  кВт\*ч. Минимальную мощность  $P_{\min}$  необходимо знать при анализе режима напряжения.

Среднее значение мощности за сутки:

$$P_C = \frac{W_C}{T} = \frac{3755,3}{24} = 156,47 \text{ кВт}$$

Среднеквадратичная мощность:

$$P_{СК} = P_{эф} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum P_i^2 \cdot \Delta t} = \sqrt{\frac{1}{24} [P_1^2 \cdot \Delta t_1 + P_2^2 \cdot \Delta t_2 + \dots + P_{30}^2 \cdot \Delta t]} = \sqrt{\frac{1}{24} \cdot 538185,25} = 4735,44 \text{ кВт}$$

используется при определении мощности потерь.

### ВЫВОДЫ

1. Произведен анализ высших гармонических напряжений и токов, рассчитаны коэффициенты гармонических составляющих напряжений и токов и их фазы, определены потери мощности при работе солнечной электростанции.
2. Определены коэффициенты несимметрии токов и напряжений, степень неуравновешенности мощностей по фазам. Оценено влияние токов обратной последовательности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зевекс Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. Изд. 4-е, М., «Энергия», 1975, 751с., ил.
2. Марквардт К.Г., Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М, «Транспорт», 1982, 528 с., ил.
3. Зорин В.В., Тисленко В.В. Системы электроснабжения общего назначения. – Чернигов, 1978, - 3-е изд., - 336 с., ил.
4. Смирнов А.Д. Справочная книжка энергетика. – М., «Энергия», 1978, 3-е изд., - 336 с., ил.
5. Бекиров Е.А. Автономні джерела електроживлення на базі сонячних батарей. – Симферополь. ВД «АРИАЛ», 2011. – 484 с.
6. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – 2-е изд., М., Энергоатомиздат, 1986. – 168 с., ил.
7. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 2-е изд. – М.; Энергоатомиздат, 1984. – 160 с., ил.
8. Супронович Г.А. «Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок», М.: Энергоатомиздат, 1985, 136 с., ил.
9. Данцис Я.Б., Жилов Г.М. Емкостная компенсация реактивных нагрузок мощных токоприемников промышленных предприятий. – Л., «Энергия», Ленингр. отд., 1980. – 176 с., ил.

УДК 502.174.3: 620.92 (477.75)

**Бекиров Э.А., д.т.н., проф., Калачик Ю., магистр гр. НВИЭ-531.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства.*

### УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КРЫМА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

*В работе проведен анализ энергопотребления в Крыму, приведены перспективные и прогнозные данные повышения энергетического потенциала Крыма при использовании возобновляемых источников энергии.*

**энергетический потенциал, мощность, возобновляемые источники энергии.**

Для успешного развития экономики АР Крым особенно важным является энергообеспеченность и энергосбережение, что характеризуется зависимостью от топливно-энергетической базы с необходимостью положительной динамики в деятельности

предприятий. Запасы топлива ресурсов традиционных источников в Крыму небольшие. Перспектива ускоренного развития возобновляемых источников энергии обусловлена не только небольшими природными запасами, а экономическими целесообразными условиями эксплуатации установок по использованию возобновляемых источников энергии.

Энергетическая проблема в последние годы превратилась из сугубо экономической в наиглавнейший вопрос национальной безопасности Украины, поэтому одним из перспективных направлений повышения энергетического потенциала Крыма является использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Приоритетными направлениями по экономии топливно-энергетическим ресурсов за счет использования возобновляемых источников энергии в Крыму являются: развитие ветроэнергетики, строительство солнечных и геотермальных установок, малой гидроэнергетики.

На Украине в 2009 году с принятием изменений в закон Украины «Об электроэнергетике для стимулирования производства альтернативных источников энергии» (Закон Украины №1220-VI). Несмотря на то, что постановление о тарифе было принято в 2009 году, до осени 2010 года рынок находился в состоянии ожидания из-за неуверенности инвесторов в работоспособности тарифа. Однако после ввода двух солнечных электростанций в Крыму, а затем одной в Винницкой области, инвестиционный интерес в значительной мере возрос.

Зеленый тариф должен стать главным инструментом реализации государственной экономической программы энергоэффективности на 2010-2015 гг. Программа была утверждена Кабинетом Министров в марте 2010 года и первоначально предусматривала к 2015 году долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем объеме электропотребления – не менее 5%. В апреле 2011 года Программа была пересмотрена в сторону увеличения, и целевой показатель вырос до 10%. Зеленый тариф регулируется ежемесячно Национальной комиссией регуляции электроэнергии (НКРЭ). По состоянию на июль 2011 года тариф для солнечной энергетики составлял 534,01 коп/кВт·ч. (0,67\$ за кВт·ч) без НДС для промышленных станций. Величина украинского «зеленого тарифа» в настоящее время является одной из наиболее значимых в Европе. Срок действия рассчитан до 2030 года. В этот период государство обязано беспрепятственно подключать объекты альтернативной генерации к электросети.

Строительство ветро- и солнечных станций на Украине суммарной мощностью до 2 ГВт в 2010 году было определено в числе десяти приоритетных национальных проектов. Доля материалов и комплектующих украинского производства в солнечных модулях должна составлять не менее 30% с 1.01.2013 г., и не менее 50% с 1.01.2014 г. Ввиду дефицита украинских производственных мощностей, может затормозиться прогресс в области строительства новых станций.

Введение «зеленого» тарифа стало мощным стимулом развития промышленной генерации электроэнергии на базе солнечных батарей в Украине. Крым выбран инвесторами не случайно, так как регион характеризуется наилучшими показателями инсоляции, в Крыму существует ощутимый дефицит электроэнергии. Общая электрогенерация солнечными электростанциями в регионе составляет 50 МВт при пиковом потреблении 1 ГВт.

Энергосети обязаны согласно Закону о «Зеленом» тарифе «забирать» всю электроэнергию, выработанную на электростанциях, работающих за счет возобновляемых источников энергии. Величина «зеленого» тарифа для ветроэлектростанций мощностью свыше 2 МВт составляет не менее 1,25 грн. за 1 кВт·ч.

В промышленной разработке на Украине находится свыше 250 нефтяных и газовых месторождений, большинство из них имеют начальные добываемые запасы природного газа – 1,2 млрд. м<sup>3</sup>, нефти – 700 тыс.т. Шесть крупнейших нефтяных месторождений, имеющих начальные балансовые запасы свыше 35 млн.т. обеспечивают около 20% всей добычи нефти в Украине. По природному газу есть четыре крупнейших месторождений с начальными балансовыми запасами свыше 100 млрд. м<sup>3</sup>, где добывается около 24% всего объема. При этом доля крупнейших месторождений в общей добыче углеводородов с

каждым годом уменьшается. К труднодобываемым относятся более 70% запасов нефти и 15% запасов природного газа в Украине. 43% газовых месторождений имеют начальные добываемые запасы менее 1 млрд. м<sup>3</sup>, 88% нефтяных месторождений – с запасами менее 1 млн. т. и по современной классификации относятся к «очень мелким».

Собственная добыча природного газа в 2011 году на Украине составляла 20,7 млрд. м<sup>3</sup> при потребности 62 млрд. м<sup>3</sup>, в Крыму 1,055 млрд. м<sup>3</sup>; нефти на Украине – 4,5 млн.т.

В АР Крым на 20 месторождениях (на суше) подсчитаны балансовые запасы газа в количестве 16,458 млрд. м<sup>3</sup> (1,5% от запасов в Украине). На 4 месторождениях подсчитаны запасы нефтегаза в количестве 0,349 млрд. м<sup>3</sup>. Балансовые запасы нефти (суша + шельф) на 13 нефтяных, нефтегазовых и газовых месторождениях в количестве 11,494 млн. т. (6,02% от запасов в Украине). Газовый конденсат, подсчитанный на 4 объектах суши в количестве балансовых запасов 1,486 млн. т (2,1% от запасов в Украине). Запасы конденсата двух морских месторождений составляют 0,689 млн. т.

В промышленной разработке месторождений в стадии разведки – 27, в консервации – 1, подготовлены к промышленному освоению – 5. Кроме того, в границах территории Крыма и шельфа в наличии 42 (14 – на суше, 28 – шельф) нефтегазовых объектов с перспективными ресурсами газа – 288,957 млрд. м<sup>3</sup>, из них: на суше – 24,23 млрд. м<sup>3</sup>, на шельфе – 264,727 млрд. м<sup>3</sup>, нефти – 3,532 млн. т. (суша) и 0,631 млн. т. – шельф. Перспективы развития нефтегазодобывающей отрасли в Крыму связаны с акваториями Черного и Азовского морей – имеются 12 морских добывающих платформ. На 15 месторождениях шельфа запасы природного газа составляют 48,693 млрд. м<sup>3</sup>.

Прогнозная динамика добычи природного газа и нефти представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Прогнозная динамика добычи**

Ресурс	2012	2013	2014	2015	2020
Природный газ, м <sup>3</sup>	19,447	19,778	19,958	20,098	20,1397
Нефть и газовый конденсат, млн. т.	3,21	3,2305	3,439	3,255	3,298

В таблице 2 приводятся данные потребления топливно-энергетических ресурсов и собственная генерация в АР Крым.

Таблица 2

**Потребление топливно-энергетических ресурсов и собственная генерация (добыча топливно-энергетических ресурсов) в 2010 г.**

Ресурс	Потребление энергетических ресурсов	Собственная генерация (добыча топливно-энергетических ресурсов)	Соотношение потребления и добычи (генерация),%
Природный газ, млрд. м <sup>3</sup>	1,6757	1,2114	73,6
Нефть, тыс. т.	-	10,1	-
Нефтепродукты, тыс. т.	361,3	-	-
Бензин, тыс. т.	160	-	4,2
Диз.топливо, тыс. т.	180	-	12,1
Мазут, тыс. т.	21,3	-	1,7
Уголь, тыс. т.	76,1	-	6,0
Электроэнергия, млрд. кВт·ч	3,2	563,21 млн. кВт·ч Крым ТЭЦ Ветроэлектростанциями 28,74 млн. кВт·ч Солнечными электростанциями 1,5 млн. кВт·ч	17,6 - 14,37 0,3

В таблице 3 приведены мощности электростанций и выработка электроэнергии.

Таблица 3

**Мощности электростанций и выработка электростанций**

Годы	Все электростанции		В том числе				
			Тепловые		%	Нетрадиционные источники энергии	
	Мощность, тыс. кВт	Выработка Эл. энергии, млн. кВт·год	Мощность, тыс. кВт	Выработка Эл. энергии, млн. кВт·год		Мощность, тыс. кВт	Выработка Эл. энергии, млн. кВт·год
2009	246,0	584,3	183,6	549,7	94,1	62,4	34,6
2010	244,8	842,0	179,9	801,7	95,2	64,9	40,3

Динамика выработки электроэнергии разными типами электростанций приведена на рис. 1 (млн. кВт·год)

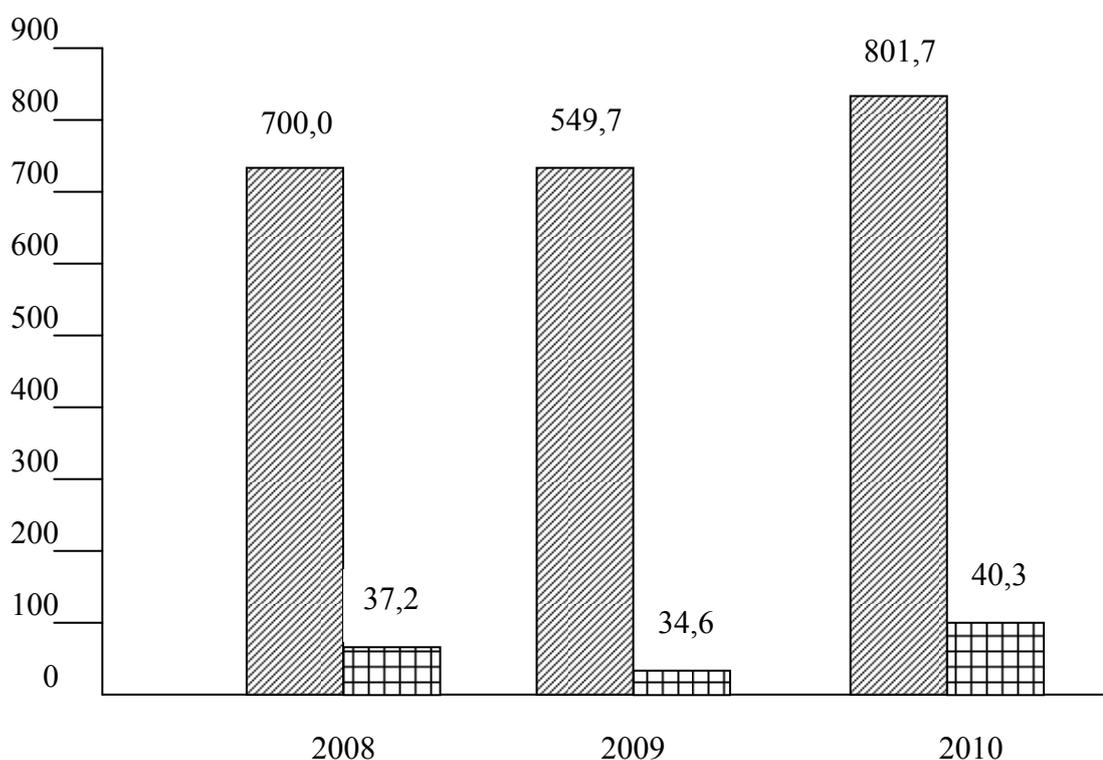


Рис. 1. Динамика выработки электроэнергии разными типами электростанций



тепловые электростанции



ветровые электростанции

Структура потребления энергетических ресурсов в АР Крым за 2010 год составляет: промышленностью – 40,2%, сельским хозяйством – 3,9%, населением – 46,2%, социальной сферой – 2,3%, прочими – 7,4%.

При использовании возобновляемой энергетики годовой технически достижимый потенциал в АР Крым показан в таблице 4.

Таблица 4

**Использование нетрадиционных источников энергии**

	2008	2009	2010
Всего по АР Крым, т.у.т.	14760	14335	17055
Ветроагрегаты, всего			
Количество	520	520	544
Производство электроэнергии, кВт/год	35281000	33936000	40604000
Условная экономия, т.у.т.	11466	11029	13196
В том числе: ГП «Донузлавская ВЭС»			
Количество	101	101	101
Производство электроэнергии, кВт/год	3852000	2274000	2299000
Условная экономия, т.у.т.	1352	798	807
Сакская ВЭС			
Количество	179	179	181
Производство электроэнергии, кВт/год	12009000	1271000	14865000
Условная экономия, т.у.т.	4215	4553	5218
Тарханкутская ВЭС			
Количество	130	130	132
Производство электроэнергии, кВт/год	13229000	12020000	12881000
Условная экономия, т.у.т.	4299	3907	4186
Гелиоколлекторы			
Площадь гелиополя, м <sup>2</sup>	17961	18051	22014
Условная экономия, т.у.т.	2502	2514	3066
Мини ГЭС			
Номинальная мощность, кВт	262	262	262
Производство электроэнергии, кВт/год	1432600	1432600	1432600
Условная экономия, т.у.т.	503	503	503
Родниковская СЭС			
Номинальная мощность, кВт			7500
Производство электроэнергии, кВт/год			1500000
Условная экономия, т.у.т.			520

Одним из перспективных направлений повышения энергетического потенциала Крыма является использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Кабинетом Министров Украины принята программа энергосбережения в АР Крым на 2010-2014 годы, цель программы является:

- повышение энергоэффективности в основных сферах экономики АР Крым;
- формирование организационно-технических мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов;
- использование в качестве первичных энергоресурсов разных видов возобновляемых источников энергии.

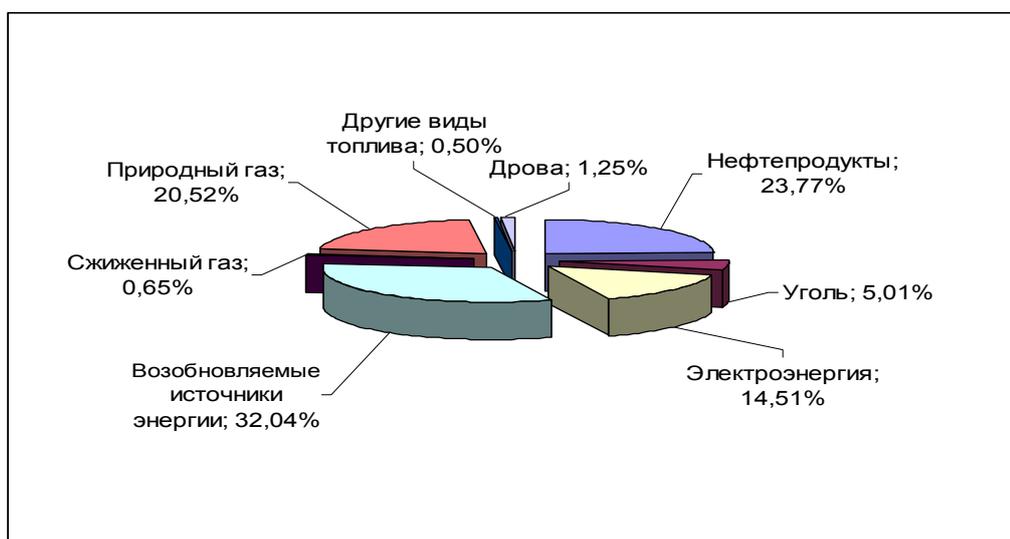
Для Крыма наиболее перспективным является использование энергии ветра и солнца и экономически целесообразный энергетический потенциал возобновляемых источников энергии представлен в таблице 5.

Таблица 5

**Экономически-целесообразный энергетический потенциал возобновляемых источников энергии в Автономной Республике Крым**

Направления освоения ВИЭ	Экономически-целесообразный энергетический потенциал, тыс. у.т.					
	2010-2014	2010	2011	2012	2013	2014
Солнечная энергетика	518,0	10,0	57,0	143,0	150,0	158,0
Ветроэнергетика	4251,0	109,0	863,0	1041,0	1093,0	1145,0
Малая гидроэнергетика	2,1	-	0,3	0,6	0,6	0,6
Геотермальная энергетика	11,2	0,5	0,5	3,2	3,4	3,6
Биоэнергетика	140,1	-	22,8	37,2	39,1	41,0
Энергетика окружающей среды	16,4	1,0	3,1	3,9	4,1	4,3
Всего ВИЭ	49,38,8	120,5	946,7	1228,9	1290,2	1352,5
		(2,8%)	(22,4%)	(29%)	(30,5%)	(32%)

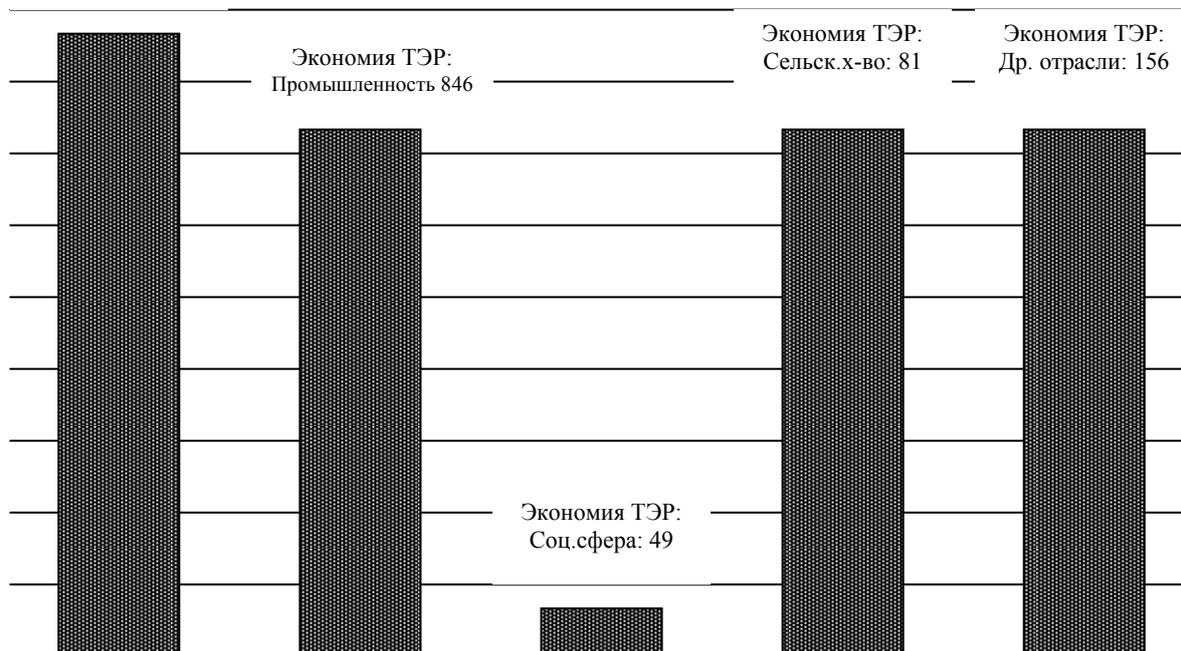
На рисунке 2 представлена структура энергетического баланса Автономной Республике Крым в 2014 году.



**Рис. 2. Прогноз структуры энергетического баланса Автономной Республики Крым в 2014 году**

За счет внедрения мероприятий по энергосбережению в АРК в период 2012-2014 гг. прогнозные объёмы экономии ТЭР (тыс. т.у.т.) имеют вид (см. рис. 3).

Экономия ТЭР:  
Население: 937



**Рис. 3. Прогноз объемов экономии топливно-энергетических ресурсов**

В результате реализации мероприятий программы, экономия топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) представлены в таблице 6.

Расчетный гидроэнергетический потенциал Крыма составляет 756 МВт и в ближайшие годы предполагается освоить 18 МВт с суммарной выработкой электроэнергии около 63 млн. кВт·ч. Из этой энергии на долю рек придется 30%, водохранилищ – 53%, а оставшиеся 17% - малые ГЭС, устанавливаемые на напорных трубопроводах систем водоснабжения и канализации.

Наибольшие перспективные гидроэнергетические потенциалы соответствуют рекам западной части северного макросклона Крымских гор: Кокказка – 10,6 МВт, Альма – 9,19 МВт, Кача – 5,82 МВт, Черная – 5,34 МВт, Бельбек – 4,27 МВт. Реки этой группы характеризуются большими падениями и высокими для Крымских рек расходами, поэтому и представляют наибольший интерес для строительства мини-ГЭС. Но величина гидроэнергетического потенциала еще не является мощностью малой ГЭС на реке. Необходимо учесть коэффициенты полезного действия гидротурбины и электрогенератора, потери энергии водотока. Весь гидроэнергетический потенциал нельзя использовать одной малой ГЭС, так как при расчете гидроэнергетического потенциала реки принимают падений всей реки, от истока до устья, что приводит к невозможности на одной станции получить всю высоту падения реки.

В декабре 2010 года введен в эксплуатацию пилотный проект использования теплонасосной установки мощностью 40,4 кВт для Дворца культуры в Сакском районе. Для отопления здания теплонасосная установка использует низкопотенциальное тепло грунта. Экономический эффект от внедрения составляет 59 т.у.т. на сумму 171,7 тыс. грн. На реализацию проекты было затрачено 881,3 тыс. грн.

В селе Родниковом Симферопольского района с октября 2010 года работает солнечная электростанция на солнечных батареях на базе поликристаллического кремния с общей мощностью 2,5 МВт. На 1.01.2011 г. станцией было выработано 1,5 млн. кВт·ч электроэнергии. Строительство станции осуществлялось за счет инвесторов.

**Экономия топливно-энергетических ресурсов в результате реализации мероприятий Программы**

№ п/п	Перечень мероприятий	Объемы экономии ТЭР, тыс. т. у.т.					
		2010-2014	2010	2011	2012	2013	2014
1.	Мероприятия энергосбережения						
1.1.	Население	973,118	78,2	156,3	234,5	246,23	257,95
1.2.	Промышленность	846,29	68,0	136,0	203,9	214,10	224,29
1.3.	Социальная сфера	48,56	3,9	7,8	11,7	12,29	12,87
1.4.	Сельское хозяйство	80,93	6,5	13,0	19,5	20,48	21,45
1.5.	Другие отрасли	156,46	12,6	25,1	37,7	39,59	41,47
Всего		2105,42	169,2	338,2	507,3	532,67	558,03
2.	Освоение энергии возобновляемых источников						
2.1.	Развитие солнечной энергии	516,52	9,58	56,85	142,8	149,94	157,08
2.2.	Развитие ветроэнергетики	4249,28	108,94	862,7	1040,52	1092,55	1144,57
2.3.	Развитие малой гидроэнергетики	1,89	-	0,26	0,517	0,54	0,57
2.4.	Развитие геотермальной энергетики	11,01	0,48	0,48	3,19	3,35	3,51
2.5.	Развитие биоэнергетики	139,98	-	22,8	37,2	39,06	40,92
2.6.	Освоение энергии окружающей среды (ТНУ)	16,30	0,98	3,07	3,888	4,08	4,28
Всего		4934,97	120,26	946,16	1228,12	1289,53	1350,93
Вместе		7040,39	289,46	1284,36	1735,42	1822,19	1908,96

В Красноперекопском, Красногвардейском и Бахчисарайском районах введены в действие линии с производством топливных брикетов из биомассы (рисовая и подсолнечная музга (солома, виноградные обрезки, отходы древесины) приблизительной мощностью 5000 т.

В настоящее время Крым имеет остродефицитную энергосистему с годовым приростом потребления на уровне 5%. Собственная генерация полуострова составляет 80 МВт и покрывает лишь 6-7% нужд потребителей.

### ВЫВОДЫ

Реализация мероприятий Программы по энергообеспечению и энергосбережению за весь период ее выполнения с 2010 по 2011 год предусматривает снижение энергоемкости на 20% за весь период выполнения Программы, то есть 4% ежегодно. Экономия традиционных топливно-энергетических ресурсов за счет реализации мероприятий Программы в период 2010-2014 годы составляет 7040,4 тыс. т.у.т., в том числе за счет мероприятий по энергосбережению – 2105,42 тыс. т.у.т., освоения энергии возобновляемых источников – 4934,97 тыс. т.у.т.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистический сборник «Топливо-энергетические ресурсы за 2008-2010 гг. АР Крым».

Герчио И.Ю., старший преподаватель.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

## МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКА ТЕСТА КАК ИНСТРУМЕНТА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ ПРИ БОЛОНСКОЙ СИСТЕМЕ

*Обобщены и сформулированы основные требования, предъявляемые к тестовым заданиям по техническим дисциплинам. Предложена система упрощенной оценки эффективности теста, основанная на определении качества, как отдельного тестового задания, так и всего теста в целом.*

**Тестирование, требования к составлению тестов, оценка тестов, валидность, дистрактор, дифференцирующая способность теста.**

### ВВЕДЕНИЕ

Украина, как и многие бывшие страны Советского Союза, имели общую хорошо организованную систему подготовки специалистов в высшей школе, которая в корне отличалась от европейской и американской. Присоединение Украины к странам Болонской декларации ускорила и активизировала процессы реорганизации системы подготовки специалистов, а зачастую и полную ее перестройку, которая происходит сейчас в высших учебных заведениях Украины. Необходимость выхода на «европейский уровень» ставит перед ВУЗами задачу привести Украинскую систему ВПО (высшей профессиональной подготовки) в соответствие с общеевропейскими стандартами и нормами, что связано с коренными изменениями существовавшего мировоззрения в области образования и сложившимися традициями. В этой связи важное место занимает тестирование специалистов, поэтому создание эффективной методики составления тестов и объективной оценки учебных достижений студентов приобретает исключительное значение. Говоря о системе тестирования, невозможно отрицать тот факт, что это универсальный инструмент для определения оценки усвоения, качества подготовки, контроля, развития, диагностирования знаний студентов на всех уровнях образовательного процесса.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Тестирование это, прежде всего инструмент контроля качества знаний студента. Эта целая система, как контролирующая, так и диагностическая, которая обеспечивает регулярное отслеживание качества усвоения знаний и умений в учебном процессе, предоставляет преподавателю объективную и оперативную информацию об уровне усвоения студентами обязательного учебного материала.

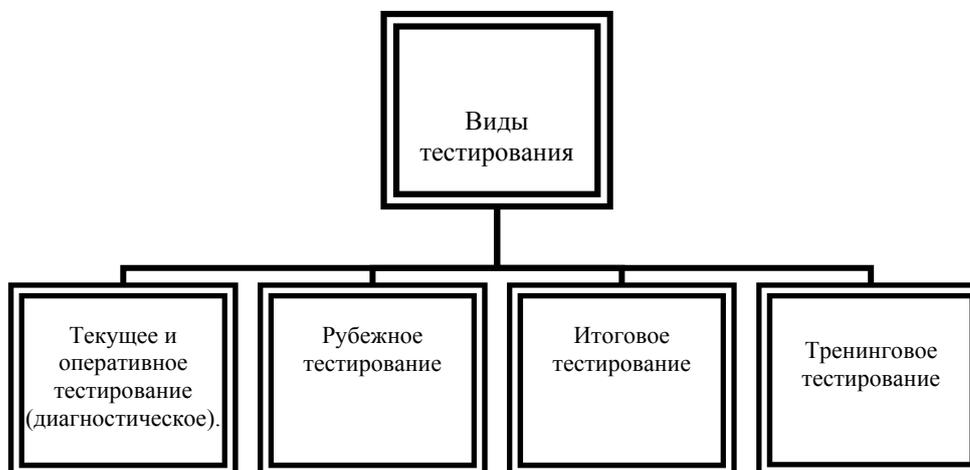


Рис.1. Виды тестирования

В соответствие с целями определяются единые хронотопные (содержательно-временные) точки тестирования в учебном процессе.

Текущее и оперативное тестирование (диагностическое) проводится преподавателем на семинарах для выявления исходного уровня готовности студента к дальнейшему обучению, проверки качества усвоения знаний по определенным темам семинаров, разделов программы дисциплины.

Рубежное тестирование проводится по окончании модуля, семестра, учебного года, для рубежного контроля: по дисциплине, по блокам специальных дисциплин (СД), совокупности дисциплин, выделенных по любому другому основанию (например: госэкзамен). Результаты тестирования используются преподавателем для формирования кумулятивной (накопительной) оценки по дисциплине. Целью рубежного тестирования является определение степени освоения студентами области знаний и умений (уровня компетентности) по дисциплине и комплексу дисциплин учебной программы, а в конечном итоге, соответствия требованиям ОПП по направлению обучения [2].

Итоговое тестирование проводится с целью контроля остаточных знаний студентов; проверки уровня готовности студента к аттестационным испытаниям. Тестирование проводится в соответствии с утвержденным графиком, но не позднее 6 месяцев с момента сдачи зачета/экзамена по тестируемой дисциплине. Результаты итогового тестирования документируются и являются необходимым условием допуска к государственному экзамену.

Тренинговое тестирование является разновидностью самостоятельной работы студентов и используется преподавателем как обучающая технология. Цель такого тестирования научить студента самостоятельной работе по изучению дисциплины, умению пользоваться методической, нормативной, технической литературой и одновременно попытаться проверить свои знания.

Тесты по всему материалу дисциплины используются в качестве контрольно-методического обеспечения и являются оценочными средствами, с помощью которых на этапе рубежного или итогового тестирования оценивается усвоение студентом материала и умение применять их на практике при решении конкретных задач.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие формы тестовых заданий [17]:

закрытая, предполагающая выбор одного или более правильных вариантов ответов из числа предложенных;

форма на установление соответствия между двумя предложенными множествами;

открытая форма с ограничениями на ответ, предполагающая ввод в качестве ответа одного или нескольких чисел, слов или формул;

форма на установление правильной последовательности.

Наиболее широко в Вузах используется закрытая форма тестовых заданий. Введение в тест заданий с многовариантными ответами развивает потребность в поиске разных путей решения задачи, что необходимо для достижения основной цели обучения- умения самостоятельно выбрать способ выполнения поставленной задачи.

## **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Методика исследований заключается в сравнении основных подходов к разработке тестовых заданий, базирующихся на требованиях, предъявляемых к тестам. При этом оценка тестов идет по двум параметрам: проверка равномерности распределения дистракторов в отдельных заданиях и разрешающей способности теста в целом.

## **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ**

На практике, в течение учебного года, преподаватель значительно загружен, поэтому на проведение доскональной количественной и качественной оценки тестов у него просто нет времени. В связи с этим возникает необходимость проведение ориентировочной

доступной выборочной оценки тестов и тестовых заданий хотя бы по нескольким параметрам.

Поэтому цель данной статьи состоит в рассмотрении возможного варианта такой оценки, а задача – в формулировке основных требований при составлении заданий по дисциплинам ТГВ и анализе полученных результатов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Можно выделить несколько этапов в технологии создания теста[16] по учебной дисциплине:

1. Постановка целей и задач предмета и форм учебного контроля. Объем часов учебной дисциплины определяет целесообразность тестирования и количество тестовых заданий. Минимальное число тестовых заданий для вариативности теста 120[1]. По дисциплинам объемом менее 54 академических часов возможно проектирование междисциплинарных, комплексных тестов по блокам сопредельных пограничных дисциплин.

2. Анализ содержания учебной дисциплины, систематизация материала, информационное насыщение каждого из разделов учебной дисциплины.

3. Разработка тестовых заданий.

4. Формирование тестов в соответствии с поставленными учебными задачами. Определение объема (количества тестовых заданий) в тесте и времени его выполнения.

5. Разработка методики тестирования, определение и расчет показателей оценки. Составляется элементарная шкала: количество тестовых заданий, предъявленных к выполнению, соотнесено с количеством правильных ответов. Определяется диапазон положительной оценки. Количество правильных ответов для получения зачета, оценки хорошо, отлично и т.д.

6. Апробация теста.

7. Корректировка и добавление новых заданий на основании результатов апробации.

8. Формирование окончательного варианта теста.

Процесс создания заданий базируется на основных требованиях, предъявляемых к тестам, а именно:

валидности;

определенности (общепонятности);

простоте;

однозначности;

надежности.

*Валидность теста* – это его адекватность и означает пригодность тестовых результатов для той цели, ради чего проводилось тестирование. Различают содержательную и критериальную (функциональную) валидность: первая – это соответствие теста содержанию контролируемого учебного материала, вторая – соответствие теста оцениваемому уровню деятельности.

Выполнение *требования определенности* (общедоступности) теста необходимо не только для понимания каждым студентом того, что он должен выполнить, но и для исключения правильных ответов, отличающихся от эталона.

*Требование простоты теста* означает, что тест должен иметь все задания примерно одного уровня сложности, т.е. он не должен быть комплексным и состоять из заданий разного уровня сложности.

*Однозначность* определяют как одинаковость оценки качества теста разными экспертами. Для выполнения этого требования тест должен иметь эталон.

Требование *надежности* заключается в обеспечении устойчивости результатов многократного тестирования одного и того же испытуемого.

При реализации систем компьютерного тестирования необходимо придерживаться именно этих пяти требований к создаваемым тестам. Однако реализация описанных выше

условий к тестам еще не означает того, что созданный комплекс будет отвечать всем требованиям, предъявляемым к системам тестирования[3].

При изучении дисциплин специальности Теплогазоснабжения и вентиляции воздуха есть особенно важные темы, без знания которых невозможно усвоение более сложного материала в процессе учебы или которые будут необходимы в работе по специальности. Увеличив долю вопросов по этим разделам в общем количестве вопросов можно тем самым повысить качество тестов, однако наиболее важные разделы не всегда содержат больше всего материала.

Ряд правил при составлении заданий теста обеспечат создание надежного, сбалансированного инструмента оценки знаний [16]:

В первую очередь, необходимо проанализировать содержание заданий с позиции равной представленности в тесте разных учебных тем, понятий, и т.д.

Тест не должен быть нагружен второстепенными терминами, несущественными деталями с акцентом на механическую память. Задания теста должны быть сформулированы четко, кратко и недвусмысленно, чтобы все студенты понимали смысл того, что у них спрашивается.

Важно проследить, чтобы ни одно задание теста не могло служить подсказкой для ответа на другое [16].

Варианты ответов на каждое задание должны подбираться таким образом, чтобы исключались возможности простой догадки или отбрасывания заведомо неподходящего ответа.

Важно выбирать наиболее приемлемую форму ответов на задания. Учитывая, что задаваемый вопрос должен быть сформулирован кратко, желательно также кратко и однозначно формулировать ответы, что составляет основную трудность для технических дисциплин.

Задачи для тестов должны быть информативными, отрабатывать одно или несколько понятий, определений и т.д. При этом тестовые задачи не должны быть слишком громоздкими или слишком простыми. Вариантов ответов на задачу должно быть, по возможности, не менее пяти, а в качестве неверных ответов желательно использовать наиболее типичные ошибки [18].

Различают два основных подхода к разработке тестов для аттестации студентов[1,2]: нормативно-ориентированный и критериально – ориентированный. Между ними существует ряд различий [2], заключающихся не в самих тестовых заданиях, а в интерпретации индивидуальных баллов. Первое различие - цели создания теста. Нормативно-ориентированные тесты позволяют оценить соответствие знаний и умений студента установленной норме: подходит - не подходит. Критериально - ориентированные тесты дают возможность оценки уровня обученности и эффективности программы обучения. Второе различие – уровень детализации области содержания. От критериально – ориентированных тестов чаще всего требуется большая детализация. Третье различие – статистическая обработка. Обработанные (шкалированные) баллы по результатам нормативно – ориентированного тестирования базируются на статистических данных нормативной группы, то есть специфической достаточно большой выборке испытуемых, для чего применяются специальные нормативные шкалы. Оба эти подхода в равной степени необходимы для создания диагностических тестов в обучающих системах[17].

Как показала практика, наибольшее применение в ВУЗах приобрели критериально – ориентированные тесты[17].

Вторая сторона вопроса разработки тестов связана с трудностями формирования шкалы оценок выполнения заданий студентами и собственно оценки качества самого тестового задания.

Традиционная система оценивания знаний обучаемых основана на лингвистических оценках, по которым проставляются записи в зачетных книжках за период обучения, производится учет успеваемости, устанавливается стипендия и т.д.

Очевидно, что при формировании такой шкалы оценок велика доля субъективизма, поскольку здесь многое зависит от опыта, интуиции, компетентности и профессионализма преподавателя. Кроме того, требования, предъявляемые разными преподавателями к уровню знаний студентов, колеблются в очень широких пределах.

При формировании шкалы оценок довольно часто встречается метод “проб и ошибок”. Поэтому реальные знания учащегося не получают объективного отражения и как негативное последствие - снижается стимулирующее воздействие экзаменационной оценки на познавательную деятельность и качество учебного процесса в целом.

В некоторых моделях тестирования оценивание результатов производится только по факту правильности ответа, т.е. ход решения в задачах не проверяется и не оценивается. Таковы, например, закрытые задания с однозначным числовым ответом или бинарные тесты[4,5].

Первичной информацией при тестировании знаний является набранный балл испытуемых или так называемый первичный балл. Достоинством этой оценки является ее простота и наглядность. Действительно, чем больше заданий выполнил студент, тем выше его балл.

Однако проблема заключается в том, что первичный балл является не абсолютной, а относительной оценкой[8]. Он существенно зависит от трудности заданий теста и на другом тесте он может оказаться иным, причем сама трудность теста, в свою очередь, определяется всем контингентом испытуемых. Желательно иметь объективную оценку уровня подготовленности испытуемых, подтверждаемую на различных тестах, имеющих заранее определенный уровень трудности заданий.

Вторым существенным недостатком первичных баллов является их нелинейность по отношению к тем параметрам, которые они должны характеризовать (уровень подготовленности[3,4]). В частности, если тест состоит из 100 заданий, то разность в первичных баллах  $b_1 - b_2 = 86 - 82 = 4$  соответствует большему различию в уровне подготовленности участников, чем та же разность для участников имеющих, например 23 и 19 баллов. Сравнивая первичные баллы необходимо понимать, что первичные баллы являются лишь индикатором подготовленности испытуемых, а не ее мерой.

Любая информация для ее последующего применения в заданиях теста должна быть представлена определенным количественным показателем, рассчитанным с использованием условной единицы образовательной информации. В различных литературных источниках рассматривается несколько основных моделей статистической обработки результатов тестирования: однопараметрическая модель Раша, метод моментов, метод наибольшего правдоподобия и т.д.[5,6,7]. На практике, в течение учебного года, преподаватель значительно загружен, поэтому на проведение доскональной количественной и качественной оценки тестов у него просто нет времени. В связи с этим возникает необходимость проведения доступной выборочной оценки хотя бы по нескольким параметрам, например:

*Проверка равномерности распределения дистракторов и эффективности их работы*

Дистракторы являются очень важным элементом тестовых заданий в закрытой форме, с выбором одного или нескольких правильных ответов[13]. При этом остальные ответы, не являясь правильными, должны выглядеть правдоподобными (их принято называть дистракторами). Оказывается, что при удачном подборе дистракторов, испытуемые, неправильно отвечающие на задание выбирают их с одинаковой частотой[13,14]. Равномерность распределения дистракторов является показателем надежности и валидности задания. Рассмотрим алгоритм расчета равномерности распределения дистракторов на конкретном примере. На задание № 25 теста по дисциплине «Энергосбережение в системах ТГВ», содержащее 5 вариантов ответов, 200 человек (обобщенные данные за несколько лет) дали неправильные ответы. Теоретическая

частота выбора каждого из дистракторов составляет  $200/4=50$ . Составим следующую таблицу 1:

Таблица 1.

**Данные по результатам анализа единичного тестового задания.**

Частоты	Номер дистрактора				Σ
	1	2	3	4	
Экспериментальная частота выбора (n)	40	58	42	60	200
Теоретическая частота выбора (n*)	50	50	50	50	200
(n-n*)	-10	8	-8	10	0

Для  $\chi^2_{набл.}$  получим:  $\chi^2_{идея} = \frac{\sum_{i=1}^4 (n_i - n^*)^2}{n^*} = 6.56$  Критическое значение критерия Пирсона, соответствующее трем степеням свободы и уровню значимости  $\alpha=0,05$   $\chi^2_{крит.} = 7,8$ . Поскольку,  $\chi^2_{набл.} < \chi^2_{крит.}$ , то можно сказать о равномерном выборе дистракторов. [7,14,15]. Проанализировав, таким образом, все задания этого теста были получены значения  $\chi^2_{набл.}$  от 4,24 до 11,2. Можно сделать вывод, задания под номерами №12, 45, 37 и 24 требуют доработки. Расчет Критерия Пирсона можно легко произвести с использованием автоматизированной программы на сайте[18].

Анализ выбора дистракторов данным испытуемым может представлять не менее важную задачу, чем анализ равномерности распределения[13]. Поскольку, он позволяет в ряде случаев выявить характер “незнания” тестируемого и составить представления о мере эклектичности его знаний.

Для оценки равномерности распределения дистракторов, а по существу определения эффективности их работы могут быть использованы отличные от определения  $\chi^2$  коэффициента Пирсона подходы. В частности можно использовать подход [14], основанный на модели Раша, согласно которой вероятность  $P_{ij}$  того, что i- участник тестирования с уровнем подготовленности  $\theta_i$  правильно выполнит j – задание с уровнем трудности  $\delta_j$  определяется формулой:

$$P_{ij} = \frac{1}{1 + \exp(\delta_j - \theta_i)},$$

а вероятность неправильного ответа  $q_{ij}$  (выбора одного из дистракторов данного задания):

$$q_{ij} = 1 - P_{ij} = \frac{\exp(\delta_j - \theta_i)}{1 + \exp(\delta_j - \theta_i)}.$$

Предположим, что вероятность выбора одного из r – дистракторов ( $P_{ij}^{(r)}$ ), предлагаемых в данном тестовом задании, является монотонно убывающей функцией

уровня подготовленности участника, и линейно связанна с вероятностью  $q_{ij}$  неправильного ответа, например:

$$p_{ij}(r) = C_r \frac{\exp(\delta_j - \theta_i)}{1 + \exp(\delta_j - \theta_i)},$$

где  $C_r$  некоторый коэффициент линейной связи [8]. Нахождение значения коэффициента  $C_r$  при использовании выборок испытуемых порядка нескольких тысяч человек в сравнении с результатами работы дистракторов, полученными другими методами, показывает, что величина  $C_r$  для хороших дистракторов варьируется от 0,98 до 1,02, а для плохих  $C_r < 0,90$ . При этом наблюдается очень хорошее согласование результатов, что показывает возможность использования коэффициента  $C_r$  для оценки работы дистракторов [9,11,14]. Такой подход возможен для большой выборки и его также можно выполнить автоматизировано. Согласно классической теории тестов для создания качественного теста требуется большая выборка испытуемых, состоящая из нескольких десятков тысяч человек. Это требование практически невыполнимо в условиях любого вуза. Однако латентная [5] методика анализа позволяет снизить количество испытуемых уже до 500 при очень высоком качестве создаваемых тестов и даже до 150-200 при вполне достаточной надежности тестов. Это условие уже выполнимо в рамках одного вуза или школы, хотя создание теста и потребует определенного количества времени.

#### *Дифференцирующая (разрешающая) способность теста*

Разрешающая способность теста является одним из ключевых понятий современной теории тестирования [15,17], поскольку разделение испытуемых по рейтингу или по группам, при аттестации, является основной задачей любого тестирования. В связи с этим вводится понятие коэффициента дискриминации (или различающей способности), который может характеризовать как весь *тест в целом*, так и *отдельные тестовые задания*, и рассчитывается на основании полученных результатов. Основное влияние при вычислении *разрешающей способности теста* оказывает число заданий –  $K$ , поскольку число заданий, как правило, меньше числа участников –  $N$ . При заданном конечном числе заданий –  $K$ , первичные баллы  $b_i$  принимают конечное число значений  $0, 1, 2, 3, \dots, K$  с шагом  $\Delta b = 1$ . Общепринято, что разрешающей способностью теста ( $\xi$ ) называется длина промежутка  $\Delta \theta$  в логитах (единица измерения уровней подготовленности участников тестирования и трудностей тестовых заданий в рамках логистических моделей тестирования). Если разность между упомянутыми двумя понятиями составляет 1 логит, то вероятность верного выполнения таким испытуемым такого задания равна 0,73.) на латентной шкале уровня подготовленности (т.е. математическая модель, в которой вероятность правильного ответа тестируемого задается как функция разности двух латентных параметров: подготовленности тестируемого и трудности задания), который соответствует шагу  $\Delta b = 1$ , т.е. [15].

Если  $|\theta_2 - \theta_1| \leq \xi$ , то тест не в состоянии различить  $\theta_1$  и  $\theta_2$ . В реальной жизни величину разрешающей способности теста ( $\xi$ ) желательно знать заранее при составлении теста, что можно сделать [11] используя следующий метод.

Принимая  $db_i = 1$ :

$$\xi_i \approx \frac{\partial \theta_i}{\partial b_i} = \left( \sum_{j=1}^k p_{ij} q_{ij} \right)^{-1}$$

где:  $p_{ij}$  - теоретическая вероятность того, что  $i$ -участник испытания правильно выполнит  $j$ - задание;

$q_{ij}$  – вероятность неправильного ответа ( т.е. одного из дистракторов).

Разрешающая способность теста в окрестности балла  $b_i$  будет тем больше, чем больше информации содержится в  $i$ - строке матрицы ответов. Минимальное значение  $\xi$  ( $\xi_{\min}$ )  $\xi_{\min}=4/K$  достигается при  $p_{ij} = q_{ij} = 1/2$  для любого  $j=1, 2, 3, K$ . Поскольку максимального значения коэффициента разрешающей способности  $\xi$  не существует, то практически ограничиваются величиной  $\xi=11/K$  [11], соответствующей маловероятному

случаю  $p_{ij} = 0,1$  для любого  $j=1, 2, 3, K$ . На практике используют значения  $\xi$  удовлетворяющие неравенству:  $4/K < \xi < 11/K$  ( $K$ -число заданий), а для приближенных вычислений брать  $\xi \approx 7/K$  логит. Для средней квадратичной ошибки определения  $\xi$  ( $\sigma(\xi)$ ) можно воспользоваться формулой:

$$\sigma(\xi) = \frac{\xi}{2\sqrt{3}} \approx \frac{2}{K} \text{ (логит).}$$

Соотношение  $d\theta_i = \left( \sum_{j=1}^k p_{ij}q_{ij} \right)^{-1} db_i$  позволяет установить взаимосвязь между соответствующими среднеквадратичными ошибками  $\sigma\{\theta_i\}$  и  $\sigma\{b_i\}$ :

$$\sigma\{\theta_i\} = \frac{\partial \theta_i}{\partial b_i} \sigma\{b_i\} = \frac{\partial \theta_i}{\partial b_i} \left( \sum_{j=1}^k p_{ij}q_{ij} \right)^{1/2} = \left( \sum_{j=1}^k p_{ij}q_{ij} \right)^{-1/2} = \frac{1}{\sqrt{\xi}}$$

Таким образом, для среднеквадратичной ошибки оценки уровня подготовленности  $i$ -

участника, можно получить, что  $\sigma\{\theta_i\} \approx \frac{2,6}{\sqrt{b_i}}$  логит ( $b_i$  –первичный балл, набранный участником), для среднеквадратичной ошибки оценки уровня сложности задания

$\sigma\{\delta_j\} \approx \frac{2,6}{\sqrt{N_j}}$  логит ( $N_j$  – число участников успешно выполнивших данное  $j$ - задание).

Для более строгих расчетов  $\sigma\{\delta_j\}$ , вероятности  $p_{ij}$  и  $\sigma\{\delta_j\}$  вычисляют по модели Раша [15,17].

В диапазоне от 0 до 1 коэффициент различающей способности имеет следующую интерпретацию [2,15]:

- больше 0,40(задание является эффективным);
- от 0,30 до 0,39 (задание является удовлетворительным);
- от 0,20 до 0,29 (задание требует переработки);
- менее 0,20 (задание необходимо полностью заменить).

В результате автоматизированного расчета коэффициент различающей способности заданий (КРСЗ) теста по дисциплине «Энергосбережения в системах ТГВ» варьировался от 0.29 до 0,38, при  $K=60$ ,  $N=200$ .

## ВЫВОДЫ

Автор не претендует на полноту охвата вопросов методики составления и оценки тестовых заданий, это связано и с тем, что методик обучения может быть бесконечное множество, в пределе ровно столько, сколько существует педагогов. При этом важность разработки инструмента измерения уровня знаний и трудности заданий невозможно оценить, а тест на данный момент является единственным инструментом для педагогических измерений.

Автором предложена ориентировочная оценка теста по равномерности распределения дистракторов и разрешающей способности (КРСЗ), которая дает возможность проанализировать как отдельное тестовое задание, так и тест в целом.

Все расчеты, указанные в статье могут быть выполнены с использованием автоматизированных расчетных программ, находящихся в свободном доступе в интернет сети.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аванесов В.С. Композиция тестовых заданий. – М.: Из-во Центра тестирования Минобразования РФ, 2002, - 239С.
2. Переверзев В.Ю. Критериально - ориентированные педагогические тесты для итоговой аттестации студентов. М.: Из-во НМЦ СПО Минобразования РФ, 1998, -152 С.
3. Тыркова Н.П. Методика преподавания теории вероятностей и математической статистики с использованием персональных компьютеров. // Материалы научно-методической конференции: “Повышение эффективности учебно-воспитательного процесса: Новые идеи, формы, методы”. - Омск, 1998, С.156.
4. Соколов В.М. Вывод функции успеха из принципа максимальности информации о системе. // Тезисы докладов Всероссийской научно-методической конференции «Развитие системы тестирования в России». - Москва, 2002, С.250-251.
5. Нейман Ю.М., Хлебников В.А. Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. - М.: Прометей, 2000, - 168 С.
6. Герасимович А.И., Матвеева Я.И. Математическая статистика. – Минск: Высшая школа, 1978. – 200 .
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Высшая школа, 1997, -480 С.
8. Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применение. Под ред. Ю.В. Линника. - М.: Наука, 1968, -547 С.
9. Wright B.D., Stone M.H. Best test design, Chicago: Mesa Press, 1979. -220 P.
10. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Теория распределений. - М.: Наука, 1966. -587 С.
11. Уилкс С. Математическая статистика. Под ред. Ю.В. Ленника, М.: Наука, 1967, - 632 С.
12. Березин Н.В. Выбор дистракторов в заданиях в закрытой форме. Анализ и моделирование в рамках IRT. // Тезисы докладов Всероссийской научно-методической конференции «Развитие системы тестирования в России», - Москва, 2002, С. 229-230.
13. Маслак А.А., Бобрышев Е.А., Анисимова Т.С., Пушечкин Н.П. Исследование влияния числа дистракторов на точность оценивания уровня знаний. // Тезисы докладов III Всероссийской научно-методической конференции «Развитие системы тестирования в России». - Москва, 2001, С.204.
14. Чельшкова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов. Учебное пособие. – М.: Логос, 2002, - 432 С.
15. Янченко С.И. Математическая модель оценки результатов тестирования. // Тезисы докладов Всероссийской конференции «Развитие системы тестирования в России». - Москва, 2000, ч. 4, С. 54-56.
16. Аванесов В.С. Основы научной организации педагогического контроля в высшей школе, Учебное пособие, М.: Исследовательский центр, 1989, - 167 С.
17. Люсин Д.В. Основы разработки и применения критериально-ориентированных педагогических тестов. М.: Исследовательский центр, 1993, - 51 С.
18. Интернет сайт [www.psychol-ok.ru/statistics/pearson/](http://www.psychol-ok.ru/statistics/pearson/). Расчет.

УДК 620.91

**Горохов М.В., Маркин А.В., Перминов И.А.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

**Мысливец А.В.**

*Будерус Украина ООО «Роберт Бош ЛТД»*

## **ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА SKN 4.0 – S BUDERUS ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕЛИОСИСТЕМЫ**

*В работе исследована производительность солнечного коллектора SKN4.0–S производства компании Buderus в зависимости от угла наклона и сезонности периода работы солнечной установки. Определены оптимальные углы наклона коллектора для четырех режимов работы гелиосистемы проектируемой в Симферополе. Показано, что угол наклона солнечного коллектора принятый с учетом режима работы гелиосистемы существенно влияет на теплопроизводительность за сезон.*

**Гелиосистема, плоский солнечный коллектор, абсорбер, количество солнечной энергии, приведенная поглотательная способность, удельная теплопроизводительность.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Преобразование солнечного излучения в энергию связано со значительными капитальными затратами, и чем выше эксергический потенциал получаемой энергии, тем больше её стоимость. Поэтому в настоящее время практическое использование солнечной энергии идет в основном в направлении получения гелиосистемами низкопотенциального тепла, которое может быть использовано для низкотемпературных систем отопления и горячего водоснабжения. Недостатком солнечного излучения как источника энергии является неравномерность его поступления на земную поверхность в течение года. При некорректном проектировании, это может привести к простоям гелиоустановки при пиках солнечной радиации в летние месяцы и недостаточной теплопроизводительности зимой. В связи с этим угол наклона солнечного коллектора  $\beta$  является важным параметром, изменяя который можно оптимизировать теплопроизводительность солнечной установки под конкретный сезонный режим работы, что способствует повышению эффективности использования солнечной энергии.

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Цель работы – определение оптимального угла наклона и удельной месячной теплопроизводительности коллектора для четырех режимов работы гелиосистемы проектируемой в Симферополе: горячее водоснабжение во время курортного сезона, период использования май–сентябрь; горячее водоснабжение сезонного типа, период использования март–ноябрь; горячее водоснабжение и поддержки отопления, период использования круглогодичный; отопление, период использования ноябрь–март. Вычисления выполнялись с помощью программы Excel, значения углов тригонометрических функций задавались значениями, выраженными в радианах.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ УГЛА НАКЛОНА $\beta^*$ НА ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА SKN4.0–S BUDERUS ЗА РАСЧЕТНЫЙ ПЕРИОД**

Располагаемое удельное количество солнечной энергии  $q$ , Вт/м<sup>2</sup> поступающей на наклонную светопрозрачную поверхность солнечного коллектора (СК) определялось методом, приведенным в работах [1,2]. Значения удельного теплового потока прямого и

рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность на широте Симферополя, принимались по нормативу [3,4]; Оптический КПД определялся с учетом углового коэффициента пропускания солнечного излучения светопрозрачной изоляции коллектора. Эффективный коэффициент теплопотерь рассчитывался для каждого часа суток как отношение теплопроизводительности солнечного коллектора к падающему на абсорбер потоку солнечной радиации [5]. Расчетные значения теплотехнических параметров коллектора SKN4.0-S принимались по документации для проектирования компании Buderus [6].

Максимальная теплопроизводительность солнечной установки достигается при оптимальном значении угла наклона солнечного коллектора  $\beta^*$ , значение которого зависит от сезона работы установки. При определении оптимального значения угла наклона рассчитывались усредненные значения удельной суточной теплопроизводительности  $W_{cp(\beta)}, кВт \cdot час / сут$  для четырех режимов работы [7] при расчетных условиях Симферополя за период использования гелиосистемы, с шагом угла наклона коллектора  $h = 10^\circ$ :

$$W_{cp(\beta)} = \frac{1}{i \cdot z} \sum W_m,$$

где  $i$  – количество месяцев в расчетном периоде работы гелиосистемы;  $z$  – количество дней в месяце;  $W_m$  – количество тепловой энергии, выработанное одним квадратным метром солнечного коллектора при реальных условиях облачности,  $кВт \cdot час / м^2$ :

$$W_m = W_c \cdot z \cdot \eta_o \cdot \eta_n \cdot 10^{-3},$$

где  $\eta_o$  – коэффициент, учитывающий реальные условия облачности;  $\eta_n$  – коэффициент, учитывающий потери, обусловленные нестационарным теплообменом при переменной облачности, рекомендуется принимать  $\eta_n = 0,9$  [2];  $W_c$  – среднесуточный удельный тепловой поток расчетного месяца при безоблачном небе:

$$W_c = \sum q_i,$$

где  $q_i$  – удельный тепловой поток воспринимаемый коллектором за каждый час безоблачного дня расчетного месяца,  $Вт / м^2$ .

Годовая удельная выработка тепла (СК)  $W_z, кВт \cdot час / м^2$ , определялась как суммарное количество тепловой энергии, выработанной в каждом месяце:

$$W_z = \sum W_m$$

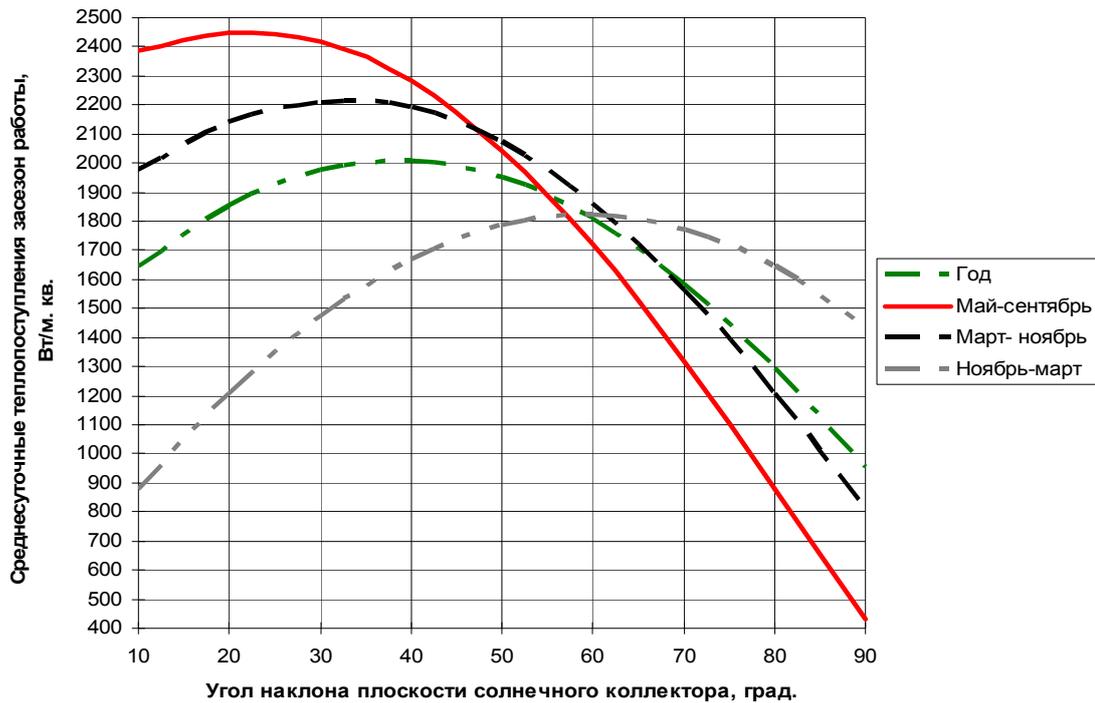
Для расчетных условий города Симферополя количество тепловой энергии, выработанное квадратным метром солнечного коллектора при реальных условиях облачности для четырех режимов работы гелиосистемы в зависимости от угла наклона, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Удельное количество среднесуточной тепловой энергии для различных углов наклона СК SKN4.0-S**

Период работы	Удельное количество среднесуточной тепловой энергии $W_m, Вт \cdot час / м^2$ в зависимости от угла наклона плоскости солнечного коллектора, $\beta$ град								
	$10^0$	$20^0$	$30^0$	$40^0$	$50^0$	$60^0$	$70^0$	$80^0$	$90^0$
год	1647	1853	1973	2008	1952	1810	1583	1294	957
с мая по сентябрь	2385	2451	2416	2282	2044	1724	1311	878	432
с марта по ноябрь	1973	2139	2209	2190	2071	1863	1565	1209	814
с ноября по март	874	1214	1468	1670	1783	1821	1764	1652	1448

На рис.1 приведена зависимость средних значений удельной суточной теплопроизводительности плоского солнечного коллектора SKN4.0–S от угла его наклона для различных режимов работы гелиоустановки при расчетных условиях Симферополя.



**Рис.1 Зависимость усредненных значений удельной суточной теплопроизводительности плоского солнечного коллектора SKN4.0–S производства фирмы Buderus от угла наклона коллектора.**

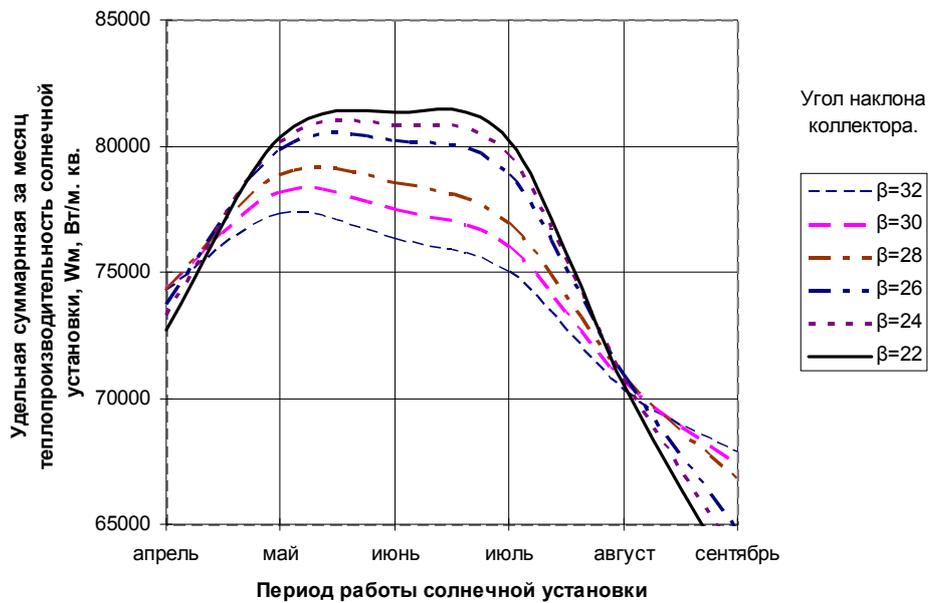
Из графиков видно, что рассматриваемые значения  $W_m$  для каждого режима работы при прочих равных условиях имеет свой, явно выраженный максимум, который соответствует оптимальному значению угла наклона солнечного коллектора. Рекомендованные значения углов наклона (СК), приводится в справочной литературе [8]. Для систем круглогодичного действия угол  $\beta$  равен широте местности  $\varphi$ , для систем, работающих только в отопительный сезон  $\beta = \varphi + 15^\circ$ , и для систем, работающих только в летний период  $\beta = \varphi - 15^\circ$ . Оптимальные значения углов наклона  $\beta^*$  солнечного коллектора представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Оптимальные углы наклона солнечного коллектора для расчетных условий Симферополя**

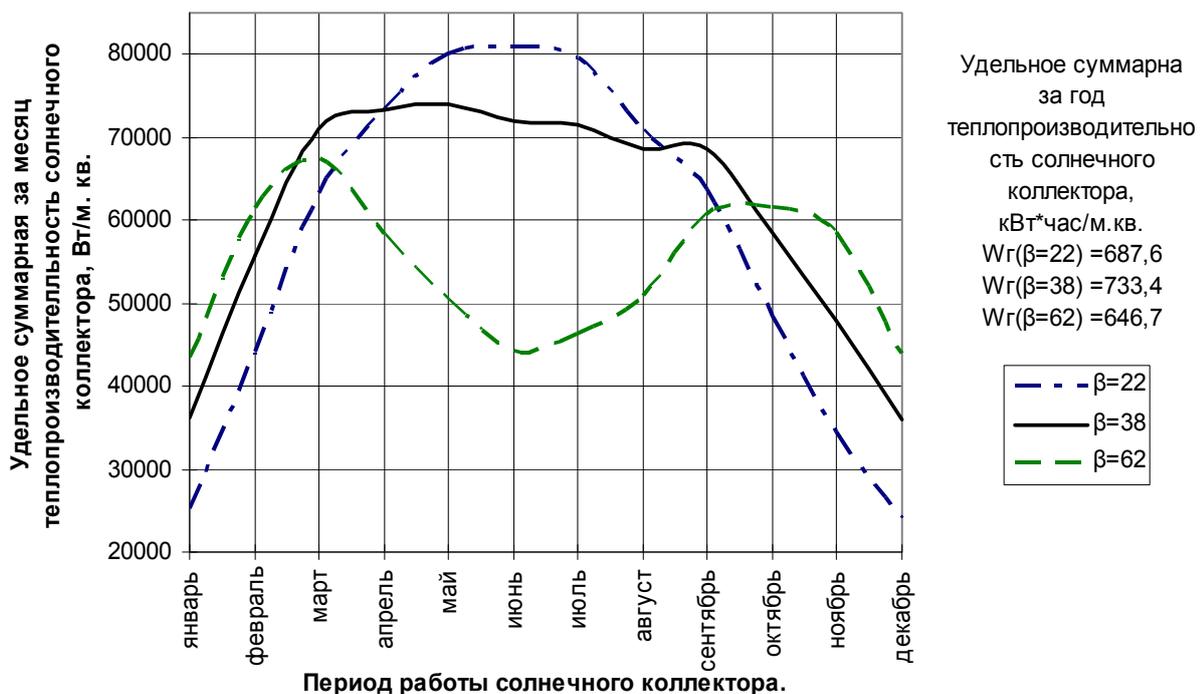
Способ вычисления	Оптимальные углы наклона ( $\beta$ ) солнечного коллектора, для разных режимов работы установки.			
	С мая по июнь	С марта по ноябрь	В течение года	С ноября по март
Традиционный	$30^0$	$30^0$	$45^0$	$60^0$
Приведенный в работе	$22^0$	$34^0$	$38^0$	$62^0$

На рис.2 приведена зависимость удельной суммарной месячной теплопроизводительности солнечной установки от угла наклона солнечного коллектора с шагом  $h = 2^\circ$  для режима работы апрель-сентябрь.



**Рис.2** Зависимость теплопроизводительности  $W_m$  от угла наклона солнечного коллектора  $\beta$  с шагом  $h = 2^\circ$  для летнего сезона.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке можно сделать вывод, что для летнего режима работы сезонная выработка тепловой энергии солнечной установкой СК которой расположены под оптимальным углом наклона, определенным по выше представленной методике  $\beta = 22^\circ$  выше, чем под углом  $\beta = 30^\circ$ , рекомендованным в справочной литературе. Это различие можно объяснить тем, что методика, позволяет учесть дополнительные условия, при которых работает установка, (реальные условия облачности, изменение оптического КПД от угла падения солнечных лучей на плоскость и др.), а также оптимизировать выбор угла наклона коллекторов для повышения общей выработки тепловой энергии гелиоустановкой в течение расчетного периода.



**Рис.3** Теплопроизводительность,  $W_g$ , одного квадратного метра солнечного коллектора SKN4.0-S при оптимальных углах наклона.

Теплопроизводительность одного квадратного метра солнечного коллектора SKN4.0-S за год,  $W_2$  при расчетных параметрах Симферополя, с оптимальными углами наклона,  $\beta^*$  для трех сезонных режимов работы солнечной установки приведена на рис.3. Из графика видно, что увеличивая угол наклона солнечного коллектора можно снизить мощность теплового потока снимаемого гелиоустановкой в летние месяцы и повысить в зимние. Удельная суммарная теплопроизводительность солнечного коллектора за год при этом изменяется незначительно. Оптимизировать производительность гелиоустановки в расчетный период возможно изменением угла наклона солнечных коллекторов или устройством систем, следящих за движением солнца и изменяющих положение коллекторного поля в соответствии с этим движением.

### ВЫВОДЫ

1. В результате расчетов были получены усредненные значения удельной суточной теплопроизводительности плоского солнечного коллектора SKN4.0-S для четырех режимов работы при расчетных условиях Симферополя. На основании этих данных было показано, что функция  $W_{cp}(\beta)$  имеет максимум, который соответствует оптимальному значению угла наклона  $\beta^*$  солнечного коллектора. Получены следующие значения: горячее водоснабжение во время курортного сезона, период использования май–сентябрь  $\beta^* = 22^\circ$ ; горячее водоснабжение период использования март–ноябрь  $\beta^* = 34^\circ$ ; горячее водоснабжение и поддержки отопления, период использования круглогодичный  $\beta^* = 38^\circ$ ; отопление, период использования ноябрь–март  $\beta^* = 62^\circ$ .

2. Были получены значения годовой суммарной теплопроизводительности одного квадратного метра солнечного коллектора SKN4.0-S для Симферополя при оптимальных значениях угла наклона солнечного коллектора для трех сезонов работы солнечной установки

$$W_{\varepsilon(\beta=22^\circ)}=687 \text{ кВт} \cdot \text{час} / \text{м}^2; \quad W_{\varepsilon(\beta=38^\circ)}=733 \text{ кВт} \cdot \text{час} / \text{м}^2; \\ W_{\varepsilon(\beta=62^\circ)}=646 \text{ кВт} \cdot \text{час} / \text{м}^2;$$

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даффи Дж., Бекман У. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М.: Мир, 1977. – 414с.
2. Гершкович В. Ф. Солнечные установки горячего водоснабжения. Пособие по проектированию. Изд. КиевЗНИИЭП, 2006.
3. СНиП II-A.6-72. Строительная климатология и геофизика – Москва, 1973.
4. НИИ строительной физики. Руководство по строительной климатологии. – Москва, 1977.
5. Солнечный коллектор RENAУ SOLECT. Документация для проектирования. 2008.
6. Гелиотехника Logasol для горячего водоснабжения и поддержки отопления. Buderus Документация для проектирования. 2006.
7. Денисова А.Е. Оптимизация угла наклона солнечных коллекторов в гелиосистеме / Денисова А.Е. Дорошенко О.В., Jamal Kamal Husain. - Труды Одесского политехнического университета. – 2008. –Вып. 1 (29), с.133–137.
8. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч 1. Отопление./В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Сканапи. – М.: Стройиздат, 1990.-344с.

Дихтярь Т.В., доцент, Боровский Б.И., профессор.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКЕ ОТ ДИАМЕТРОВ ПУЗЫРЬКОВ ВОЗДУХА

*Определен эффект очистки сточных вод в аэротенке при пневматической аэрации в зависимости от диаметров пузырьков воздуха при различных расходах городских сточных вод разной загрязненности.*

**Вода, очистка, аэротенк, пневматическая аэрация, сточные воды, эффект очистки, диаметр пузырька, мощность аэрации.**

### ВВЕДЕНИЕ

Сточные воды образуются в результате хозяйственно-бытовой и производственной деятельности человека. Они тем или иным путем попадают в воды закрытых водоемов, рек, морей и океанов, где и сосредотачивается все многообразие вредных веществ.

Утилизация и обезвреживание сточных вод составляет одну из самых важных экологических проблем настоящего времени и в этом направлении наработано множество технологических приемов, в основе которых лежат физико-химические или биохимические процессы деградации вредных компонентов сточных вод.

Биологическая очистка интенсивно протекает в искусственно созданных условиях. Этот процесс можно контролировать и регулировать, а, следовательно, интенсифицировать.

Именно возможность регулирования степени очистки привела к созданию многообразных технологических приемов, критерием эффективности которых является достигаемая степень очистки, т.е. экологический фактор.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

С увеличением диаметра пузырька воздуха уменьшается скорость всплытия, что способствует увеличению массопередачи кислорода воздуха из пузырька в воду. Но одновременно уменьшается поверхность контакта пузырьков с водой при фиксированном расходе воздуха. Отсюда следует возможность наличия диаметров пузырьков, при которых достигается экстремума (максимума или минимума) эффект очистки сточных вод:

$$\mathcal{E} = \frac{(C_{го} - C_{г})}{C_{го}} \cdot 100\% = (1 - \gamma) \cdot 100\%,$$

где  $C_{го}, C_{г}$  - начальная и конечная концентрации загрязнений в сточной воде,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\gamma = \frac{C_{г}}{C_{го}}$  - относительная остаточная концентрация загрязнений.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе [1] получены следующие соотношения:

$$\gamma = \frac{1}{1 + K_{ок} \tau}, \quad (1)$$

где  $K_{ок}$  - константа скорости биоокисления загрязнений,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\tau$  - время,  $\text{с}$ ,

$$K_{ок} = \frac{\beta C_{по}}{\alpha C_{го}}, \quad (2)$$

здесь  $\beta$  - коэффициент массопередачи,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$C_{по}$  - начальная концентрация кислорода в пузырьке воздуха ( $C_{по} = 0,3 \text{кг}/\text{м}^3$ );

$\alpha = 0,4 - 0,6$  м - энергетический коэффициент, характеризующий энергетические затраты активного ила на окисление загрязнений.

Выражение для коэффициента  $\beta$  имеет вид [1]:

при диаметре пузырьков  $d \leq 1,4$  мм

$$\beta = 2\sqrt{\frac{Dv}{\pi d}}; \quad (3)$$

при диаметре пузырьков  $1,4 < d \leq 8,6$  мм

$$\beta = \sqrt{\frac{D\xi\rho v^3}{2\sigma}}, \quad (4)$$

где  $D = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  - коэффициент молекулярной диффузии;

$\rho$  - плотность воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$v$  - скорость всплытия пузырьков,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\xi$  - коэффициент сопротивления всплытию;

$\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения,  $\text{Н}/\text{м}$ ;

$d$  - диаметр пузырьков воздуха,  $\text{м}$ .

Выражение для скорости всплытия пузырьков записывается в виде [2]:

при  $d \leq 1,4$  мм

$$v = \frac{0,056d^2 \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho}\right)}{\nu}; \quad (5)$$

при  $1,4 < d \leq 8,6$  мм

$$v = 4,76\sqrt{\frac{\sigma}{\rho d}}, \quad (6)$$

где  $v$  - скорость всплытия пузырьков;

$\nu$  - коэффициент кинематической вязкости воды;

$\rho_g$  - плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

При диаметрах пузырьков  $d > 8,6$  мм происходит их самопроизвольное дробление.

Эквивалентный диаметр дробного пузырька находится из соотношения [2]

$$\frac{d_s}{d} = \frac{10}{K_\sigma}, \quad (7)$$

где  $K_\sigma = \frac{\rho g d^2}{\sigma}$  - безразмерный комплекс.

По значению  $d_s$  определяются  $v$  и  $\beta$  с помощью приведенных выше формул.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы является определение оптимального диаметра пузырька воздуха, при котором достигается максимальный эффект очистки сточных вод.

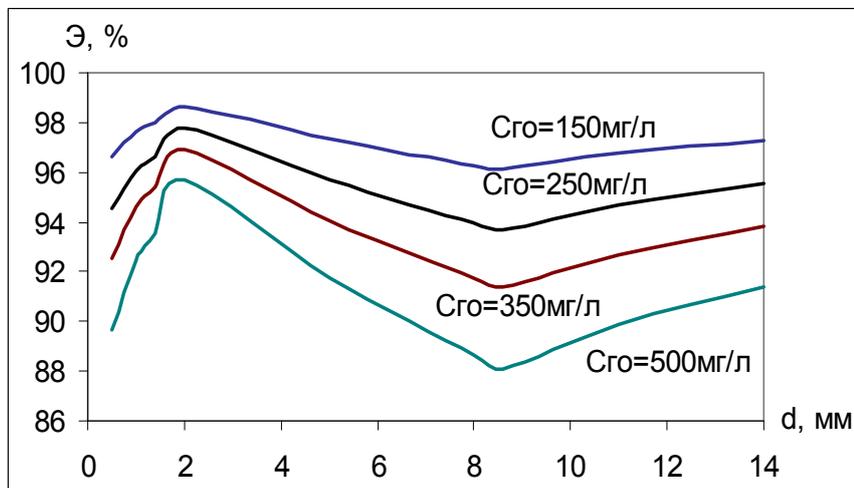
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

С использованием соотношений СНиП [3] и приведенных выше выражений разработана методика расчета массопередачи в аэротенке при определяемой СНиП концентрации активного ила в аэротенке [4]. С помощью этой методики проведены расчеты эффекта очистки сточных вод с расходом  $Q = 50 - 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$  при начальной концентрации загрязнений  $C_{ГО} = 150 - 500 \text{ мг}/\text{л}$ , диаметрах пузырьков воздуха  $d = 0,5 - 14 \text{ мм}$  и глубине аэротенка 6 м. Диаметр отверстия барботера связан с диаметром пузырька соотношением [1]

$$d_o = \frac{g(\rho - \rho_e)d^3}{6\sigma}$$

Тогда при выбранных значениях диаметров пузырьков диаметр отверстия барботера будет изменяться в пределах  $d_o = 0,003 - 50 \text{ мм}$ .

Результаты расчетов приведены на рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость эффекта очистки от диаметров пузырьков воздуха и начальной концентрации загрязнений (расход сточных вод  $50 - 5000 \text{ м}^3 / \text{ч}$ )**

Из рис. 1 видно, что независимо от расхода сточных вод эффект очистки возрастает с увеличением диаметра пузырька, достигая максимума в диапазоне  $d = 1,45 - 2 \text{ мм}$ . Затем эффект уменьшается и становится минимальным при  $d = 8,6 \text{ мм}$ . При дальнейшем увеличении диаметров пузырьков эффект очистки возрастает в связи с самопроизвольным дроблением пузырьков воздуха, приводящим к увеличению поверхности контакта мелких пузырьков с водой. Рис. 1 также показывает, что эффект очистки возрастает с уменьшением начальной концентрации загрязнений. Так, при  $d = 14 \text{ мм}$  уменьшение начальной концентрации в 3,3 раза, с 500 до 150 мг/л, эффект очистки увеличивается на 6%, с 91 до 97%.

## ВЫВОДЫ

1. Независимо от расхода сточных вод эффект очистки возрастает с увеличением диаметров пузырьков, достигая максимума при диаметре  $d = 1,45 - 2 \text{ мм}$ . При дальнейшем увеличении диаметра эффект очистки уменьшается, достигая минимума при  $d = 8,6 \text{ мм}$ , а затем начинает возрастать.

2. Эффект очистки возрастает с уменьшением начальной концентрации загрязнений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / [Брагинский Л.Н., Евилевич М.А., Бегачев В.И. и др.]. – Л.: Химия, 1980. – 144 с.
2. Скорость всплытия пузырьков воздуха в аэротенке при очистке сточных вод [текст] / Б.И. Боровский // Строительство и техногенная безопасность. Сборник научных трудов. – Симферополь: КАПКС. - 2002. – Вып. 7 - С. 265-268.
3. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Госстрой, 1986. – 74 с.
4. Дихтярь Т.В. Энергосбережение в теплообменных процессах очистки выбросов от промышленных объектов: дис. ... канд.техн.наук: 05.14.06 / Дихтярь Татьяна Валериевна. – Одесса, 2010 – 160 с.

**Зайцев О.Н.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства.*

**Борисенко К.И., Шмоняк В.И., Наконечный В.А.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры.*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО НАПОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С АККУМУЛИРУЮЩИМ БАКОМ**

*Выявлено, что для эффективного использования бака аккумулятора и увеличение времени поддержания заданной температуры в помещении необходимо выполнять расчет требуемой площади нагревательных приборов для таких систем отопления не на максимальный температурный перепад, а с учетом остывания – на средний, между максимальным и минимально-допустимым в помещении.*

**Аккумулятор, теплоноситель, система водяного отопления.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Наиболее простым и надежным устройством аккумуляции тепла является жидкостные теплоаккумуляторы, что связано с совмещением функций теплоаккумулирующего материала теплоносителя. Вследствие этого аккумуляторы такого типа особенно широко применяются для бытовых целей, в схемах различных электростанций (АЭС, АТЭС, солнечные и др.). В настоящее время применяются несколько основных конструктивных исполнений жидкостных ТА. Наиболее рационально используется объем теплового аккумулятора в случае применения единого корпуса, заполненного в начале процесса горячим теплоносителем.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

В процессе работы горячий теплоноситель забирается из верхней части аккумулятора, а отработанный подается в нижнюю его часть. Такой тип жидкостного аккумулятора называется вытеснительным. Вследствие разности плотностей горячей и холодной жидкостей может обеспечиваться малое перемешивание жидкости (эффект «термоклина»), эффективность использования вытеснительных аккумуляторов снижается вследствие потерь тепла на перемешивание между объемами горячего и холодного теплоносителя, нагрев корпусов и т. п.

Конструктивное исполнение жидкостного теплового аккумулятора во многом определяется свойствами теплоаккумулирующего материала. В настоящее время наиболее широко применяются вода и водные растворы солей, высокотемпературные органические и кремнийорганические теплоносители, расплавы солей и металлов.

В диапазоне рабочих температур 0...100 °С вода является лучшим жидким ТАМ как по комплексу теплофизических свойств, так и по экономическим показателям. Дальнейшее повышение рабочей температуры воды связано с существенным ростом давления, что усложняет проектирование корпуса, повышает его стоимость.

Кроме этого, использование наиболее распространенного вытеснительного типа аккумулятора связано с комплексом конструктивных и эксплуатационных мероприятий, обеспечивающих минимальные потери энергии.

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Цель работы** - повышение эффективности работы систем аккумуляционного децентрализованного теплоснабжения с изменяемым гидравлическим режимом.

Для достижения поставленной цели решалась следующая задача: выявить пределы регулирования тепловой мощности системы отопления с изменяемой гидравликой при работе от бака-аккумулятора в условиях снижения температурного напора и уточнить

существующую методику расчета аккумуляторной емкости для системы водяного отопления с учетом работы терморегуляторов.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Расчет требуемого объема аккумулирующей емкости выполняется по формуле [1]

Система теплоснабжения должна иметь мощность в соответствии с п. 4.2.2 EN 12828:2003 или СНиП 2.04.05-91 [2]

В данном случае, рассматривалась задача, когда источником тепловой энергии для системы отопления является аккумулирующая емкость. Тогда теплоноситель из бака-аккумулятора поступает в систему отопления, и, проходя через нагревательные приборы остывает, при этом происходит изменение количества теплоносителя, пропорционально требуемому количеству тепла для данного помещения (данное соответствие обеспечивается количественным регулированием термостатическими клапанами на нагревательных приборах). То есть для определения фактического времени поддержания требуемой температуры в помещении за счет тепловой энергии бака-аккумулятора необходимо сравнить изменение количества тепловой энергии, поступающей в помещение от нагревательных приборов при охлаждении теплоносителя с учетом увеличения расхода теплоносителя с располагаемым на данный период количеством тепла в аккумуляторе.

Расчет тепловой мощности нагревательного прибора выполнен по действующей методике, приведенной в [3].

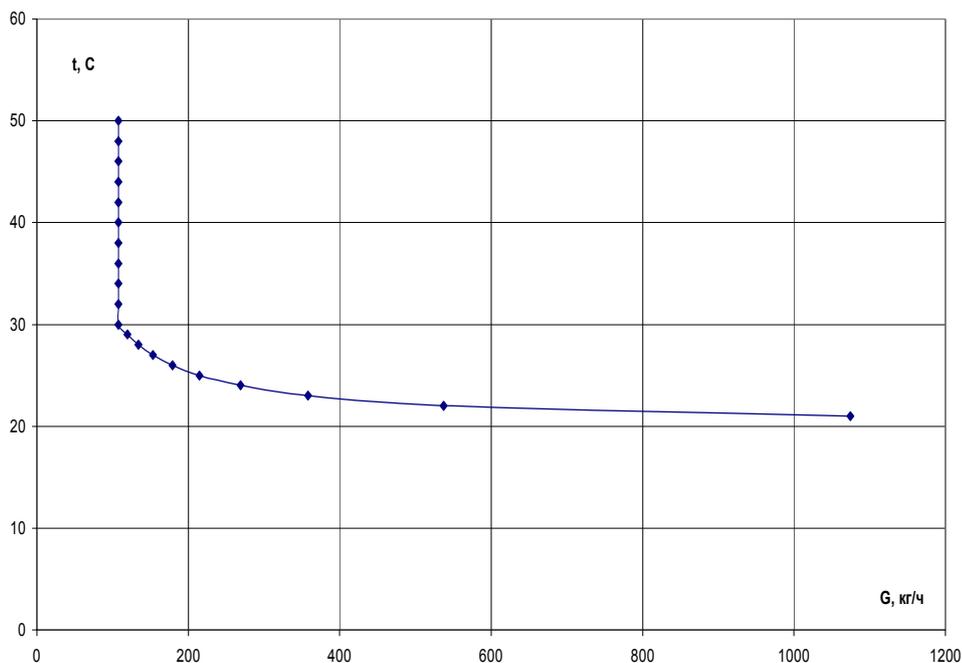
Для определенности в задаче принят температурный перепад 80-60 С, тепловая мощность системы отопления – 2500 Вт, в качестве нагревательного прибора принят стальной радиатор с коэффициентом теплоотдачи 4.9 Вт/м<sup>2</sup>К, система отопления принята двухтрубной.

Расчет проводился в следующем порядке:

1. Определялось количество тепловой энергии, необходимой для поддержания заданной (20 С) температуры в помещении.
2. Рассчитывался объем бака-аккумулятора (время его работы в качестве источника тепла принято равным 6 ч.).
3. Определялось количество теплоносителя в расчетный перепад температур в системе отопления (80-60 С).
4. Рассчитывалась количество тепла, отдаваемое нагревательными приборами в помещение с учетом изменения температурного перепада и соответствующего ему изменения расхода теплоносителя.

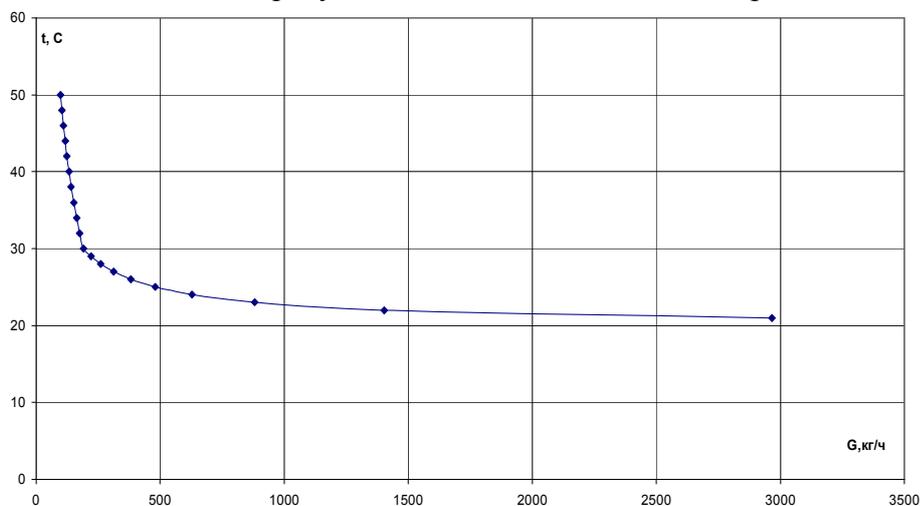
### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ**

Полученные данные представлены на рис. 1-5. Анализ зависимости изменения расхода теплоносителя, необходимого для поддержания заданной температуры, от снижения температурного перепада (рис.2.1) (с учетом постоянства температуры воздуха в помещении), показал, что расход остается постоянным до достижения перепада температур теплоносителя 60-40 С, а после происходит резкое возрастание расхода, вызванное уменьшением располагаемого перепада температуры теплоносителя (минимально-допустимая температура в баке-аккумуляторе – 40 С). При этом следует отметить, что даже такое значительное увеличение расхода не позволяет подать в помещение требуемое количество тепловой энергии (при температурном перепаде теплоносителя 42-22 С, количество тепла подаваемого в помещение в 2.3 раза меньше требуемого), что вызывает снижение температуры в помещении ниже нормируемой (в данном случае определение снижения температуры зависит от величины тепловой инерции ограждающих конструкции помещения и оборудования, расположенного в нем).



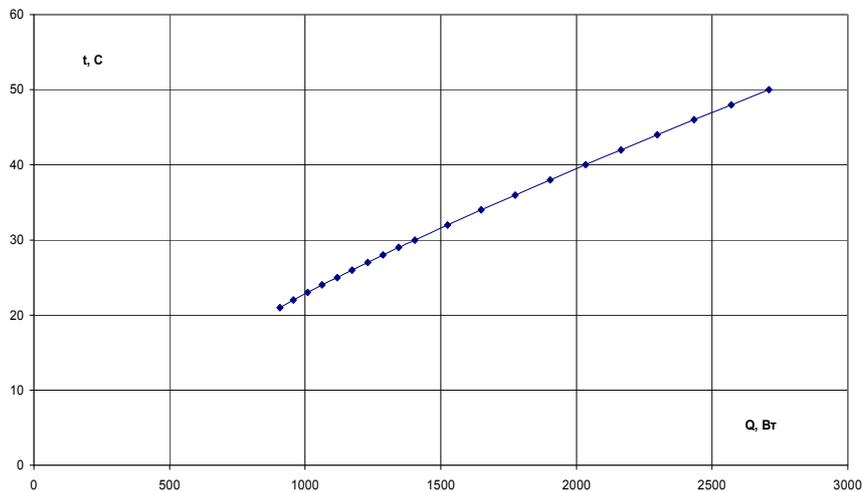
**Рис.1** Зависимость расхода теплоносителя от температурного напора в отапливаемом помещении при использовании бака-аккумулятора в качестве источника тепловой энергии.

В отличие от повышения требуемого расхода теплоносителя в системе отопления, увеличение расхода теплоносителя через нагревательный прибор происходит во всем диапазоне изменения температурного напора (рис.2), что объясняется работой термостатического клапана на нагревательном приборе. Однако, увеличение расхода в рабочем диапазоне температур (температурный напор более 30 С) незначительно, что объясняется ограниченной пропускной способностью клапана (фирмы изготовители и разработчики программ по расчету систем отопления с изменяемой гидравликой рекомендуют положение клапана от 0,3 до 0,7 от всего диапазона его работы – то есть работа клапана только в области линейного регулирования). Поскольку область регулирования термостатического клапана ограничена, увеличение расхода также не позволяет подать в помещение требуемое количество тепловой энергии.



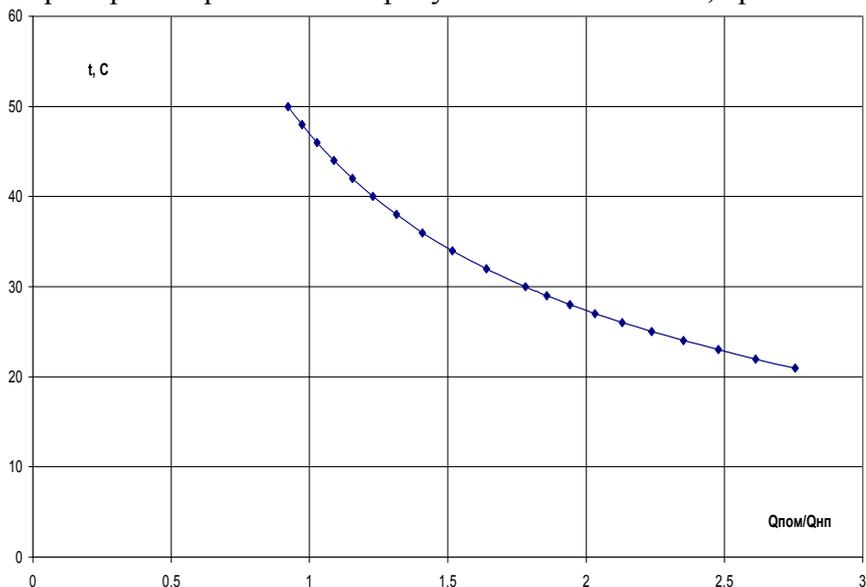
**Рис.2** Зависимость расхода теплоносителя через нагревательный прибор от температурного напора при использовании бака-аккумулятора в качестве источника тепловой энергии.

Анализ мощности нагревательного прибора показал (рис.3), что уменьшение располагаемого температурного напора в процессе работы бака-аккумулятора вызывает практически прямопропорциональное снижение тепловой мощности рассматриваемого стального радиатора. Таким образом, для более эффективного использования бака аккумулятора и увеличение времени поддержания заданной температуры в помещении необходимо выполнять расчет требуемой площади нагревательных приборов для таких систем отопления не на максимальный температурный перепад, а с учетом остывания – на средний, между максимальным и минимально-допустимым в помещении (для данного случая – это 40 С)



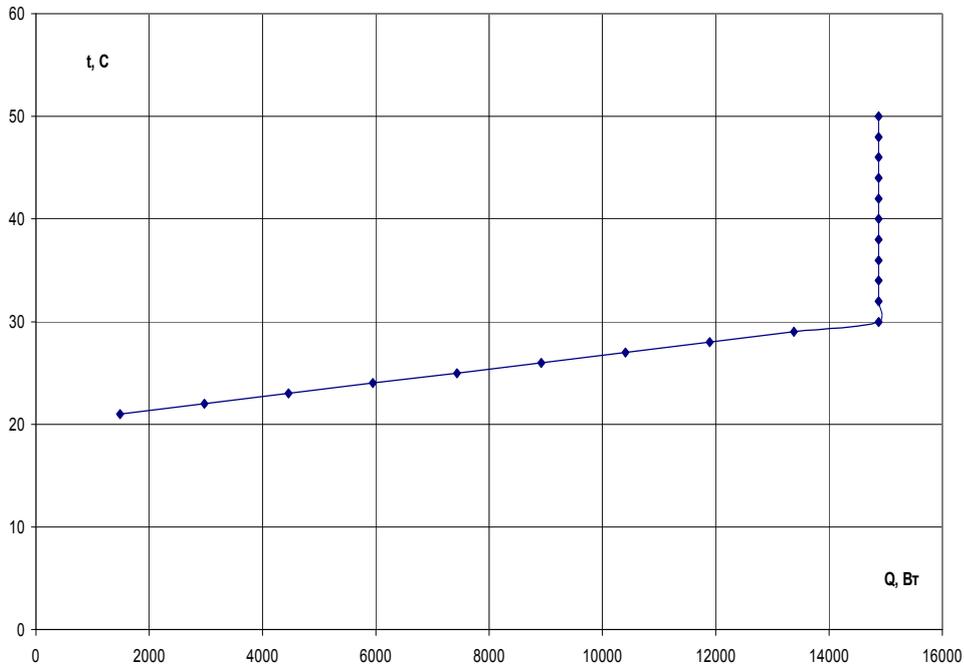
**Рис.3 Зависимость мощности нагревательного прибора от располагаемого температурного напора в отапливаемом помещении.**

В отличие от практически прямопропорциональной предыдущей зависимости, зависимость температурного напора от соотношения требуемой тепловой мощности к фактической мощности нагревательного прибора (рис.4) не является прямопропорциональной и отражает характеристику влияния работы термостатического клапана на пропускную способность нагревательного прибора и, соответственно, на тепловую мощность последнего. При этом наблюдается падение мощности в нагревательном приборе по сравнению с требуемой более чем в 2,5 раза.



**Рис.4 Зависимость соотношения требуемой тепловой мощности к мощности нагревательного прибора от располагаемого температурного напора.**

Зависимость располагаемой тепловой мощности аккумулятора от температурного напора (рис.5) практически аналогична по своему характеру зависимости изменения расхода теплоносителя, необходимого для поддержания заданной температуры, от снижения температурного перепада (рис.1) (с учетом постоянства температуры воздуха в помещении). То есть тепловая мощность бака-аккумулятора остается постоянной до достижения перепада температур теплоносителя 60-40 С, а после происходит резкое возрастание расхода, вызванное уменьшением располагаемого перепада температуры теплоносителя (минимально-допустимая температура в баке-аккумуляторе – 40 С).



**Рис.5 Зависимость располагаемой тепловой мощности аккумулятора от температурного напора.**

### ВЫВОДЫ.

1. Основными элементами, которые формируют температурный режим отапливаемого помещения являются нагревательный прибор и терморегулятор. При этом терморегулятор управляет работой нагревательного прибора количественным методом регулирования, но обладает ограниченным диапазоном пропускной способности, что недостаточно для обеспечения поддержания заданной температуры в помещении.

2. Увеличение скорости движения теплоносителя в системе отопления не приводит к существенному увеличению теплоотдачи в нагревательных приборах, работающих от источника тепловой энергии – бака аккумулятора. При этом нехватка тепловой мощности от нагревательного прибора достигает 2-2,5 раз.

3. Для более эффективного использования бака аккумулятора и увеличение времени поддержания заданной температуры в помещении необходимо выполнять расчет требуемой площади нагревательных приборов для таких систем отопления не на максимальный температурный перепад, а с учетом остывания – на средний, между максимальным и минимально-допустимым в помещении.

4. В зависимости по определению требуемого объема бака-аккумулятора необходимо наряду с учетом температурного перепада теплоносителя ввести корректирующее соотношение максимального и минимального температурного напора – тогда увеличение объема аккумулятора позволит использовать тепловую его мощность в течении расчетного периода использования бака в качестве теплового источника системы отопления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкції будинків і споруд. ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ БУДІВЕЛЬ, ДБН В.2.6-31:2006. МБАЗКГ України, 2006, с.87.
2. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: Стройиздат, 1991.
3. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч1. Отопление. /В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Сканави. -М. : Стройиздат, 1990. -344с.

УДК 697.317.42

**Зайцев О.Н.** д.т.н., профессор, **Верламов А.М.**, ст. н.с., **Ангелюк И.П.** аспирант  
*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СТОКОВ НА НУЖДЫ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Использование тепла канализационных стоков может сократить расход топливно-энергетических ресурсов и уменьшить количество выбросов загрязняющих веществ.

**Канализационный стоки, расход, тепло, отопление, тепловой насос, экономия.**

### ВВЕДЕНИЕ

Стоки в жилых зданиях – это секундно-отработавшая вода от душей рукомойников, унитазов и т.д. Количество и температура (около 20°C) стоков остаются постоянными в течении года, это делает их удобными для использования в качестве низкотемпературного теплоисточника для теплового насоса.

Использование тепла канализационных стоков – ещё один шаг реализации программы энергосбережения зданий и повышения их энергонезависимости.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На данный момент в технической литературе нет методики расчета количества тепла, которое можно получить от канализационных стоков в жилых зданиях. В статье [1] описана установка с тепловым насосом, использующим в качестве теплоисточника тепло канализационных стоков и грунта, и получены опытным путем некоторые физические характеристики этой установки, в частности тепло отнимаемое от стоков. В технической литературе ведущих мировых фирм, выпускающих теплонасосное оборудование, также нет методики подбора данного оборудования для утилизации тепла канализационных стоков.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель данной статьи – рассчитать количество тепла, которое можно получить от канализационных стоков. Задачей является определение эффективности использования теплонасосного оборудования, работающего от тепла стоков для компенсации теплопотребности системы отопления.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика исследований заключается в определении с помощью нормативной, технической литературы, количества стоков, их температуры, сравнении количества тепла, производимого ТН с теплопотребностью системы отопления.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Исследование проводим для одноподъездного 10-и этажного 38-и квартирного жилого дома с числом жителей – 80 человек, расположенного в Симферополе. Согласно

расчету, теплотребность системы отопления при расчетных условиях составляет 130 кВт, теплотребность за отопительный период равна 244858 кВт. В каждой квартире установлены ванна с душем, умывальник, раковина, унитаз со смывным бочком. Данные по расходу воды жителями принимаем согласно СНиП 2.04.01-85\* «Внутренний водопровод и канализация зданий» [2].

Согласно пп.3.12 [2] суточный расход стоков необходимо принимать равным водопотреблению без учета расхода воды на поливку:

$$q_s = q_{tot} \quad (1)$$

где  $q_s$  - суточный расход стоков;  $q_{tot}$  - суммарное водопотребление горячей и холодной воды.

Для определения количества и температуры сточных вод необходимо определить расход отдельно холодной и горячей воды.

По данным прил.3 [2] определяем два показателя водопотребления: первый - для максимально нагруженных часов водоразбора (утро, вечер), второй - среднее водопотребление за сутки:

-час наибольшего водопотребления, [ $л/ч$ ]:

$$Q_{hr,u} = q_{hr,u} \cdot U \quad (2)$$

где  $q_{hr,u}$  - норма расхода воды в час наибольшего водопотребления на одного человека,  $q_{hr,u}^h = 10 л/ч \cdot чел$  - горячей,  $q_{hr,u}^c = 5,6 л/ч \cdot чел$  - холодной, определяемая согласно приложению 3[2];  $U$  - количество потребителей, [ $чел$ ];

-средние сутки водопотребления, [ $л/сут$ ]:

$$Q_{u,m} = q_{u,m} \cdot U \quad (3)$$

где  $q_{u,m}$  - норма расхода воды в средние сутки водопотребления на одного человека,  $q_{u,m}^h = 105 л/сут \cdot чел$  - горячей,  $q_{u,m}^c = 145 л/сут \cdot чел$  - холодной, определяемая согласно приложению 3[2];  $U$  - количество потребителей, [ $чел$ ];

Рассчитываем температуру стоков отдельно для двух этих показателей по формуле:

$$t_{cm} = \frac{t_c \cdot m_c + t_h \cdot m_h}{m_c + m_h} \quad (4)$$

где  $t_{cm}$  - результирующая температура смеси, [ $^{\circ}C$ ];  $t_c$  - температура холодной воды, равная  $5^{\circ}C$ ;  $t_h$  - температура горячей воды, равная  $55^{\circ}C$ ;  $m_c$  - масса стоков холодной воды, [ $кг$ ];  $m_h$  - масса стоков горячей воды, [ $кг$ ].

Результаты расчета сводим в таблицу 1.

Таблица 1

	Расход гор. воды $Q^h, м^3/ч$	Расход хол. воды $Q^c, м^3/ч$	Температура смеси $t_{cm}, ^{\circ}C$	Масса смеси $m_{cm}, кг$
Час наибольшего водопотребления	0,8	0,448	36,9	1241,6
Средние сутки водопотребления	8,4	16	22,1	24332,8

Периоды с 6.00 до 9.00 и с 18.00 до 22.00 наиболее нагруженные, достигается максимальный часовой расход стоков ( $Q = 1,248 м^3/ч$ ). Периоды с 9.00 до 18.00 и с 22.00 до 6.00 расход стоков среднесуточный ( $Q = 0,92 м^3/ч$ ).

Для повышения потенциала теплоносителя отбор тепла будем осуществлять тепловым насосом. Согласно данным [3], оптимальное понижение температуры

теплоисточника 5-7°C. Исходя из этого определим количество тепла, которое можно отобрать от стоков:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t, \quad (5)$$

где  $m$  - масса стоков, [кг];  $c$  - теплоемкость стоков,  $c_{cm} = 4,18 \text{ кДж/кг} \cdot \text{K}$ ;  $\Delta t$  - понижение температуры теплоисточника, [°C].

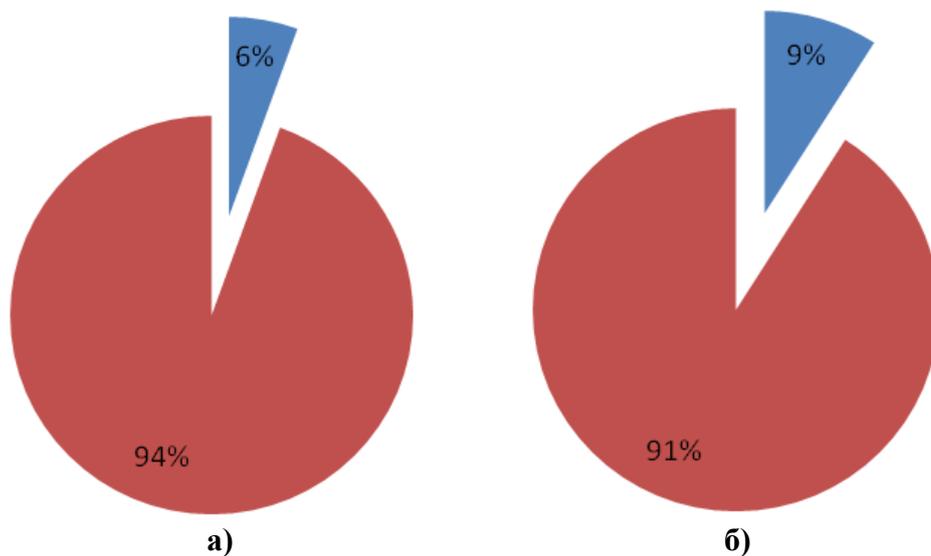
Результаты расчета сводим в таблицу 2.

Таблица 2

	Максимально часовой расход стоков	Среднесуточный расход стоков за час	Суточный расход стоков	Расход стоков за отопительный период
Тепло, отнимаемое от стоков, кВт	7,2	5,3	141,6	22089

По технической литературе подбираем тепловой насос Logatherm WPS 9 K фирмы Buderus, тепловой мощностью 9 кВт, потребляемая мощность компрессора - 2 кВт [4].

Согласно данным таблицы строим сравнительную диаграмму компенсации теплотребности системы отопления традиционным теплоисточником и ТН.



**Рис. 1. Диаграмма компенсации теплотребности системы отопления. а – при расчетной мощности системы отопления (130 кВт) 6% тепловым насосом; б – за отопительный период (244858 кВт) 9% тепловым насосом.**

По данным диаграммы рассчитываем экономию от использования теплового насоса, работающего от тепла стоков, по сравнению с вариантом отопления газовым котлом.

Согласно тарифу на газ потребитель попадает в категорию свыше 12 тыс. м<sup>3</sup> в год и стоимость 1 м<sup>3</sup> природного газа для него равна 268,56 грн. Для отопления за отопительный период израсходуется 23773 м<sup>3</sup> газа, стоимостью  $C_1 = 6384477$  грн. По данным диаграммы, ТН компенсирует 9% теплотребности системы отопления за отопительный период, т.е. израсходуется 21633 м<sup>3</sup> газа, стоимостью  $C_2 = 5809759$  грн. На привод компрессора ТН расходуется 2 кВт/ч, предположим, что он работает непрерывно в течении отопительного сезона, значит израсходуется 7488 кВт электроэнергии, при тарифе 0,24 грн/кВт стоимость составит  $C_3 = 1797$  грн. Тогда экономия от использования теплового насоса составит:

$$C = C_1 - C_2 - C_3 = 6384477 - 5809759 - 1797 = 572921 \text{ грн}.$$

## ВЫВОДЫ

1. Для жилого дома на 80 человек расход стоков равен:  $Q = 1,248 \text{ м}^3/\text{ч}$  - в час наибольшего водопотребления (температура стоков  $t_{\text{см}} = 36,9^\circ \text{C}$ );  $Q = 0,92 \text{ м}^3/\text{ч}$  - в среднесуточный час водопотребления (температура стоков  $t_{\text{см}} = 22,1^\circ \text{C}$ ).
2. При расчетной нагрузке тепловой насос, работающий от тепла стоков, компенсирует 5% теплопотребности системы отопления.
3. За отопительный период тепловой насос покрывает 9% теплопотребности.
4. За отопительный период экономия от использования ТН, работающего от тепла канализационных стоков, составит 572921 грн.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Ф. Гершкович. Исследование работы теплового насоса, использующего теплоту грунта и канализационных стоков, в системе горячего водоснабжения. Энергосбережение в зданиях №3-2007 (№34).
2. СНиП 2.04.01-85\* «Внутренний водопровод и канализация зданий».
3. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. — М.: Энергоиздат, 1982. — 224 с, ил.
4. Каталог продукции Vuderus. Рассольно-водяной отопительный тепловой насос Logatherm. Каталог отопительной техники 2009г.

УДК 662.612—428.4

**Зайцев О.Н., Кимаковский К.Н.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства.*

**Борисенко К.И., Шмоняк В.И.,**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры.*

## ЗАВИСИМОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ АККУМУЛЯТОРОВ ОТ ВИДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

*В результате теоретического моделирования тепло-гидравлических процессов в аккумуляторах при использовании в системе отопления различных теплоносителей выявлено, что данной конструкции существует значительная неравномерность скорости в объеме бака-аккумулятора. Предложена конструкция аккумулирующей емкости, за основу которой взята конфигурация профиля линий тока при движении твердого теплоносителя.*

**Аккумулятор, теплоноситель, система водяного отопления.**

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Рассмотрение существующих аккумуляционных устройств, применяющихся в современных системах отопления показало, что в подавляющем большинстве устройств аккумулирования тепла является жидкостные теплоаккумуляторы, как правило с одним корпусом цилиндрической формы, заполненной в начале процесса горячим теплоносителем [1].

В процессе работы горячий теплоноситель забирается из верхней части аккумулятора, а отработанный подается в нижнюю его часть. Такой тип жидкостного аккумулятора называется вытеснительным. Наиболее эффективно использование бака-аккумулятора, если вследствие разности плотностей горячей и холодной жидкостей может обеспечиваться малое перемешивание жидкости, эффективность использования

вытеснительных аккумуляторов снижается вследствие потерь тепла на перемешивание между объемами горячего и холодного теплоносителя, нагрев корпусов и т. п.[2].

Кроме этого, использование наиболее распространенного вытеснительного типа аккумулятора связано с комплексом конструктивных и эксплуатационных мероприятий, обеспечивающих минимальные потери энергии.

Поскольку современные системы водяного отопления работают в температурном диапазоне 80-60 °С, давление 10-45 кПа, скорость движения теплоносителя от 0,2 до 2 м/с [3], то необходимо рассмотреть распределение скорости и температуры в баке-аккумуляторе при использовании различных по плотности и вязкости теплоносителей.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

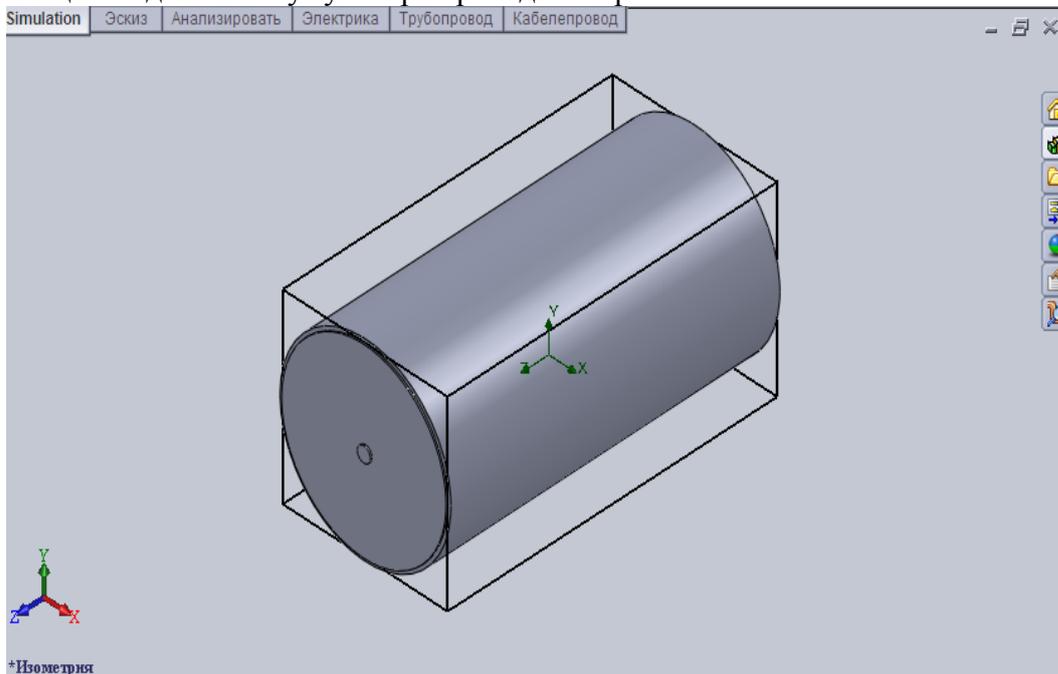
**Цель работы** - повышение эффективности работы аккумуляционного бака при использовании различных по плотности и вязкости теплоносителей..

Для достижения поставленной цели решалась следующая задача: получить пространственное распределение линий тока при численном решении уравнений Навье-Стокса с заданными граничными условиями для данных условий работы бака-аккумулятора и на основании чего разработать рациональную конструкцию аккумулятора.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование выполнено с использованием достаточно надежных и апробированных программных комплексов, позволяющие получить пространственное распределение линий тока при численном решении уравнений Навье-Стокса с заданными граничными условиями для данной задачи. В данной модели теплоноситель (последовательно исследовались воздух, вода и полистирол природный) подавались с определенной расходом через осевой патрубок со скоростью 2 м/с. Температура теплоносителя задавалась как функция от времени с учетом остывания.

Общий вид бака-аккумулятора приведен на рис.1.

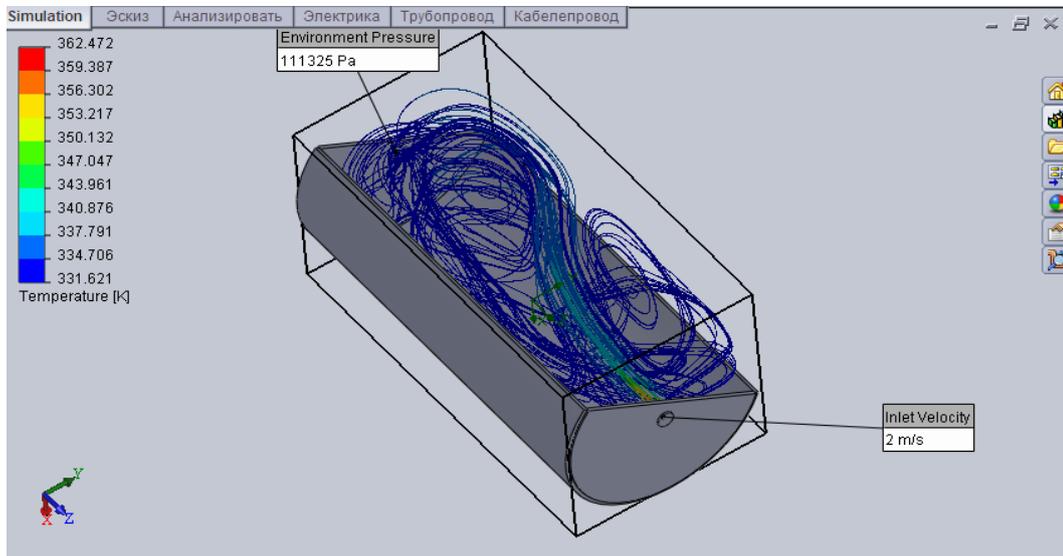


**Рис.1** Общий вид бака-аккумулятора для систем отопления

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

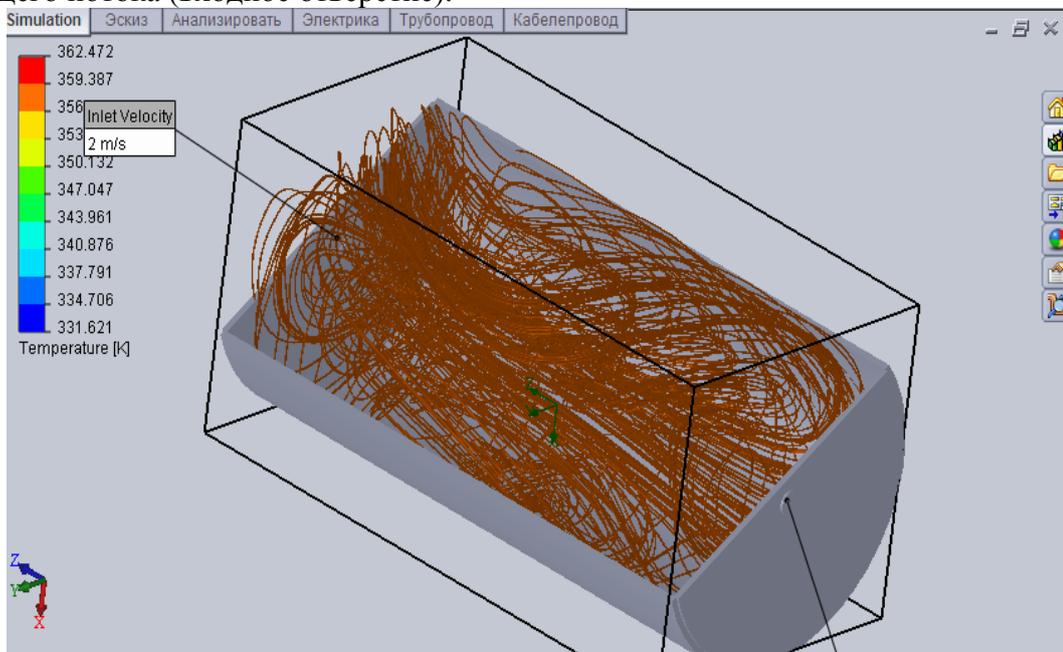
Приведенные изолинии поля скорости при использовании воздуха в качестве теплоносителя (рис.2) позволяют сделать вывод о существенной неравномерности скорости в объеме бака-аккумулятора, что, соответственно, предполагает значительное перемешивание охлажденного теплоносителя, попадающего в бак из системы отопления и горячего – находящегося в баке, что снижает температуру теплоносителя подающегося в

систему отопления. Кроме того, из-за такой неравномерности возникают возвратно-вихревые движения внутри бака-аккумулятора, показанные на рис.2, что интенсифицирует теплообменные процессы между наружной стенкой бака и окружающей средой, что также снижает эффективность работы аккумулирующей емкости. Температурная неравномерность очевидна из цветовой гаммы линий тока движения теплоносителя.



**Рис.2** Линии тока теплоносителя в объеме бака-аккумулятора (воздух).

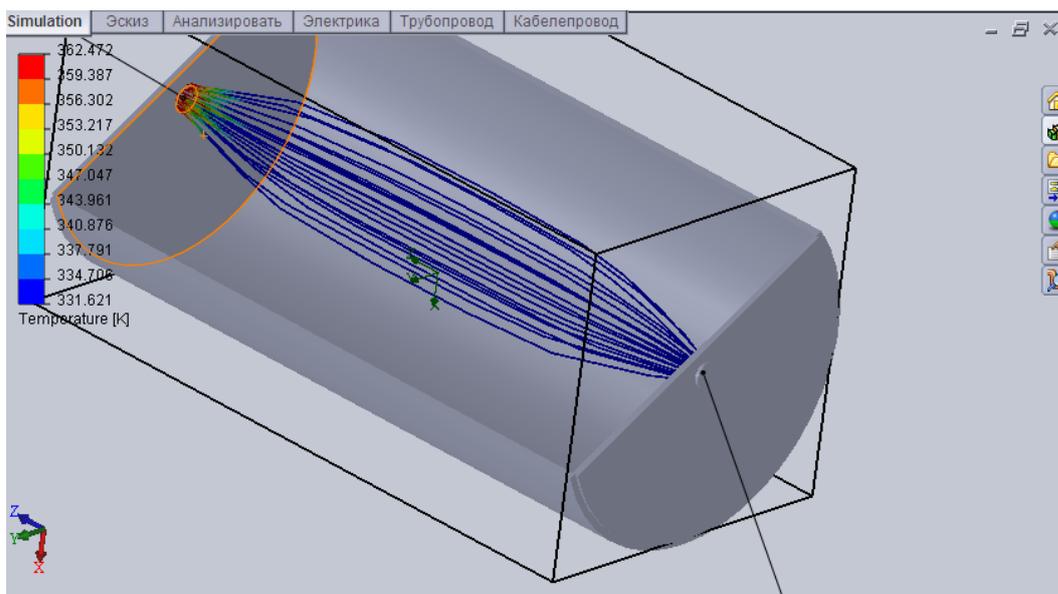
Анализ поля скорости и распределения температуры при использовании в качестве теплоносителя воды (рис.3.) показал аналогичность полученной картины. Такое распределение объясняется небольшой вязкостью теплоносителя и турбулентным их движением, а также возникновением вихревых структур при резком расширении входящего потока (входное отверстие).



**Рис.3.** Линии тока движения теплоносителя в аккумулирующей емкости (теплоноситель – вода).

В отличие от предыдущих случаев, при использовании твердого теплоносителя наблюдается движение теплоносителя только в центральной области аккумулятора, при этом перемешивание по объему бака отсутствует (рис. 4). В данном случае происходит более

быстрое охлаждение центральных слоев, а периферийные слои оказываются более нагретыми, что говорит о неэффективном использовании объема бака в процессе его работы.

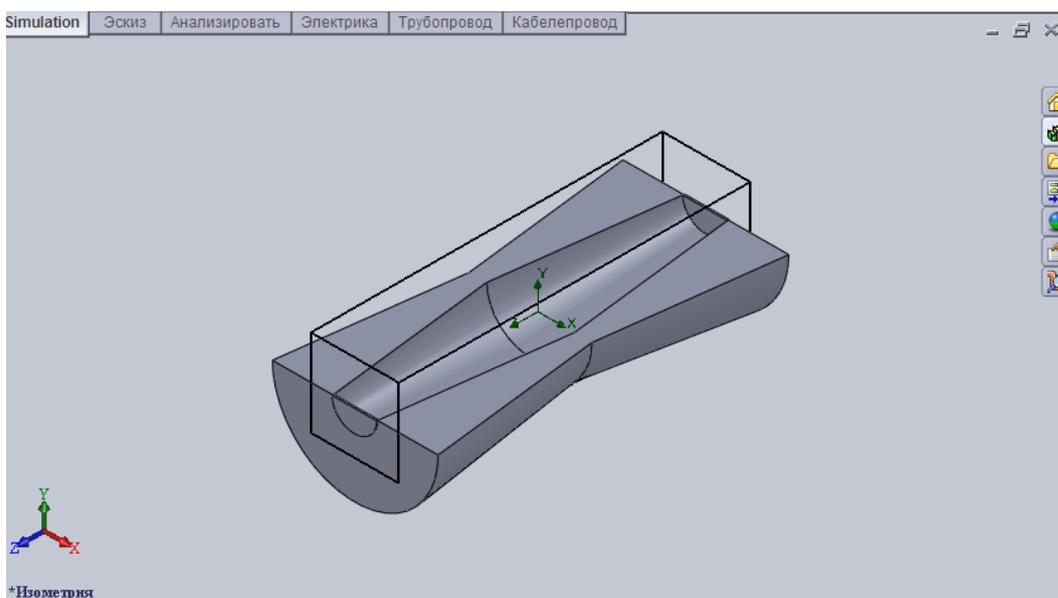


**Рис.4. Линии тока движения теплоносителя в аккумулирующей емкости (теплоноситель – полистирол).**

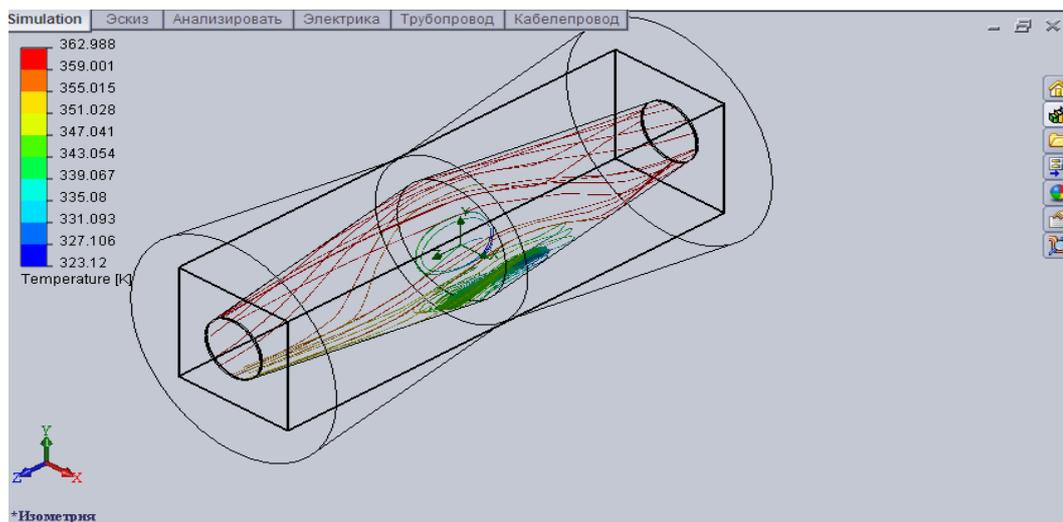
Поскольку наиболее распространенная конструкция бака-аккумулятора показала неравномерность скоростного и температурного полей, что негативно отражается на эффективности работы системы отопления, то было предложено изменить внутреннюю конструкцию аккумулирующей емкости, убрав зоны перемешивания и взяв за основу для новой конфигурации профиль линий тока при движении твердого теплоносителя. Общий вид полученной конструкции приведен на рис. 5.

Моделирование полей скорости и температуры предложенной конструкции аккумулятора выполнено при тех же условиях, как и в предыдущей конструкции.

Анализ полученного распределения скорости и температуры для теплоносителя – воздух, приведенного на рис. 6, показал, что в данном случае практически по всему объему бака-аккумулятора отсутствует возвратно-вихревое движение, и, только в центральной части конструкции наблюдается небольшая вихревая зона.

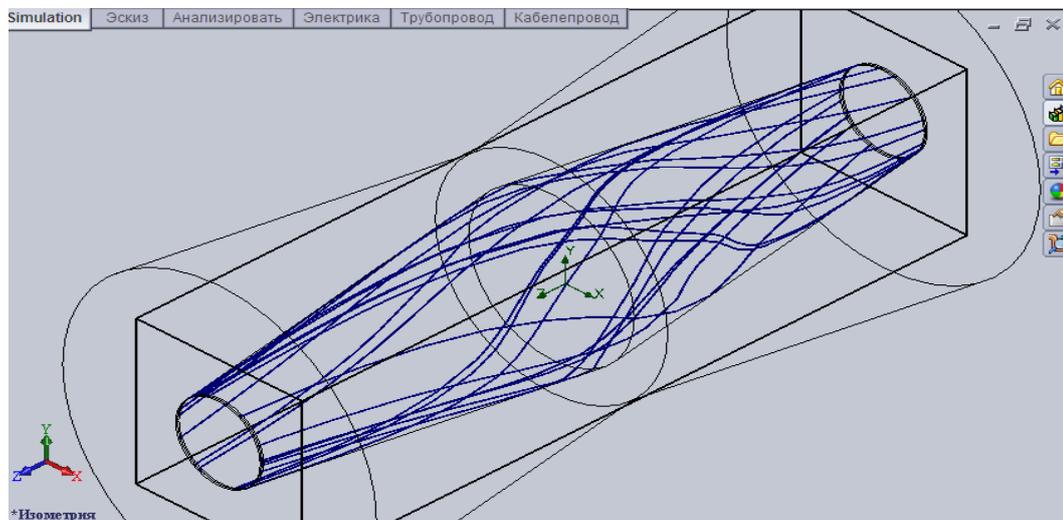


**Рис.5. Общий вид предложенной конструкции аккумулирующей емкости для системы отопления.**



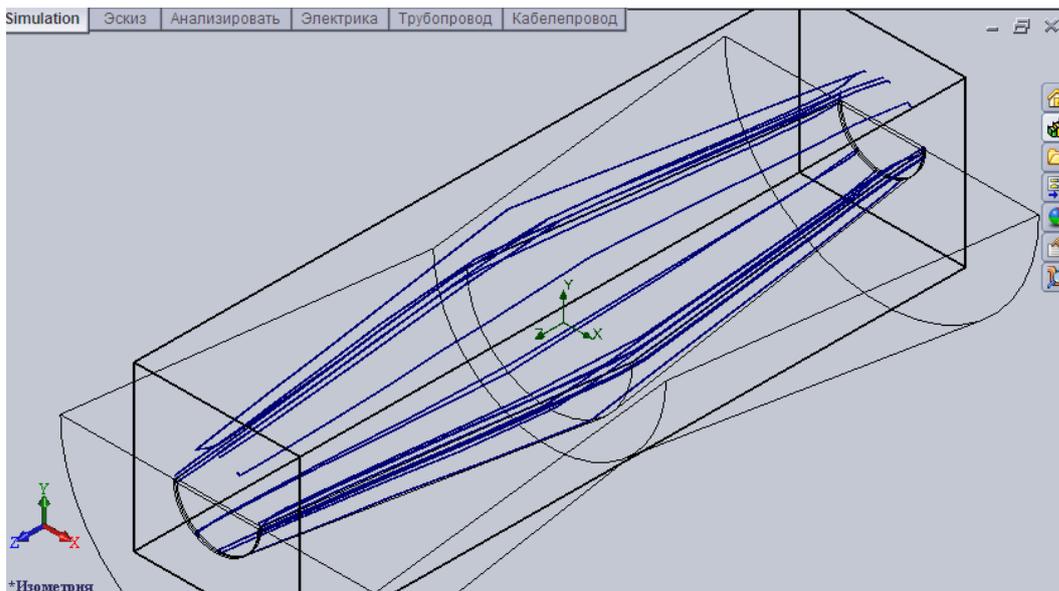
**Рис.6. Линии тока движения теплоносителя в аккумулирующей емкости (теплоноситель – воздух)**

Анализ распределения скорости и температуры, полученного при использовании воды в качестве теплоносителя (рис.7.) показал, что изолинии скорости и линии тока практически оптимальной вписываются в конструктивный профиль бака-аккумулятора, что позволяет рекомендовать такой профиль для баков аккумуляторов в системах отопления с теплоносителем - вода или аналогичными по вязкости и плотности жидкостями.



**Рис.7. Линии тока движения теплоносителя в аккумулирующей емкости (теплоноситель – вода)**

Распределение скорости и температуры, полученного при использовании полистирола в качестве теплоносителя (рис.8.) показало, что изолинии скорости и линии тока практически оптимальной вписываются в конструктивный профиль бака-аккумулятора, однако в центральной части образуется небольшая зона застоя. Данное обстоятельство позволяет предположить перегрев теплоносителя в центральной части и интенсификацию теплообмена в пристенном слое, что снижает эффективность работы аккумулятора, хотя в данном случае отсутствует перегрев значительной периферийной области, которой характеризуется предыдущая конструкция.



**Рис.8. Линии тока движения теплоносителя в аккумулирующей емкости (теплоноситель – полистирол)**

### **ВЫВОДЫ.**

1. В современных системах отопления, в подавляющем большинстве устройств аккумулирования тепла являются жидкостные теплоаккумуляторы, как правило, с одним корпусом цилиндрической формы, заполненной, в начале процесса горячим теплоносителем
2. В результате теоретического моделирования тепло-гидравлических процессов в аккумуляторах при использовании в системе отопления различных теплоносителей выявлено, что данной конструкции существует значительная неравномерность скорости в объеме бака-аккумулятора, что, соответственно, предполагает значительное перемешивание охлажденного теплоносителя, попадающего в бак из системы отопления и горячего – находящегося в баке. Кроме того, из-за такой неравномерности возникают возвратно-вихревые движения внутри бака-аккумулятора, что интенсифицирует теплообменные процессы между наружной стенкой бака и окружающей средой.
3. Разработана конструкция аккумулирующей емкости, за основу которой взята конфигурация профиля линий тока при движении твердого теплоносителя, что обеспечило выравнивание поля скорости и температуры по всему объему для теплоносителей с различной плотностью.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Конструкції будинків і споруд. ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ БУДІВЕЛЬ. ДБН В.2.6-31:2006. МБАЗКГ України, 2006, с.87.
2. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: Стройиздат, 1991.
3. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч1. Отопление. /В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Сканави. -М. : Стройиздат,1990. -344с.

Климчук А.А., к.т.н., доц., Шраменко А.Н., студ.  
Одесский национальный политехнический институт

## АККУМУЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОЧНОГО ТАРИФА НА ЭЛЕКТРО-ЭНЕРГИЮ

*Рассмотрены аккумуляторные системы теплоснабжения общественных зданий с двухпериодным режимом работы. Предложена схема комбинированного теплоснабжения с применением хромагнетитовых аккумуляторов тепла на ночной тариф электро-энергии.*

**Аккумуляторы тепла, системы теплоснабжения.**

### Введение

Рациональное использование энергоресурсов сегодня является одной из приоритетных задач. Одним из направлений решения – снижение энергопотребления в системах коммунального теплоснабжения. В настоящее время рассматриваются различные комбинированные схемы теплоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии, позволяющие в значительной мере заместить традиционные энергоресурсы. Однако природные возобновляемые источники (солнце, воздух, грунт), как правило, характеризуются большой неравномерностью получаемой тепловой мощности. Поэтому всегда необходим резервный источник тепла, как правило, это газовый котел. Однако в целом ряде зданий используются электро-котлы. В этом случае целесообразно для нужд теплоснабжения использовать ночной тариф на электроэнергию.

### Цель работы и анализ публикаций

*Цель работы* – анализ существующего состояния систем теплоснабжения с использованием ночного режима аккумуляции тепла и разработка схемы комбинированного теплоснабжения с применением ночного тарифа на электроэнергию.

**Использование ночного тарифа электроэнергии.** Как известно, график потребления электроэнергии является очень неравномерным. Пики потребления в среднем приходятся на утренний период между 8:00 и 11:00 и на вечерний период между 18:00 и 21:00 часами. В ночное время наблюдается провал в потреблении. Такой график отрицательно влияет на эффективность работы электростанций, поэтому введён дифференцированный тариф на электроэнергию, для использования которого необходим многотарифный счётчик.

Согласно ему, ставки тарифов, дифференцированных по периодам времени, определяются путем умножения величины розничного тарифа, на тарифный коэффициент для соответствующего периода времени. Тарифные коэффициенты приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Тарифные ставки на электроэнергию**

<b>Двухзонный учет</b>		
Зона	Время суток	Тарифный коэффициент
День	с 7.00 до 23.00	1
Ночь	с 23.00 до 7.00	0,7
<b>Трёхзонный учет</b>		
Зона	Время суток	Тарифный коэффициент
Пик	с 8.00 до 11.00 с 20.00 до 22.00	1,5
Полупик	с 7.00 до 8.00 с 11.00 до 20.00	1,0
Ночь	С 23.00 до 7.00	0,4

Как видно, при двухзонном учёте электроэнергия ночью стоит на 30% дешевле, а при трёхзонном – на 60%. Эту дешёвую электроэнергию целесообразно использовать для аккумуляции тепла ночью.

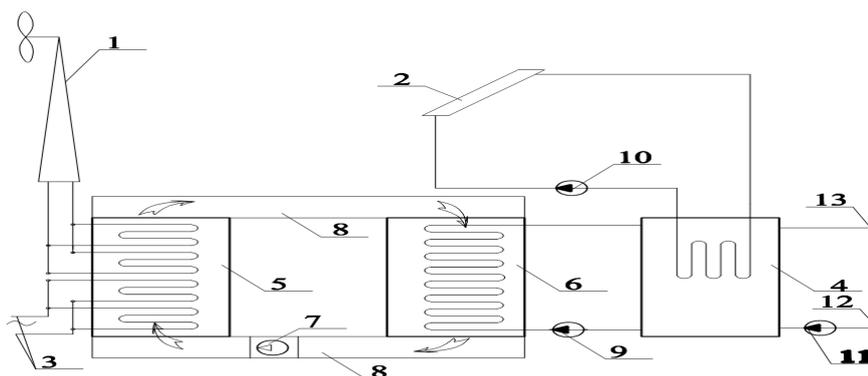
**Применение ночного аккумулирования.** Аккумулирование тепла в системах теплоснабжения зданий является одним из перспективных направлений в сфере энергосбережения [1]. В первую очередь это касается общественных зданий, система теплоснабжения которых функционирует по двухпериодному графику: в дневной период температура в помещениях поддерживается на необходимом уровне в соответствии с нормами, а в ночной период устанавливается дежурная температура не ниже +5 °С. При этом в дневной период и используется тепло, аккумулированное ночью. Наглядным примером зданий, которые могут работать по двухпериодному режиму, являются школы.

Для аккумулирования тепла довольно часто используются строительные конструкции здания, например пол. В ночной период он нагревается, (т.е. «заряжается»), а днём отдаёт тепло, компенсируя теплопотери помещений. Однако в этом случае трудно добиться поддержания температуры на заданном уровне. Также применение данного принципа ведёт к значительным капитальным расходам при реконструкции уже существующих зданий.

Более рационально в существующих системах отопления использовать специальные устройства – аккумуляторы тепла, которые позволяют не изменять внутреннюю систему отопления.

**Применение магнетитовых аккумуляторов.** В качестве аккумулирующих веществ чаще всего используются жидкие и твёрдые материалы [2]. Из жидких материалов лучшими свойствами обладает вода. Однако её использование ограничено температурой 100 °С (дальнейшее увеличение температуры ведёт к повышению давления и удорожанию аккумулирующей ёмкости). Использование твёрдых веществ позволяет значительно повысить рабочие температуры и, следовательно, уменьшить аккумулирующий объём. Лучшими свойствами для этих целей обладает хромомагнетит, относящийся к огнеупорным материалам. По сравнению с другими твёрдыми материалами он имеет относительно высокую теплоёмкость и теплопроводность. Высокая теплоёмкость позволяет запастись большим количеством тепла в данном объёме, а высокая теплопроводность влияет на скорость распространения тепла по сечению, что сказывается на уменьшении температурных напряжений.

На рис. 1 представлена схема аккумуляционного теплоснабжения с использованием хромомагнетитовых блоков.



**Рис. 1.** Схема аккумуляционной системы теплоснабжения с использованием хромомагнетитовых блоков. 1 – ветрогенератор, 2 – группа солнечных коллекторов, 3 – центральные сети электроснабжения, 4 – водяной бак-аккумулятор, 5 – аккумулятор тепла на основе твердых материалов, 6 – водо-воздушный теплообменник, 7 – циркуляционный вентилятор, 8 – система воздуховодов, 9 – циркуляционный насос бака-аккумулятора, 10 – циркуляционный насос группы солнечных коллекторов, 11 – циркуляционный насос системы теплоснабжения здания, 12 - 13 – обратная и подающая магистраль системы теплоснабжения здания.

Электрическая энергия от сети посредством ТЭНов преобразуется в тепловую и аккумулируется в хромагнетитовых блоках. Теплоноситель системы теплоснабжения нагревается за счёт использования промежуточного воздушно-водяного теплообменника и накапливается в баке-аккумуляторе. При этом используется дополнительный теплоноситель – воздух. Схема предусматривает возможность использования возобновляемых источников энергии: ветра - для получения электрического тока и нагрева хромагнетитовых блоков и солнца - для нагрева теплоносителя в баке-аккумуляторе. При применении ветроустановки в данном случае общая ее стоимость уменьшается вдвое, так как нет необходимости использовать инвертор и электрические аккумуляторы.

Как показывают расчеты применение данной схемы способно уменьшить потребление энергоресурсов на 50 % от потребности в тепловой энергии.

### **ВЫВОДЫ.**

Предложенная схема теплоснабжения зданий с использованием хромагнетитовых аккумуляторов тепла позволяет интегрироваться в существующую систему отопления и отчасти сглаживать график энергопотребления, что в свою очередь ведет к увеличению КПД электростанций. Эксплуатационные затраты на нужды теплоснабжения могут быть снижены на 50%.

Представленное схемное решение позволяет использовать энергию солнца и ветра для частичного замещения традиционных энергоносителей.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Левенберг В.Д. Аккумуляция тепла/ В.Д.Левенберг, М.Р.Ткач, В.А.Гольстрем. – Киев: Техника, 1991. – 84 с.
2. Бекман Г. Тепловое аккумуляция энергии/ Г.Бекман, П.Гилли. – Москва: Мир, 1987.– 271 с.

УДК 697

**Маркин А.В., доцент**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## **ОЦЕНКА ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРЕЮЩЕЙ ПАНЕЛИ НАПОЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ МЕЖЭТАЖНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ**

*Приведены результаты теоретических исследований способности греющей панели напольного отопления расположенной в межэтажном перекрытии аккумулировать тепло в условиях квазистационарного теплового режима с учетом теплового потока в нижерасположенное помещение при различных конструктивных характеристиках системы напольного отопления.*

**Тепловая инерция, греющая панель, напольное отопление, сопротивление теплопередаче, тепловой поток.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время наиболее совершенными в техническом и экологическом отношении являются системы панельного, в том числе напольного отопления. Оно обладает высокими гигиеническими показателями, обеспечивает чувство теплового комфорта благодаря равномерному распространению тепла по всем внутренним

поверхностям ограждений помещения и оптимальному вертикальному распределению температуры воздуха.

К существенным преимуществам напольного отопления можно отнести следующее: изменение температуры воздуха по высоте близко к оптимальному распределению, что влечет за собой повышение температурного комфорта; уменьшение скорости движения конвекционных потоков; понижение температуры теплоотдающих поверхностей; способность саморегуляции тепловой мощности в результате изменения внутренней температуры в помещении; невысокая температура теплоносителя в установках напольного отопления дает возможность эффективно использовать возобновляемые источники тепловой энергии, такие как геотермальные воды, энергия солнца и окружающей среды, а также газовые конденсационные котлы.

В то же время применение напольного отопления подвержено некоторым ограничениям: максимальная удельная теплопроизводительность поверхности пола составляет  $100 \text{ Вт/м}^2$ ; не все типы лицевого покрытия могут применяться при напольном отоплении; тепловая инерция значительно выше, чем в других системах отопления.

Два первых ограничения существенно не влияют на положительные качества напольного отопления, так как они легко устранимы применением лицевых покрытий, которые при нагревании до эксплуатационных температур выделяют допустимое количество веществ с нормируемой концентрацией и устройством достаточной теплоизоляции наружных ограждающих конструкций для снижения расчетной удельной теплопроизводительности поверхности греющей панели ниже  $100 \text{ Вт/м}^2$ .

Высокая тепловая инерция греющих панелей значительно усложняет регулирование теплоотдачи отопительного прибора, для решения этой проблемы в настоящее время предлагаются комбинированные системы отопления. Комбинированная система состоит из основной, как правило, теплого пола обеспечивающего часть тепловой нагрузки на отопление и малоинерционной радиаторной или воздушной системы обеспечивающей пиковые теплотребности помещения. Управление тепловой мощностью малоинерционных отопительных приборов осуществляется в основном регуляторами прямого действия по температуре воздуха помещения, что позволяет системе быстро реагировать на изменения теплового режима помещения, теплопоступления либо теплопотери. Комбинированные системы такого типа позволяют повысить энергоэффективность отопления и получить более комфортные условия в помещении, но увеличивают капитальные и эксплуатационные затраты.

## **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Целью работы было получение зависимости количества тепла аккумулированного греющей панелью, которое при ее охлаждении передается в отапливаемое помещение от конструктивных характеристик системы напольного отопления в условиях квазистационарного теплового режима.

Для достижения поставленной цели в работе теоретически исследовалось влияние толщины панели, шага труб с теплоносителем с учетом теплового потока в нижерасположенное помещение на теплоаккумулирующую способность греющей панели напольного отопления.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРЕЮЩЕЙ ПАНЕЛИ НАПОЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ**

На изменение температуры в помещении при регулировании тепловой мощности напольного отопления существенное влияние оказывает теплоемкость отопительной панели. Температура массива материала панели в момент начала процесса регулирования превышает температуру помещения, а ее охлаждение происходит в условиях небольшого снижения температуры внутреннего воздуха. Примерно в таких же условиях происходит процесс нагрева панели после возобновления подачи тепловой энергии. Чем больше теплоемкость панели, тем значительней разница между количеством тепла  $Q_{\text{мин}}$ , отданного

теплоносителем массиву панели в каждый момент времени, и теплом  $Q_{np}$ , переданного помещению теплоотдающей поверхностью греющей панели при нестационарном режиме теплопередачи в процессе регулирования тепловой мощности.

Теплоотдачу напольного нагревательного прибора  $Q_{np}$  в отапливаемое помещение, определяют с помощью уравнения в виде

$$Q_{np} = q_g F_n \quad (1)$$

где  $q_g$  – удельный тепловой поток от греющей панели, поверхностью которой является пол, по направлению в «верх»,  $Bm / m^2$ ;  $F_n$  – площадь теплоотдающей поверхности,  $m^2$ .

В основу аналитического метода расчета параметров отопительной панели заложена формула определения удельного теплового потока в отапливаемое помещение  $q_g$ ,  $Bm / m^2$ , как функция от температуры поверхности пола, основанная на частном решении задачи Форхгеймера (DIN 4725)[1]

$$q_g = 8,92(t_n - t_g)^{1,1} \quad (2)$$

где  $t_n$  – температура поверхности пола,  $^{\circ}C$ ;  $t_g$  – температура воздуха в отапливаемом помещении,  $^{\circ}C$ ;

Температура поверхности пола  $t_n$ ,  $^{\circ}C$ :

$$t_n = t_g + \frac{q_g^{0,91}}{7,325} \quad (3)$$

Охлаждение греющей панели напольного отопления происходит при условии двустороннего асимметричного теплообмена, вверх через поверхность пола в отапливаемое помещение и в нижерасположенное помещение через слой утеплителя, плиту перекрытия и потолок. Отношение тепловых потоков от плоскости расположения труб с теплоносителем «вниз/вверх»  $a$ , определяется по формуле.

$$a = \frac{q_n}{q_g} = \frac{(t_{mp} - t_n) \cdot R_n^g}{(t_{mp} - t_g) \cdot R_n^h}, \quad (5)$$

где  $q_n$  – удельный тепловой поток по направлению «вниз»,  $Bm / m^2$ ;

$t_{mp}$  – температура поверхности трубы,  $^{\circ}C$ ;

$t_n$  – температура воздуха в нижерасположенном помещении,  $^{\circ}C$ ;

$R_n^g$  и  $R_n^h$  – приведенное сопротивление теплопередачи с учетом теплообмена на поверхности слоев расположенных над трубой и под трубой соответственно,  $(m^2 \cdot K / Bm)$ , определяются по методике, приведенной в нормативе [2];

Принимая температуру воздуха в нижерасположенном помещении равной расчетной, т. е. равной температуре отапливаемого помещения для определения коэффициента  $a$  с учетом зависимости (5) можно записать

$$a = \frac{R_n^g}{R_n^h}. \quad (6)$$

В соответствии с требованием норматива [3] соотношение между термическими сопротивлениями слоев пола над греющими элементами  $R^g$  и под ними  $R^h$  для межэтажного перекрытия над отапливаемым помещением должно составлять  $R^g \geq 4,0R^h$ .

Коэффициент теплоотдачи поверхности пола  $\alpha_g$ ,  $(Bm / m^2 \cdot K)$

$$\alpha_g = 8,92(t_n - t_g)^{0,1} = 7,325q_g^{0,09} \quad (7)$$

Коэффициент теплоотдачи нижней поверхности конструкции межэтажного перекрытия берется по данным норматива [2]  $\alpha_n = 8,7 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$ .

Средняя температура теплоносителя в трубах греющей панели.

$$t_m = t_e + q_e R_n^e + \frac{q_e R_{mp}^{np}}{n(1-a)} \quad (8)$$

где  $n$  – число труб в поперечном сечении пола, приходящееся на один погонный метр  $n = 1/S$ , ( $S$  – шаг труб греющей панели,  $\text{м}$ );

$R_{mp}^{np}$  – приведенное сопротивление теплопередаче стенок трубы (с учетом коэффициента теплоотдачи на внутренней поверхности трубы  $\alpha_{вн}$ , принимаемого  $400 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$  [1]),  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$  определится по формуле:

$$R_{mp}^{np} = \frac{1}{\pi \alpha_{вн} D_{вн}} + \frac{\text{LN} \frac{D_n}{D_{вн}}}{2\pi \lambda_{ст}} \quad (9)$$

где  $D_{вн}$  – внутренний диаметр трубы,  $\text{м}$ ;

$D_n$  – наружный диаметр трубы,  $\text{м}$ ;

$\lambda_{ст}$  – коэффициент теплопроводности материала стенки трубы,  $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ .

За среднюю температуру массива греющей панели  $t_m$ , °C при установившемся тепловом режиме предшествующем началу регулирования тепловой мощности можно принять температуру в точке между трубами в плоскости их расположения, которую определим по формуле [4]

$$t_m = t_{S/2} = \frac{t_m - K}{ch(S/2 \cdot \sqrt{A+B})} + K, \quad (10)$$

где  $K = \frac{At_n + Bt_e}{A+B}$  – температурный фактор;

$ch$  – гиперболический косинус значения  $(S/2 \cdot \sqrt{A+B})$ ;

$A = 1/(\lambda_n D_n R_n^n)$  – вспомогательная величина;

$B = 1/(\lambda_n D_n R_n^e)$  – вспомогательная величина;

$\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности материала панели,  $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ .

Рассматривая теплоемкую греющую панель напольного отопления как отдельный элемент конструкции межэтажного перекрытия, примем следующие допущения. Греющая панель пола относительно тонкая пластина, на поверхности которой расположены дополнительные материальные слои конструкции (лицевой слой на верхней поверхности и слой утеплителя с плитой перекрытия на нижней). При расчетах учтем эти слои как дополнительные термические сопротивления теплообмену с поверхности пластины без учета их теплоемкости. Влияние теплоемкости слоев расположенных ниже греющей панели на общий тепловой режим межэтажного перекрытия учитывается коэффициентом отношения тепловых потоков  $a$ , который определен по формуле (6).

Количество теплоты, аккумулированной массивом греющей панели теплого пола в общем случае можно определить по формуле [5]:

$$C_m = \sum_{i=1}^l \delta_i \rho_i c_i \mathcal{V}_i / \mathcal{V}_e. \quad (11)$$

где  $\delta_i, \rho_i, c_i, \vartheta_i$  – соответственно толщина, м, плотность материала, кг/м<sup>3</sup>, массовая теплоемкость, Дж/(кг·К) и избыточная температура, °С  $i$ – того слоя конструкции отопительной панели;  $\vartheta_e$ – избыточная средняя температура массива панели  $\vartheta_e = t_m - t_e, ^\circ\text{C}$ .

С учетом допущений, принятых выше и формулы (6), количество теплоты аккумулированной отопительной панелью теплого пола площадью  $F_n, \text{м}^2$ , которое при охлаждении передается через поверхность в отапливаемое помещение можно записать в виде

$$C_m = \frac{\delta_n \rho_n c_n F_n \vartheta_e}{(1+a)}. \quad (12)$$

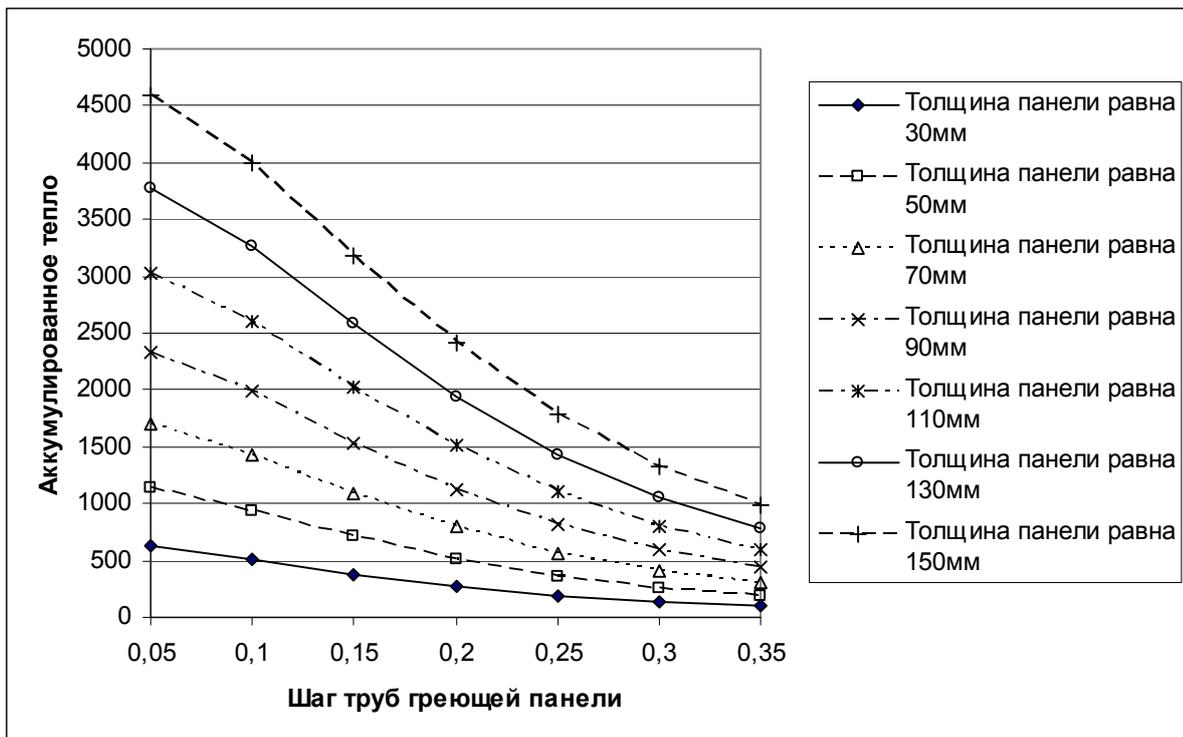
Или удельное количество теплоты  $c_m, \text{кДж/м}^2$ , аккумулированное одним квадратным метром массива греющей панели напольного отопления

$$c_m = \frac{\delta_n \rho_n c_n \vartheta_e}{(1+a)} \quad (13)$$

Рассмотрим теплоотдачу и аккумуляцию тепла в греющей панели как квазистационарный процесс, т.е. всякое изменение теплового состояния панели начинается с установившегося, стационарного режима. Приняв за расчетные, значения конструктивных характеристик эталонного теплого пола [1] представленные в таблице определим теплоаккумулирующую способность греющей панели системы напольного отопления. Зависимость удельного количества теплоты, которое передается отапливаемому помещению, аккумулированной одним квадратным метром массива греющей панели  $c_m, \text{Дж/м}^2$  от шага труб с теплоносителем  $S, \text{м}$  и толщины панели  $\delta_n, \text{м}$  при стационарном режиме в начале процесса охлаждения при расчетных температурных условиях помещения. График зависимости представлен на Рис. 1.

**Конструктивные характеристики эталонного теплого пола**

№ п/п	Характеристика	Обозначение	Ед. измерения	Значение
1	Приведенный коэффициент теплопередачи трубы	$k_{тр}^{np}$	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	6,7
2	Коэффициент теплопроводности стенки трубы	$\lambda_{ст}$	$\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,35
3	Толщина стенки трубы	$\delta_{ст}$	м	0,002
4	Наружный диаметр трубы	$D_n$	м	0,016
5	Плотность материала греющей панели	$\rho_n$	кг/м <sup>3</sup>	2400
6	Удельная теплоемкость материала панели	$c_n$	кДж/(кг·К)	0,84
7	Коэффициент теплопроводности материала панели	$\lambda_n$	$\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	1,74
8	Толщина лицевого слоя пола (керамическая плитка)	$\delta_n$	м	0,08
9	Коэффициент теплопроводности лицевого слоя	$\lambda_n$	$\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,96
10	Температура воздуха помещения	$t_e$	°С	18
11	Температура поверхности пола	$t_n$	°С	28



**Рис.1** Удельное количество теплоты  $c_m, \text{Дж}/\text{м}^2$ , аккумулированное греющей панелью напольного отопления в зависимости от шага труб с теплоносителем  $S, \text{м}$  и толщины панели  $\delta_n, \text{м}$  в условиях квазистационарного режима.

### ВЫВОДЫ

В результате выполненных теоретических исследований получена зависимость удельной теплоаккумуляционной способности греющей панели от конструктивных характеристик системы напольного отопления с учетом теплового потока в нижерасположенное помещение при квазистационарном тепловом режиме. Тепловая инерция панели может вносить значительные возмущения в процесс регулирования тепловой мощности систем напольного отопления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин А.Н., Сушицкий О.И., Горбунов В.И. Руководство по проектированию монтажу и эксплуатации холодного, горячего водоснабжения и отопления с использованием металлополимерных труб VALTEC. М.: ОАО «Научно – исследовательский институт санитарной техники», 2009.- 200с.
2. ДБН В.2.6-31:2006 . Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Укрархбудінформ, 2006.- 70 с.
3. ДБН В.2.5.24-2003 Електрична кабельна система опалення. – К.: Укрархбудінформ, 2004. – 31 с.
4. Шаповалов И.С. Проектирование панельно-лучистого отопления. - М.: Стройиздат, 1966. – 240 с.
5. Кононович Ю. В. Тепловой режим зданий массовой застройки. - М.: Стройиздат, 1986. – 157с.

Пашенцева Л. В., асистент

Національна академія природоохоронного та курортного будівництва

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДЕФІНІЦІ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІСЬКИХ МЕРЕЖ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

*Застосовуючи морфологічний аналіз, обґрунтовано сутність поняття надійності експлуатації міських мереж теплопостачання, розкрито відмінності їх функціонування від інших технічних систем, доведено комплексність цього поняття, доведено необхідність враховування часу для розрахунку надійності, запропоновано підхід щодо збору інформації про відмови, розкрито особливості надійності, які властиві саме цим системам.*

**Міська мережа теплопостачання, надійність, безвідмовність, ремонтоспроможність, довговічність, збереженість, режим експлуатації.**

### ВСТУП

Безперервність науково-технічного прогресу в будівництві і експлуатації технічних систем, процесу розробки нових матеріалів і конструкцій, які потребують перевірки часом створили проблему надійності перманентною та найбільш гострою в будівництві. При цьому необхідність скорочення строків проектування та експериментальної перевірки технічних систем в різних умовах і режимах експлуатації має важливе значення і зв'язано з якістю будівельних конструкцій та оптимізацією управлінських рішень. Головною ознакою якості елементів і конструкцій сучасних міських мереж теплопостачання є надійність, показник який з'єднує фізико-механічні і геометричні характеристики. Однак надійність це не тільки технічна категорія, але й ще економічна. Це можна пояснити тим, що збільшення строку експлуатації цих систем при наявності рівних умов еквівалентно економічному ефекту, який можна було б отримати при будівництві нових теплових мереж. Підвищення їх надійності сприяє рішення важливого завдання, яке стоїть перед українським суспільством – збереження теплової енергії, що достатньо актуально сьогодні в умовах невизначеності ціни на імпортовані енергоносії. Крім того, в теплопостачанні підвищення надійності експлуатації і працездатності тепломереж може надати значний економічний ефект у вигляді скорочення витрат на проведення ремонту, технічного обслуговування, що безсумнівно підкреслює актуальність питання, що розглядається.

### АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

Питанням підвищення функціонування мереж теплопостачання присвячені роботи українських, та іноземних. Вчених. Так український вчений В. Р. Фесенко розглядає принципи кількісної оптимізації надійності та висловлює думку щодо їх універсальності [9, с. 23]. Але з таким підходом не можна погодитися, тому що різні системи теплопостачання мають свої притаманні відмінності, які залежать від зовнішніх факторів, що впливають на їх нормальний режим функціонування. Український вчений А. Л. Шацько пропонує розглядати надійність з позиції отримання позитивного ефекту від підвищення надійності [10, с.34]. Безперечно необхідно мати деякі економічні показники за якими можна зробити висновки стосовно правильності виконання робіт технічного характеру (технічне обслуговування, поточний ремонт). Але тільки технічні показники не можуть надати об'єктивну картину надійності експлуатації мереж теплопостачання. Треба мати деякі технічні показники, які доповнюють існуючу систему показників. Російський вчений Л. Т. Щербаков обґрунтовує необхідність розгляду поняття надійність з позиції безвідмовності функціонування [11, с. 45]. Для цього він пропонує провести диференціацію складових надійності за ступенем важливості, тобто найбільш важливою є безвідмовність, а інші тільки доповнюють її. Але не можна погодитися з цією точкою зору,

тому що надійність це перш за все поняття комплексне, яке включає до себе інші складові, які доповнюють один одного та надають можливість отримати об'єктивну оцінку надійності функціонування технічної системи. Як бачимо є деякі протиріччя відносно самого поняття надійність, що зробило необхідним провести дослідження щодо сутності та особливостей поняття надійність мереж теплопостачання.

### **МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ**

Морфологічний підхід спрямовано на виявлення суттєвих особистостей у точках зору розкриття понятійного апарату, виявлення ключової відмінності, яка у подальшому допоможе досліднику провести синтезування та зробити власне тлумачення дефініції, що розглядається. У тих випадках, коли дослідник правильно зміг виділити особливості, це дозволяє визначити характерні риси, властиві тільки їй.

### **МЕТА ТА ПОСТАНОВА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою цієї наукової роботи є обґрунтування і пропозиція синтезованого поняття надійність мереж теплопостачання та розкриття їх особливостей з точки зору безаварійного функціонування.

Для досягнення мети вирішені завдання: проведено теоретичне дослідження поняття надійність як сучасної дефініції, яке трактується різними вченими щодо різних об'єктів дослідження, виявлено відмінні характеристики властиві мережам теплопостачання, визначено сутність надійнісного підходу в забезпеченні функціонування тепломереж.

### **РЕЗУЛЬТАТИ І ЇХ АНАЛІЗ**

Надійність є комплексною властивістю і включає до себе сукупність властивостей: безвідмовність  $C_1$ , ремонтоспроможність  $C_2$ , збереженість  $C_3$ , довговічність  $C_4$ . Усі вони мають свої особистості при проведенні оцінки показників надійності в залежності від виду технічної системи, конструкцій, які застосовуються при її будівництві та методів експлуатації. Тому взагалі поняття надійність можна подати у вигляді:

$$H = \{C_1, C_2 \dots C_n\} \quad (1.1.)$$

Сьогодні існують різні точки зору відносно сутності поняття надійність. Це можна пояснити тим, що воно є різноманітним і його можна застосовувати для різних технічних систем та суб'єктів, але при цьому доцільно виділити деякі особливості.

Український вчений П. В. Єгоренко розглядає надійність з позиції нанесення шкоди виробничою сферою. При цьому надійність «розраховується на підставі вартості основних виробничих фондів підприємств, що розглядається, як сукупність основних технічних споруд, безпосередньо взаємодіючих один з одним» [4, с. 143]. У цьому випадку застосовується економічний підхід, який потребує уваги щодо об'єктивного визначення такої вартості. Але з часом усі виробничі фонди зношуються, а це приводить до зниження їх вартості. Однак, підхід який запропоновано, не враховує фактору часу, а це не дозволяє отримати реальні оцінки надійності. Також, доцільно враховуючи економічний фактор за основний, дослідити його вплив на технічний стан системи і розробити математичні моделі цього зв'язку.

Український вчений Є. П. Драпего пропонує розглядати надійність з позиції якості середовища міста, тобто, як «результат синергічної взаємодії підсистем міста: природної, економічної, соціальної, інституціональної» [3, с. 61]. Цей підхід переслідує мету отримати об'єктивну інтегральну оцінку надійності. Але показники підсистем, які запропоновано розглядати, мають різні одиниці виміру, і автор не пропонує ні якого методологічного підходу чи методу для розрахунку. Ця точка зору носить яскраво виражений декларативний характер, і не обґрунтовано ні якого підходу щодо складу показників за підсистемами та збору необхідної інформації.

Український вчений О. І. Пашенцев у своїх ранніх роботах розглядає надійність з ймовірнісної позиції взаємодії складних технічних систем (водопостачання) та навколишнього середовища, як «імовірність несанкціонованого надходження води в

грунт, ґрунтові води, що викликано аварійними ситуаціями, які здатні привести до економічного збитку» [7, с. 12]. Такий підхід спрямовано на розкриття можливості взаємодії технічної системи і навколишнього середовища, її впливу на довкілля. Але він не може провести оперативну оцінку стану технічної системи у деякий період часу, отримати результат за допомогою якого можна назначити і провести заходи щодо покращення працездатності системи.

Український вчений П. В. Якименко розглядає надійність з позиції сумісності населених пунктів і технічних систем. Він характеризує надійність, як «природну здатність території перетерплювати антропогенне навантаження без істотного порушення природної рівноваги» [12, с. 55]. Цей підхід також спрямовано на визначення впливу технічної системи на довкілля, визначення збитку, який нанесено довкіллю. Але він обґрунтовує необхідність розробляти перспективні плани розвитку міст з урахуванням не стільки стану технічних систем (тепло-, водо-, газопостачання), скільки з урахуванням прогнозних оцінок зміни стану навколишнього природного середовища під впливом таких систем.

Український вчений Л. П. Фільчагов розглядає надійність, як «здатність системи забезпечувати протягом деякого часу при заданих умовах функціонування розміру навантаження на природні комплекси, які не перевищують припустимих значень» [8, с. 32]. У цьому випадку визначальним є навантаження, яке може витримати природні комплекси. Але це розрахувати дуже важко, тому що треба знати саме припустимі значення, перевищення яких може привести до настання критичної ситуації не стільки в виконанні своїх функцій системою, скільки у можливості природної системи нейтралізувати негативні наслідки.

Український вчений О. І. Науменко розглядає надійність, як «властивість об'єкту зберігати у часі значення усіх параметрів, які характеризують його здатність виконувати усі необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, транспортування» [5, с. 39]. Ця точка зору спрямована на розкриття поняття надійності стосовно абстрактного об'єкту. На мій погляд, поняття надійність повинно бути надано стосовно конкретної технічної систем, у зв'язку з тим, що не можна розробити універсальне поняття надійності для усіх систем.

Російський вчений О. І. Леонов розглядає надійність як «здатність технічної системи виконувати задані функції за умови своєчасного проведення ремонту при застосуванні теорії масового обслуговування» [6, с. 9]. Ця точка зору засновується на проведенні періодичного і поточного ремонту елементів технічної системи. З цим можна погодитися, але вона зможе надати позитивний результат за умови жорсткого контролю за спостереженням, призначенням і проведенням якісного ремонту. Це потребує застосування персоналу, який визначено у відповідності до існуючих норм часу на обслуговування систем. Але скрутний економічний стан багатьох підприємств «Теплокомуненерго» не дозволяє проводити ці заходи.

Радянський вчений М. М. Абрамов розглядає надійність технічних систем як «здатність виконувати задані функції при різних режимах їх функціонування» [1, с. 4]. У цьому випадку зроблена спроба прив'язати систему до конкретного режиму роботи. З цим можна погодитися, але надалі він не пропонує ні яких підходів щодо врахування особливостей різних режимів. Безсумнівно це зробити важко, тому що технічні системи можуть змінювати свій режим роботи під впливом багатьох факторів на протязі короткострокового періоду часу.

Як бачимо, загальної точки зору у визначенні поняття надійності немає, що можна пояснити його складністю та необхідністю прив'язання до різних розглянутих систем. Тоді, приймаючи до уваги точки зору інших вчених, представимо синтезовано поняття надійність мереж теплопостачання – це здатність системи безперервно здійснювати подачу теплоносія споживачам з заданими температурними характеристиками у заданому періоді часу.

Надійність систем теплопостачання характеризує зберігання, стійкість якості конструкцій, які застосовуються при будівництві у визначеному періоді часу. Тому їх надійність може бути охарактеризована наступними відмінностями:

1. Виконання елементом системи заданих функцій.
2. Час, на протязі якого повинно бути забезпечено виконання заданих функцій.
3. Умови і режим експлуатації, в яких може бути забезпечено виконання заданих функцій при наявності системи технічного обслуговування і ремонту.

У цьому є фізична сутність і технічна сторона поняття надійність систем теплопостачання. Але можливості техніки можуть вступати в протиріччя з економічною доцільністю підвищення надійності, тобто в технічному плані надійність може бути високою, а в економічному – ні. Межею підвищення надійності мереж теплопостачання є не технічна можливість, а економічна доцільність. Доцільно відзначити, що надійністний підхід не є абсолютно новим для об'єктів теплопостачання. Достатньо довгий період часу проблема підвищення надійності в будівництві була спрямована на досягнення безаварійності таких систем, що призвело до збільшення ваги конструкцій та розробки нових їх модифікацій. В результаті проектування систем теплопостачання з масивними елементами склалась концепція «вічності», де нормативні строки експлуатації склали майже 50-70 років. У традиційному будівництві питання надійності ототожнювалось з довговічністю, а це привело до недооцінки стану об'єктів теплопостачання і як наслідок підвищення їх аварійності.

Сьогодні для комплексного рішення проблеми надійності міських мереж теплопостачання (ММТ) вже недостатньо знати фізичні основи, конкретні причини і швидкість старіння і зносу елементів таких систем, розробки теоретичних і експериментальних методів визначення строку служби будівельних конструкцій і виробів. Необхідно враховувати реальні умови проектування, виробництва, зберігання, будівництва ММТ та своєчасного визначення накопичення дефектів та проведення превентивних заходів щодо підтримки нормального експлуатаційного стану. Доцільно враховувати можливий вплив багатьох факторів зовнішньої середовища: атмосферних опадів, вологості, температурних коливань. Ці супутні фактори мають стохастичну природу. Як відмічає В. В. Болотін «багато впливів і навантажень, а також механічні і геометричні характеристики є випадковими величинами» [2, с. 89]. Час і місце виникнення аварій і відмов, тривалість безвідмовної роботи, тривалість служби до першого капітального ремонту, поточний потік відмов, загальний строк служби системи, економічний ефект підвищення надійності – це також є випадкові величини, тобто вони можуть прийняти будь-яке значення і характеризуються значними коливаннями і відхиленнями. Більш того, як зовнішні умови, так й сама поведінка систем теплопостачання в експлуатації розгортається у часі і тому представляє собою випадкові процеси, характеристики яких (дисперсія, математичне чекання) змінюються з часом. Саме в цьому складається перша особистість надійнісного підходу розрахунку мереж теплопостачання. Друга особистість – в ототоженні безвідмовності і ймовірності знаходження параметрів конструкцій в деякій визначеній області, вихід з якої розглядається як відмова і зниження надійності системи. Третя складається в тому, що відмова є наслідком поступового накопичення ушкоджень, деформацій, механічного і корозійного зносу. Ці ушкодження, які досягли визначеного значення, починають перешкоджати нормальної експлуатації системи теплопостачання. Четверта складається в тому, що експлуатація тепломереж взагалі може бути призупинена за причинами, які зв'язані ні з фізикою відмов, а з економічною доцільністю. Зближення фізично та економічно доцільних строків служби мереж теплопостачання і їх елементів можна розглядати як резерв підвищення ефективності капітальних витрат в їх будівництво. Тоді приймаючи до уваги вище викладене, можна стверджувати, що взаємозв'язок основних властивостей, що носить закономірний характер дозволяє розробити кількісні показники, необхідні для того, щоб визначити деяким числом властивість різних за технічним рішенням елементів і систем за

вірогідними характеристиками їх поведінки в експлуатації. Саме в цьому полягає сутність надійнісного підходу, тобто в отриманні знань щодо закономірностей і процесів управління експлуатацією систем теплопостачання. Вивчаючи їх надійність можна встановити: закономірності виникнення відмов і встановлення їх працездатності як взагалі, так за окремими елементами; вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на процеси нормальної експлуатації; способи підвищення надійності систем і зберігання; ефективну методику збору, обліку і аналізу статистичної інформації; методи оцінки економічної ефективності способів підвищення надійності.

Треба відзначити, що надійнісний підхід не відмінняє жодного з наукових напрямків в будівництві. Кордони його застосування суворо визначені, він вивчає стан та властивості об'єктів теплопостачання, їх елементів та середовища, які спрямовані на забезпечення ефективної організації управління надійністю систем. Під управлінням надійністю систем теплопостачання доцільно розуміти встановлення, забезпечення і підтримку необхідного рівня надійності таких систем при розробці проектів, виробництві конструкцій, експлуатації, що здійснюється шляхом систематичного контролю їх стану та цілеспрямованого впливу на умови та фактори, які негативно впливають на технічний стан систем. Але поняття управління надійністю є комплексним поняттям, що включає до себе поняття: забезпечення надійності, оптимальний і максимальний рівень надійності. У цьому випадку під забезпеченням надійності систем теплопостачання будемо розуміти – сукупність організаційно-технічних і науково-методичних заходів, вимог та правил, які повинні виконуватися в процесі проектування, виробництва і експлуатації системи. Тоді приймаючи до уваги вище викладене, відзначимо особливості, які властиві надійності міських мереж теплопостачання:

1. Великі строки служби як окремих елементів, так й системи взагалі суттєво ускладнюють накопичення достовірної технічної і економічної інформації щодо поведінки конструкцій за повний строк служби.
2. Особливе значення має збір цілеспрямованої інформації і прискорення рішення прикладних завдань оптимізації надійності систем теплопостачання.
3. Необхідність оцінки в конкретний період часу технічного стану сукупності однорідних конструкцій, які експлуатуються в однакових умовах і режимах, але мають різний вік.
4. Наявність значної кількості конструкцій і обладнання зі змішаною відповідальністю, яка визначається не тільки економічними і моральними втратами при відмовах, але й вірогідністю негативного впливу на здоров'я людини.
5. Обмеженість використання структурного резервування як ефективного засобу побудови системи з максимальною надійністю.
6. Низька ремонтоздатність більшості конструкцій і обладнання, що обумовлено послідовним з'єднанням, жорсткими зв'язками між елементами.
7. Суттєва проблема відносно визначення моменту морального зносу конструкцій систем і часу їх заміни.

### **ВИСНОВКИ**

1. Під надійністю міських мереж теплопостачання доцільно розуміти здатність системи безперервно здійснювати подачу теплоносія споживачам з заданими температурними характеристиками у заданому періоді часу.
2. Сутність надійнісного підходу щодо мереж теплопостачання заключається в отриманні знань щодо закономірностей і процесів управління експлуатацією цих систем.

### **ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Абрамов М.М. Надежность систем водоснабжения: [монографія]/ Абрамов Н. Ф. – М.: Высшая школа, 1987. – 289с.
2. Болотин П. Р. Надежность эксплуатации сложных технических систем: [монографія] / Болотин П. Р. – Спб.: Питер, 2011. – 312с.

3. Драпего Є. П. Екологічна надійність територіальних комплексів: [монографія] / Євген Драпего. – Харків.: Світ, 2006. – 281 с.
4. Єгоренко П. В. Екологічна безпека і економічна надійність : [монографія] / Петро Єгоренко. – Дніпропетровськ.: ВСТ, 2004. – 189 с.
5. Науменко О. І. Інтервальні оцінки в економічних розрахунках: [монографія] / Іван Науменко. – Рівне.: Наукова книга, 2007. – 319 с.
6. Леонов А. И. Основы технической эксплуатации бытовой радиоэлектронной аппаратуры: [монографія] / Леонов И. А., Дубровский Н. Ф. – М.: Легпромиздат, 2009. – 269 с.
7. Пашенцев А. И. Оценка эксплуатационной надежности закрытых оросительных систем: [брошура] / Пашенцев А. И. – Симферополь.: КИПКС, 1997. – 39 с.
8. Фильчагов Л.П. Проектирование сложных систем: [монографія] / Андрей Фильчагов. – К.: Наука, 1999. – 285 с.
9. Фесенко В. Р. Проблеми оптимізації будівельних об'єктів: [монографія] / Володимир Фесенко. – Харків.: Слобода, 2010. – 139 с.
10. Шацько А. Л. Економічні питання надійності: [брошура] / Анатолий Шацько. – Луганськ.: КПМ, 2008. – 41 с.
11. Щербаков Л. Т. Система наблюдений за состоянием технических систем: [монографія] / Л. Т. Щербаков. – Новосибирск.: Научные достижения, 2009. – 289 с.
12. Якименко П. В. Системний підхід щодо економіко–екологічної безпеки України: [монографія] / Павло Якименко. – Дніпропетровськ.: Наукова думка, 2006. – 341 с.

УДК 621.311.243:697.329

**Перминов И.А.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ**

*Получены графики интенсивности солнечной радиации в зависимости от времени года  $\pi$ , времени суток  $\tau$ , угла наклона  $\beta$  и азимута размещения солнечного коллектора  $\gamma$ , широты местности  $\varphi$ , рассчитанные аналитическим методом и методом коэффициентов; график отношения интенсивности солнечной радиации рассчитанной по различным методикам.*

**Интенсивность солнечной радиации, прямая и рассеянная солнечная радиация, альbedo, угол высоты солнцестояния, склонение, азимутальный угол**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Солнце каждые восемь минут поставляет столько энергии, сколько человечество расходует за один год. Потребность человечества в энергии на 180 лет вперед может быть обеспечена солнечной энергией, достигающей Земли за один день. Энергия Солнца неисощима, бесплатна и экологичнее любого из доступных человеку видов энергии. Использование солнечного излучения для теплоснабжения связано со значительными капитальными затратами, и чем выше потенциал получаемой энергии, тем больше её стоимость. На уровень капитальных затрат по созданию системы солнечного теплоснабжения оказывает влияние выбранная методика расчета поступления солнечной радиации, также для повышения энергоэффективности солнечной установки необходим наиболее точный расчет. Выбор методики расчета интенсивности солнечной радиации

влияет на эксплуатационные затраты, которые имеют важное значение при технико-экономическом обосновании проектных решений.

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящей работы является сравнение методик расчета интенсивности солнечной радиации по аналитическому методу, предложенному [5,6] и методу коэффициентов приведенного в [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДИК РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Существует аналитический метод определения интенсивности солнечной радиации предложенный Даффи Дж.А., Бекман У.А. в книге «Тепловые процессы с использованием солнечной энергии»[6] и дополненный пособием «Солнечные установки горячего водоснабжения. Пособие по проектированию» Гершкович В. Ф [5] и метод коэффициентов, приведенный в ДСТУ-Н Б В.2.5-43-2010 Правила устройства систем солнечного теплоснабжения в зданиях жилого и гражданского назначения[1].

## РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ МЕТОДОМ КОЭФФИЦИЕНТОВ

В соответствии с нормативными требованиями [1].

Интенсивность  $Q_{\text{пад},i}$ , которая поступает на СК любого пространственного положения каждый час светового дня  $Q_{\text{пад},i}$ , определяют по формуле:

$$Q_{\text{пад},i} = P_A P_S I_S^{\text{гор}} + P_D I_D^{\text{гор}} + P_R (I_S^{\text{гор}} + I_D^{\text{гор}}) a, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{пад},i}$  – интенсивность СР за каждый час светового дня,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$P_A$  – коэффициент, который учитывает азимут размещения СК (табл. 7.1. [1]).

Если СК ориентирован на ЮГ, то коэффициент  $P_A = 1$ .

$P_S$  – коэффициент положения СК для прямой СР (табл. 7.2. [1]).

Определяет отношение величин интенсивности прямой СР, которая поступает на плоскость южной ориентации, расположенную под углом  $\beta$  к горизонту, к интенсивности прямой СР, которая поступает на горизонтальную поверхность.

$I_S^{\text{гор}}$  – интенсивность прямой СР, которая поступает на горизонтальную поверхность,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  (прилож. Г табл. Г.2. [1] или [2,3,4]);

$I_D^{\text{гор}}$  – интенсивность рассеянной СР, которая поступает на горизонтальную поверхность,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  (прилож. Г табл. Г.3. [1] или [2,3,4]);

$P_D$  – коэффициент положения коллектора для рассеянной СР, определяется по формуле:

(2)

где  $\beta$  – угол наклона СК к горизонту.

Данные по величинам  $I_D^{\text{гор}}$  и  $I_S^{\text{гор}}$  для отдельных городов приведены в [2,3,4]. При отсутствии данных можно использовать приблизительные значения часовых сумм прямой и рассеянной СР по карте зонирования Украины и метеоданных приведенных в приложении Г [1].

$P_R$  – коэффициент положения коллектора для отраженной СР, определяется по формуле:

(3)

$\alpha$  – альbedo (коэффициент отражения) поверхности, на которой размещены коллекторы. При отсутствии данных 0,6 – при наличии снегового покрова и 0,2 – при его отсутствии.

### РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКИ

В соответствии с методикой [5,6]:

Величина интенсивности солнечной радиации  $q$ , Вт, падающего на  $1\text{ м}^2$  наклонной плоскости поверхности солнечного коллектора в каждый час светового дня, при реальных условиях, определяется по формуле:

$$q = \left( I_s \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} + I_D \cos^2 \frac{\beta}{2} \right) \eta_0 \eta_1, \quad (4)$$

где  $I_s$  и  $I_D$  – удельный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>, прямого и рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность на широте  $\varphi$  данной местности, эти данные приводятся в климатических справочниках [2,3,4];

$\beta$  – угол между рассматриваемой плоскостью и горизонтальной поверхностью (т. е. наклона плоскости солнечного коллектора к горизонту);

$\delta$  – склонение, т. е. угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора, зависящее от времени года (положительное значение для северного полушария);

$\varphi$  – широта местности (положительная для северного полушария);

$\gamma$  – азимутальный угол плоскости, т. е. отклонение нормали к плоскости от местного меридиана (за начало отсчета принимается южное направление, отклонение к востоку считается положительным, к западу - отрицательным);

$\omega$  - часовой угол, равный нулю в полдень для коллекторов ориентированных на юг, за час значение часового угла меняется на  $15^\circ$  со знаком плюс (от 12 часов к утру) или минус (от 12 к вечеру), определяется по формуле [5,6]:

(5)

где  $\tau$  – время суток в часах;

Для коллекторов, ориентация которых отличается на азимутальный угол  $\gamma$  от направления на юг необходимо добавить к  $180^\circ$  этот угол со своим знаком. Для определения средних за час расчетных параметров к значению часового угла времени начала расчетного часа необходимо добавить  $15^\circ/2 = 7,5^\circ$ , т.е. например, для времени с 11 до 12 часов принять среднее значение часового угла в  $11^{30}$ . Учитывая описанное выше, формулу (5) можно записать в виде:

$$\omega = 180^\circ + \gamma - 15^\circ \tau + 7,5^\circ, \quad (6)$$

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right), \quad (7)$$

где  $n$  – порядковый номер дня года в качестве  $n$  берется номер среднего расчетного дня месяца для I – XII месяцев года;

$\eta_0$  – коэффициент, учитывающий реальные условия облачности[5];

$\eta_1$  – коэффициент, учитывающий степень прозрачности атмосферы (для Симферополя

$\eta_1 = 1$ ).

Таким образом, интенсивность теплового потока, определяемая формулой (11), представляет собою функцию времени года  $n$ , времени суток  $\tau$ , угла наклона  $\beta$  и азимута солнечного коллектора  $\gamma$ . Зависит от удельного теплового потока, который несет с собой прямое  $I_s$  и рассеянное  $I_D$  солнечное излучение, падающее на широте  $\varphi$  данной местности на горизонтальную плоскость.

Были выполнены расчеты согласно формулам (1) и (4) для города Симферополя для поверхности ориентированной на Юг и построены графики рис.1. и рис.2. зависимости поступления солнечной радиации по месяцам года.

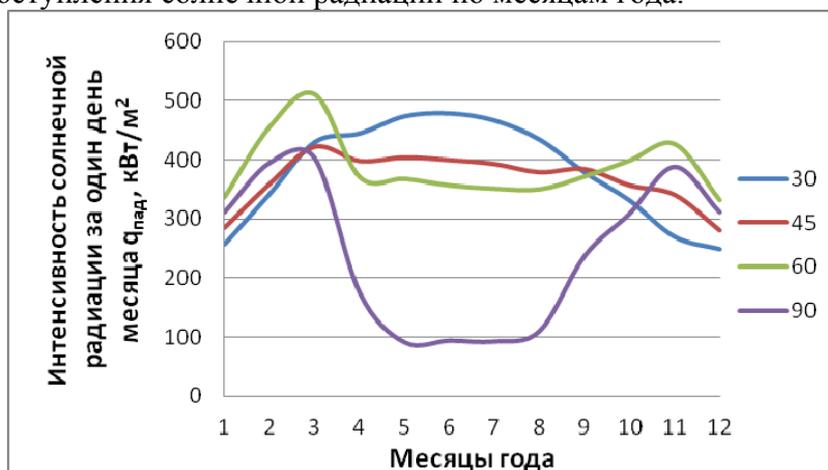


Рис.1. Интенсивность падающей солнечной радиации на  $1\text{ м}^2$  поверхности при разных углах наклона к горизонту. Расчет по методике [1].

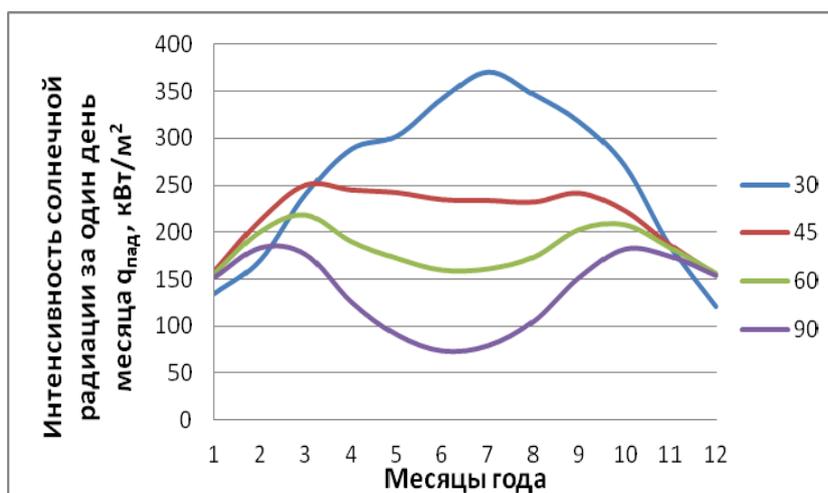


Рис. 2. Интенсивность падающей солнечной радиации на  $1\text{ м}^2$  поверхности при разных углах наклона к горизонту. Расчет по методике [5,6].

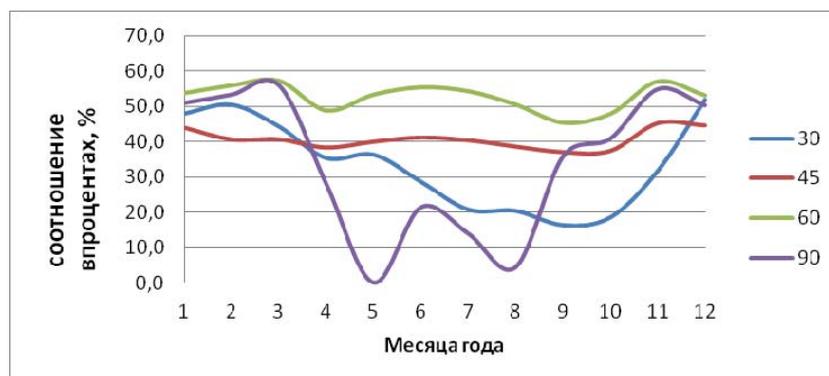


Рис.3. Процентное соотношение интенсивности солнечной радиации для разных углов наклона, рассчитанные по различным методикам.

Анализируя график отношения суммарного месячного поступления удельного теплового потока на  $1 \text{ м}^2$ , рассчитанного по различным методикам можно увидеть, что для угла наклона  $30^\circ$  процентное соотношение для периода июнь-ноябрь колеблется в пределах 25%, для декабря, января-марта около 45%, для апреля-июня 35%. Для угла наклона  $45^\circ$  соотношение в течение года равно 40%. При угле наклона  $60^\circ$  соотношение суммарного месячного поступления удельного теплового потока  $1 \text{ м}^2$  возрастает и составляет для разных месяцев в пределах 50%. При угле наклона  $90^\circ$  для летних месяцев процентное соотношение колеблется в пределах от 5% до 20%, для осеннего, весеннего, зимнего периодов – от 25% до 55%.

### **ВЫВОДЫ**

На стадии разработки технико-экономического обоснования проекта системы солнечного теплоснабжения выбор методики расчета поступления интенсивности солнечной радиации имеет важное значение. В результате расчетов были получены графики зависимостей суммарного поступления удельного теплового потока на  $1 \text{ м}^2$  в течение года, рассчитанные по различным методикам. Расчеты показали – количество поступающего тепла рассчитанного по различным методикам значительно отличается. Приведен график соотношение значений полученных результатов, в процентах. В значениях суммарного месячного поступления удельного теплового потока на  $1 \text{ м}^2$  рассчитанных аналитическим методом учитываются такие факторы как: прозрачность атмосферы, реальные условия облачности, движение Солнца в течение суток по небесной сфере, которые оказывают значительное влияние на конечные результаты расчета.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ДСТУ-Н Б В.2.5-43-2010 Настанова з улаштування систем сонячного тепlopосточання в будинках житлового і громадського призначення. Київ. Мінрегіонбуд України, 2010 - с. 45.
2. Справочник по климату СССР. Выпуск 10. Украинская ССР. Гидрометиздат, Л., 1966.
3. СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика, Госстрой СССР, Москва, 1984.г
4. НИИ строительной физики. Руководство по строительной климатологии.- Москва, 1977.
5. Гершкович В. Ф. Солнечные установки горячего водоснабжения. Пособие по проектированию. Изд. КиевЗНИИЭП, 2006.
6. Даффи Дж.А., Бекман У.А., Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М.: Мир, 1977.

**УДК 697.4:621.58**

**Пуховий І.І., д.т.н., професор,**

*Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут»*

**Денисова А.О., д.т.н., професор, Лужанська Г.В., к.т.н., доцент**

*Одеський національний політехнічний університет*

## **ТЕМПЕРАТУРНІ ТА ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УТВОРЕННЯ ЛЬОДУ НА СТІНАХ БУФЕРНОЇ ЗОНИ БУДІВЛІ, ЩО ОПАЛЮЄТЬСЯ ТЕПЛОТОЮ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВОДИ**

*Розглянута можливість використання льодяної огорожі буферної зони будівлі, що розташована між житловою зоною і довкіллям. Отримано рівняння для визначення температури зовнішньої поверхні стіни буферної зони, коли на*

*внутрішній поверхні відбувається кристалізація води. На основі отриманих температур знайдені величини густини теплових потоків та визначена питома витрата води. Витрата води зменшується з зростанням товщини льоду і для всіх розрахованих випадків (тепловіддача в повітря атмосфери, його температура, товщина стіни) лежить в межах 0,3 - 5 кг за годину на квадратний метр.*

**Опалення, холодопостачання, теплота кристалізації води, теплові потоки, теплоізоляція фасадів.**

### **ВСТУП ТА АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ**

Відновлювані джерела енергії знаходять все більше застосування в різних країнах, а види використовуваних джерел залежать від кліматичних умов. В країнах з холодними зимами, до яких відноситься і Україна, не говорячи вже про Росію, можуть широко використовувати теплоту фазового переходу води в лід, яка називається теплотою кристалізації (ТК). Згадана теплота дозволяє підігрівати повітря в системах вентиляції і забезпечувати до 50- 70 % економії традиційної енергії [1], підігрівати повітря перед тепловими насосам, що є альтернативою ґрунтовим теплообмінникам [2]. Також в помірному і суворому кліматі ТК може бути ефективно використана [3] для підігрівання повітря буферних зон (БЗ) біля фасадів будівель, які утворюються при встановленні прозорих огорож пасивних систем сонячного опалення чи інших огорож. Пасивні системи сонячного опалення розташовуються лише зі сторони освітлених сонцем фасадів, але утворення буферних зон само по собі зменшує теплові втрати будівель, що мають житлову зону (ЖЗ) з температурою  $t_d$  завдяки додатковому термічному опорі огорож БЗ та конвективної тепловіддачі -  $R_b$ . В залежності від термічних опорів стін житлової зони  $R_d$  температура повітря в буферних зонах  $t_b$  підвищується до 10 градусів в порівнянні з атмосферною  $t_a$ , що позитивно впливає на зменшення теплових втрат із житлової зони в буферну.

В комбінації з пасивними системами сонячного опалення ТК можна використовувати для опалення БЗ лише вночі при відсутності сонячного випромінювання. Північні, північно -східні та північно -західні фасади взимку не отримують сонячного випромінювання, тому використання ТК найбільш ефективно на цих фасадах. При використанні ємнісних кристалізаторів виникають проблеми видалення примерзлого льоду; заморожування води в краплях, що утворюються розпилювальними пристроями при температурах  $t_b$  до мінус 10 - 15 градусів неможливе через переохолодження крапель і відсутність центрів кристалізації води. Розпилена вода може замерзти лише попаданні на тверду поверхню. Найкращою технологією кристалізації води при згаданих температурах є використання бурульок [4], які теж, але з меншими проблемами, потрібно видаляти.

### **ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Запропоновано [5] в якості теплообмінника для підігрівання ТК повітря БЗ використати стіну виготовлену з льоду, по поверхні якої подають гравітаційно плівку води з однієї чи двох сторін. При цьому стіна одночасно може слугувати і огорожею буферної зони, ообливо на згаданих фасадах. Така огорожа може бути встановлена як тимчасова на період сильних морозів або на весь морозний період. При необхідності збільшити виробництво льоду та спростити відведення незамерзлої води, може бути організована подача води зі сторони докілья. Температури на внутрішній і зовнішній поверхнях ЖЗ далі будуть позначені через  $t_1$  та  $t_2$ , а на відповідних поверхнях БЗ - через  $t_3$  та  $t_4$ .

На систему з льодяною стіною отримано охоронний документ України [6] і досі ніяких досліджень такого варіанту опалення нам не відомо. Перевагою льодяної стіни, як теплообмінника є можливість використання теплоти кристалізації при менших значеннях негативних температур тому, що  $t_3$  нижча температури повітря у буферній зоні ( $t_b$ ) через низьке значення коефіцієнта тепловіддача від повітря БЗ до стіни БЗ; крім того, не потрібно видаляти періодично лід, а збільшення товщини льоду приводить до збільшення термічного опорі льодяної огорожі.

Недоліком огорожі у вигляді льодяної стіни є те, що під час відлиг при невеликій товщині стіни вона може розтанути [ 7] і потрібно зводити нову стіну, тому наморожування льоду можна проводити і на постійній огорожі буферної зони, виконаній із традиційних водостійких матеріалів (скла, полікарбонату тощо). Легка огорожа з традиційних матеріалів на сезон з позитивними температурами повітря вище 5-10°C може зніматись при потребі додаткової території чи з метою освітлення вікон. Може також використовуватись ця огорожа для охолодження повітря влітку при зрошенні її холодною артезіанською чи колодезяною водою.

В роботі будуть розглянуті температурні і теплові характеристики системи опалення будівлі з буферною зоною, що опалюється ТК, а також визначена витрата холодної води на зрошення поверхні з льоду та виробництво льоду, який можна використовувати для холодопостачання при руйнуванні стіни під час відлиг або весною. Для відокремлення льоду від традиційної огорожі не потрібна при позитивній температурі довкілля додаткова теплова енергія.

Температурні режими будівлі з льодяною чи традиційною стіною БЗ (без зрошення водою). Для знаходження повних термічних опорів потрібно знати коефіцієнти теплообміну  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  та  $\alpha_4$  (нумерація по ходу теплового потоку з ЖЗ у БЗ та в довкілля). Перші три коефіцієнти були розраховані на ЕОМ з використанням формул для вільної конвекції. В залежності від температур величина цих  $\alpha$  змінюється від 2,5 до 5 Вт/(м<sup>2</sup> К). Термічні опори конвективного теплообміну огорож буферної зони грають основну роль в загальному значенні  $R_b$  для БЗ. Якщо  $\alpha_3$  не сильно відрізняється від  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$ , то  $\alpha_4$  може зростати при наявності вітру.

Проведені розрахунки впливу товщини льодяної стінки на її термічний опір. Приймаючи завищене значення  $\alpha_3 = 5$  Вт/(м<sup>2</sup> К) , а при вітрі в атмосфері  $\alpha_4 = 15$  Вт/(м<sup>2</sup> К). отримано, що при зміні товщини стінки від 0,02 до 0,2 м загальний термічний опір  $R_B$  буде змінюватися від 0,25 до 0,33 (м<sup>2</sup> К)/Вт - (коефіцієнт теплопередачі  $K_b = 3,08$  Вт/(м<sup>2</sup> К) при теплопровідності льоду 2,2 Вт/(м К). Для традиційної тонкої огорожі БЗ в період відсутності льоду термічний опір буде трохи нижчий, але з врахуванням того, що  $\alpha_3$  та  $\alpha_4$  грають основну роль, зниження  $R_B$  є мінімальним.

Розглянемо вплив повних термічних опорів теплопередачі через стіну житлової зони  $R_d$  при різних його значеннях від 0,2 до 7(м<sup>2</sup> К)/Вт (в так званих пасивних будівлях опір  $R_d$  може бути і вищим) на густину теплового потоку із житлової зони в атмосферу при температурах в атмосфері і в ЖЗ відповідно мінус 20 та 20° С ( $\Delta t = 40$  °С) отримаємо, що при зміні загального опору теплопередачі від повітря житлової зони до атмосфери в межах 0,5 – 7,33 (м<sup>2</sup> К) /Вт) - останнє значення є сумою максимально прийнятих вище значень  $R_d$  та  $R_b$ , значення  $q$  змінюються від 80 до 5 Вт/м<sup>2</sup> при зазначених вище величинах  $R_d$ . Вплив товщини льодяної стіни чи традиційної стіни БЗ на  $q$  помітний лише до  $R_d$  менших 1(м<sup>2</sup> К)/Вт.

Температуру в БЗ у випадку відсутності сонячного випромінювання та інфільтрації можна знайти за рівнянням [6], в якому відношення термічних опорів  $\phi = R_D/R_B$  та відношення поверхонь БЗ і ЖЗ  $\omega = F_B/F_D$

$$t_B = \frac{t_D + \phi\omega \cdot t_A}{1 + \phi\omega} \quad (1)$$

Наприклад. при відношенні термічних опорів  $\phi = 3,5$  і  $\omega = 1$  у випадку зміни температури довкілля від мінус 10 до мінус 15 °С температура в БЗ складатиме від мінус 3,3 до мінус 6,4 °С, а при  $\omega = 2$  - від мінус 6 до мінус 10,6 °С. Збільшення  $\phi$ , яке відбувається при зростанні  $R_d$  діє аналогічно зростанню  $\omega$ . При  $\omega = 1$ ,  $R_d = 7,33$  та  $R_B = 0,33$  маємо  $\phi = 21,3$  і за температури атмосфери мінус 10° С матимемо  $t_b = -8,6$  °С, а при  $\omega = 1,5$  та тих же значеннях  $R$  при  $t_A = -20$ °С величина температури у БЗ буде вищою від атмосферної приблизно на 1°С.

Температура повітря в буферній зоні при заданих величинах термічних опорів огорож зменшується при зменшенні температури навколишнього середовища і при збільшенні площі поверхні буферної зони за рахунок бокових стінок при зростанні відстані між огорожами ЖЗ та БЗ. При великих термічних опорах стін житлової зони температура на поверхнях льодяної чи традиційної стіни БЗ буде відрізнятися менше ніж на 1 °С, а при малих – ця різниця може сягати 5-8 градусів. Із збільшенням Rd температура льодяної огорожі наблизитиметься до температури атмосфери.

Наявність негативних температур у буферній зоні та (або) негативної температури внутрішньої поверхні льодяної огорожі є необхідною умовою використання ТК.

Температурні характеристики льодяної стіни та буферної зони при зрошенні внутрішньої стіни водою в період морозів.

Будемо вважати, що температура поверхні  $t_3$ , на якій відбувається кристалізація води, є 0 °С, що є фізичним законом фазового переходу. При такій температурі льодяної поверхні температура у буферній зоні залежить від величин площ звичайних та льодяних огорож БЗ, що з середини зрошуються та не зрошуються водою. Зрошення ззовні можливе лише на період прогрівання холодної льодяної стіни і стаціонарно у випадку значної площі незрошуваних водою огорож БЗ, коли холод буде надходити в повітря БЗ і стіна не буде танути з середини..

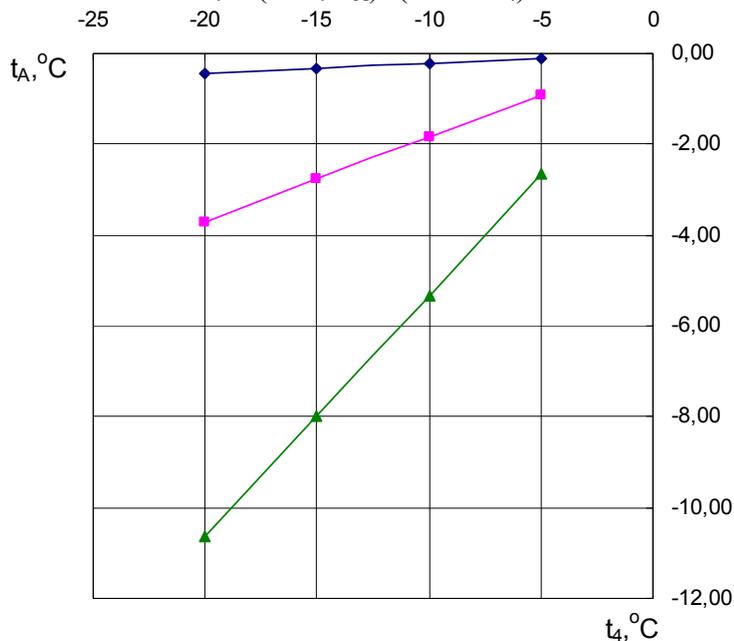
Значення температури  $t_4$  зовнішньої стінки БЗ нам потрібно для розрахунків теплових потоків через стінку та витрати холодної води. Визначимо температуру на зовнішній поверхні стіни в умовах коли на внутрішній підтримується довільна постійна температура  $t_3$ . Вважаємо задачу одномірною, коли тепловий потік йде лише через стіну. Для вирішення задачі в умовах стаціонарного режиму скористаємось тим, що густина теплового потоку теплопровідністю через стіну та конвективною тепловіддачею від стіни є однаковою. В загальному випадку при довільній постійній температурі внутрішньої поверхні температура стіни на межі з атмосферою буде

$$t_4 = (\lambda \cdot t_3 + \delta \cdot \alpha_4 \cdot t_A) / (\lambda + \delta \cdot \alpha_4), \quad (2)$$

де  $\lambda$ ,  $\delta$  та  $\alpha_4$  відповідно є коефіцієнтом теплопровідності стінки, її товщиною та коефіцієнтом тепловіддачі від стінки в повітря, який змінюється в залежності від вітру.

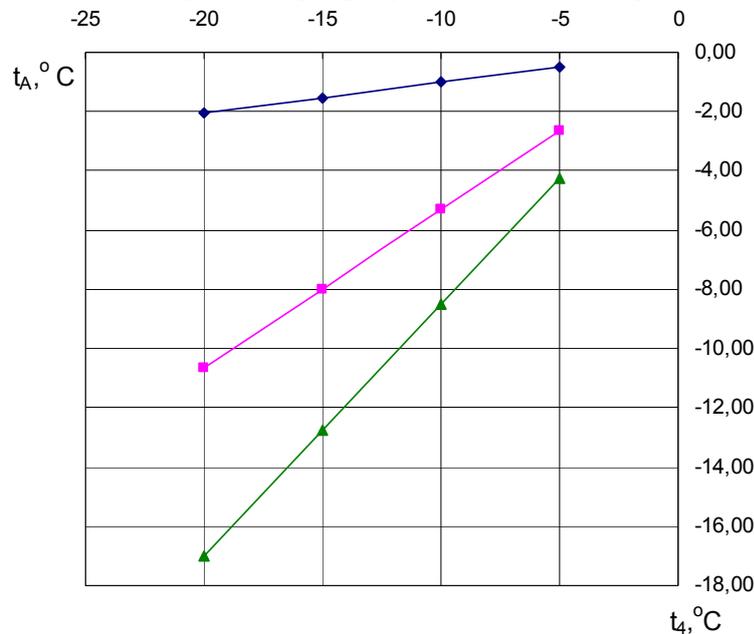
Приймаючи в рівнянні (2) температуру  $t_3 = 0$  °С, отримуємо залежність:

$$t_4 = (\delta \cdot \alpha_4 \cdot t_A) / (\lambda + \delta \cdot \alpha_4)$$



**Рис.1. Графік залежності температури зовнішньої температури  $t_A$  від температури атмосфери  $t_4$  при коефіцієнті тепловіддачі  $\alpha_4 = 5$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) для різних товщин стінки з льоду  $\delta$ :  $\blacklozenge$  -  $\delta = 0,01$  м;  $\blacksquare$  -  $\delta = 0,1$  м;  $\blacktriangle$  -  $\delta = 0,5$  м**

Товщина стінки є змінною величиною, але для певного часу вважатимемо незмінною. Виконаємо розрахунки  $t_4$  для різних товщин стінки з льоду: 0,01; 0,1 та 0,5 м. Коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha_4$  прийняті мінімальні 5 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (вільна конвекція) та максимальні при вітрі 25 Вт/(м<sup>2</sup>·К), що є близькими до рекомендованих СНІП. Температуру довкілля змінюємо в межах мінус 5 – 20°C . Вважаємо, що термічним опором матеріалу традиційної стінки з розташованим на ній льодом ( $\lambda = 2,2$  Вт/м К) при її малій товщині можна нехтувати, тому результати будуть справедливими для всіх варіантів виконання стіни. Результати розрахунків показані на рис.1 та 2.



**Рис.2. Графік залежності температури зовнішньої стінки  $t_A$  від температури атмосфери  $t_4$  при коефіцієнті тепловіддачі  $\alpha_4 = 25$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) для різних товщин стінки з льоду  $\delta$ :  $\blacklozenge$  -  $\delta = 0,01$  м;  $\blacklozenge$  -  $\delta = 0,1$  м;  $\blacktriangle$  -  $\delta = 0,5$  м**

Графіки показують, що залежність температури зовнішньої стінки від температури атмосфери є прямолінійною.

Розрахунки густини теплового потоку через стінку можна виконувати через рівняння теплопровідності плоскої стінки або через рівняння конвективної тепловіддачі при наявності значень температур на поверхні стінки та коефіцієнтів тепловіддачі в атмосферне повітря. Щоб розкрити вплив товщини стінки ми вибрали перший варіант.

Проведені розрахунки показали, що за  $\alpha_4 = 5$  Вт/(м<sup>2</sup> К), при температурі атмосфери мінус 5 і товщині стінки 0,1 м  $q$  складає біля 30 Вт/ м<sup>2</sup>, а за  $\alpha_4 = 25$  Вт/(м<sup>2</sup> К), біля 58 Вт/ м<sup>2</sup>. За температури довкілля мінус 10 при товщинах стінки 0, 1 та 0,5 м при  $\alpha_4 = 5$   $q$  складала відповідно 45 та 33 В Вт/ м<sup>2</sup>, а за  $t_A = -20$  при товщинах стінки 0,01; 0,1 та 0,5 м значення  $q$  є відповідно 96, ;81 та 47 Вт /м<sup>2</sup> . Таким чином, як і слід було чекати, термічний опір льодяної стіни грає значну роль в зменшенні теплового потоку і , відповідно, в зменшенні маси утвореного льоду при постійному стоянні негативних температур.

Зміна температури довкілля в сторону її зниження приводить до зростання  $q$ , які при  $\alpha_4 = 25$  Вт/(м<sup>2</sup> К), для товщин 0,1 м для температур атмосфери мінус 5, 10 та 20°C мають значення відповідно 58, 116 та 233 Вт/ м<sup>2</sup>. При мінімальній з згаданих температурі густина теплового потоку для товщини 0,01м доходить до 440 Вт/ м<sup>2</sup> .

При визначенні витрати води на зрошення льодяної стіни вважаємо, що теплота не передається із буферної зони до стіни і від стіни до повітря буферної зони, що є допущенням, яке незначно впливатиме на кінцеві результати. При конкретних розрахунках потрібно визначати температуру у буферній зоні, яка, як показано вище , залежить від багатьох факторів.

Розрахунки витрати води тв зроблені на 1 м<sup>2</sup> льодяної стіни (кг/(с м<sup>2</sup>)) без врахування ентальпії води за рахунок теплоємності, що дає похибку не більше 5%, за формулою

$$тв = q/L.$$

де L = 334 кДж/кг – теплота кристалізації води.

Результати розрахунків показують, що при  $\alpha_4 = 25$  Вт/(м<sup>2</sup> К) питома витрата води доходить при товщині стіни 0,01 м за температури довкілля мінус 20°C до 0,0013 кг/(м<sup>2</sup>с), або 4,7 кг/годину на кв. м, а для цих же умов при товщині стінки 0,5 м вона складає 0,61 кг за годину на кв.м., що більше ніж 7 разів менше. Таким чином для одного поверху при довжині фасаду 10 м площа фасаду складе 30 м<sup>2</sup> і витрата холодної води в нагірших умовах не перевищить 147 кг за годину в початковій стадії формування льодяної стіни.

За температури довкілля мінус 20 °С в умовах без вітру ( $\alpha_4 = 5$  Вт/(м<sup>2</sup> К)) для згаданих товщин стіни витрата води складає при мінус 20°C від 0,00028 до 0,000156 кг/(м<sup>2</sup>с) . а при мінус 5 °С для стіни 0,1 м біля 0,0001 кг/( м<sup>2</sup>с), , що складає на стіну в 30 кв.м біля 11 кг за годину. Приймаючи грубо середню за зиму витрату на фасад біля 30 кг за годину і 30 діб морозів з температурою нижче мінус 7°C отримаємо, що буде використано біля 22 т води і відповідно буде отримано стільки ж льоду, який дасть холод влітку для кондиціонування повітря при його акумулюванні в льодосховищі з розміром сторони куба до 3 м. Для згаданої стіни її товщина при безперервних морозах може зрости до 0,7м. Розглянута система забезпечує у буферній зоні температуру біля 0°C і зменшує втрати з житлової зони через відповідний фасад в умовах України до 2 раз. А в цілому для будівлі економія залежить від кількості фасадів [7] обладнаних такою системою. При комбінації з пасивними системами сонячного опалення типу застелена веранда чи лоджія, стіна нижче вікна, де спостерігаються менші температури повітря БЗ, теж може бути льодяним теплообмінником. Встановлення теплоізоляції на стінах житлової зони лише сприяє використанню теплоти кристалізації води і ці два заходи економії енергії повинні використовуватись в умовах холодного клімату одночасно.

### ВИСНОВКИ:

1. При кристалізації води на внутрішній поверхні на основі отриманого рівняння визначені температури зовнішньої поверхні льодяної вертикальної стіни буферної зони.

2. На основі температур зовнішньої поверхні розраховані питомі теплові потоки та питомі витрати води для різних товщин стіни, температур атмосфери та коефіцієнтів тепловіддачі від стіни в атмосферу.

3. Питома витрата води на кв. м поверхні стіни для комбінації різних умов складає від 0,3 до 5 кг за годину.

4. Використання льодяної стіни для опалення може забезпечити також холодопостачання чи кондиціонування повітря влітку за рахунок акумульованого льоду. Теплоізоляція фасадів сприяє використанню теплоти кристалізації води.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛЕНЬ:

1. Пуховий І.І. Безпосереднє використання теплоти довкілля в системах тепло- і холодопостачання // Техн. електродинаміка.- 2003.- Тем. вип. - с.31-33.
2. Пуховий І.І., Безродний М.К., Мхітарян Н.М., Кудря С.О. Економія природного газу при заміні котлів тепловими насосами та використання теплоти кристалізації води, як альтернативи теплоті ґрунту // Відновлювана енергетика.-2006.-№1.-с.15-19.
3. Пуховий І.І. Аналіз теплообміну в процесі зростання льодяних бурульок, що використовуються для акумулювання природного холоду та підігріву повітря в системах теплопостачання // Відновлювана енергетика. - 2007.- №1.- с.16-19.
4. Пуховой И.И.. Система отопления здания И.И.Пухового. Пат. СССР № 1388665А1.. F24D 15/00.- Оп.14.03.88 р. Бюл.14.

5. Пуховий І.І., Приймак К.О.. Спосіб опалення будівлі під час морозів з використанням холодної води. Пат. України на кор.. модель № 46112. F24D 15/00 . Опубл. 10.12.2009. Бюл. № 23.
6. Пуховой И.И. Система отопления зданий без теплового насоса с использованием природной холодной воды // Промышленная теплотехника.- 1992.- Том 14, № 1- 3.- с.57 – 61.
7. Дранік Т.В., Пуховий І.І. Експериментальне дослідження нагрівання та танення льодяної пластини в умовах вільної конвекції. Тези доп. ІХ міжн. наук. практ. конф „Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики”, 18 – 22 04.2011р., ТЕФ, НТУУ КПІ.
8. Пуховий І.І. Економія палива в комбінованих системах опалення на основі традиційних і низькопотенційних нетрадиційних джерел енергії з різними температурними рівнями //Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2003.- с. 70-77.

**УДК 662.612-428.4**

**Топорен С.С.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИКОЙ ТОПКИ**

**Рассмотрен способ организации сжигания топлива в топках жаротрубных котлов основанный на эффекте Ранка**

***Теплогенератор, эффект Ранка, возвратно-вихревые течения, энергосберегающий эффект***

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ.**

Рассмотрение существующей ситуации теплоснабжения промышленного и коммунально-бытового сектора выявило большой физический износ оборудования, и, как следствие, достаточно значительные потери тепловой энергии. Это приводит к отказу от централизованного теплоснабжения для улучшения качества получаемой тепловой энергии и децентрализации теплоснабжения с использованием теплогенерирующих установок малой мощности.

При разработке и проектировании нового оборудования особое внимание уделяется эффективному использованию топлива и снижению выбросов вредных веществ [1].

Исследования, проведенные в последнее десятилетие показали, что величина выбросов оксида углерода, оксида азота и бензопирена в продуктах сгорания значительно увеличивается при тепловой нагрузке теплогенератора, отличающейся от 100%.

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

Цель работы – снижение выбросов вредностей в продуктах сгорания теплогенерирующих установок малой мощности при перераспределении тепловой энергии дымовых газов.

Для достижения поставленной цели решалась следующая задача: получить пространственное распределение линий тока при численном решении уравнений Навье-Стокса с заданными граничными условиями для данных условий работы теплогенератора, используя эффект Ранка-Хилша и на основании чего разработать конструкцию теплогенерирующей установки малой мощности.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.

Поставленная цель достигалась путем моделирования процессов сжигания газообразного топлива в топочной камере с помощью программы Cosmos Flow Work и проведение натурных экспериментов на испытательном стенде, позволяющие получить пространственное распределение линий тока при численном решении уравнений Навье-Стокса с заданными граничными условиями для данной задачи. В данной модели смесь воздуха и пропана подавалась через тангенциальные патрубки с нормальной скоростью 30м/с и угловой скоростью 5рад/с. Температура горения задавалась 1600°С.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ.

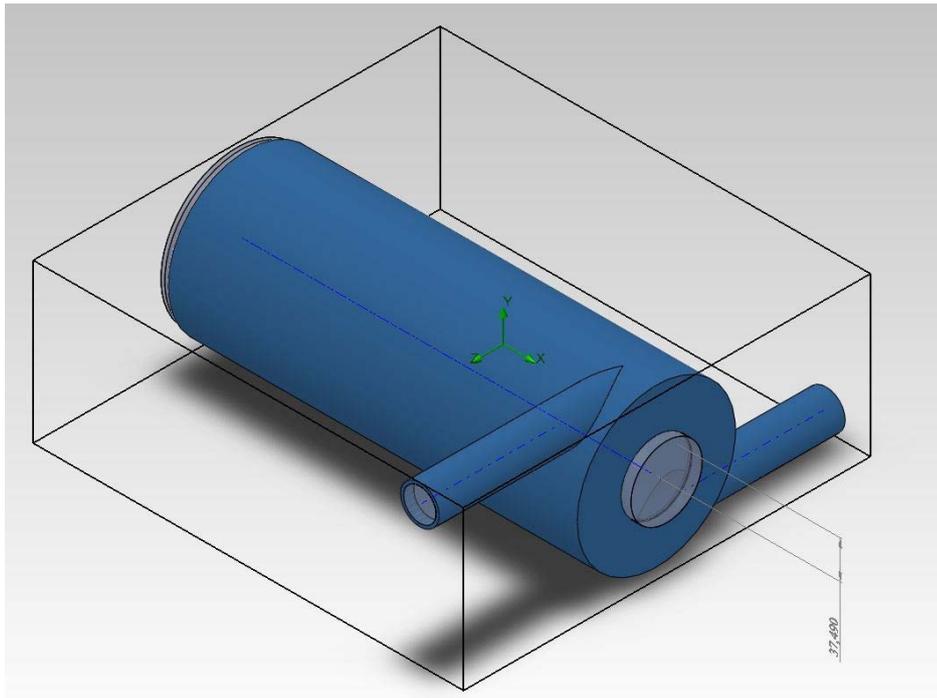


Рис.1 Общий вид теплогенератора

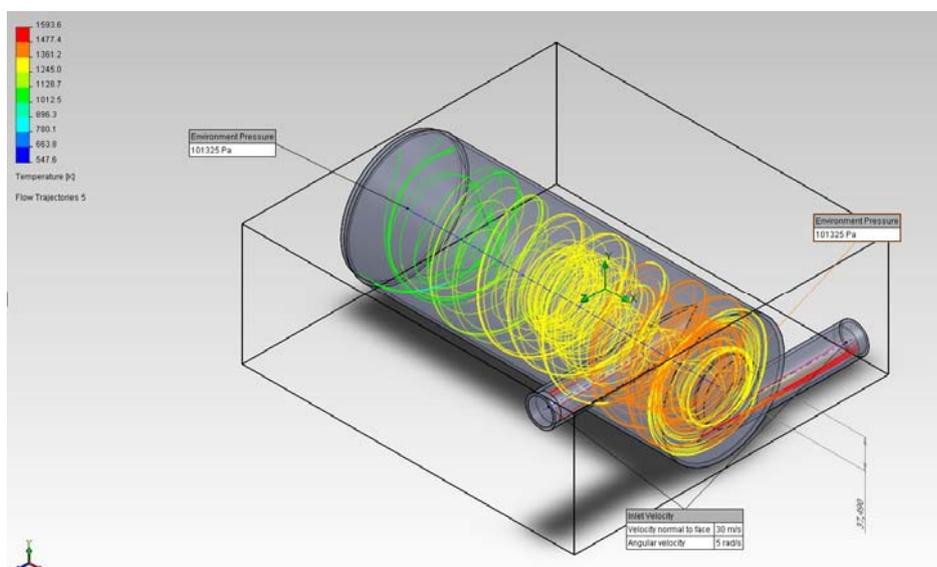
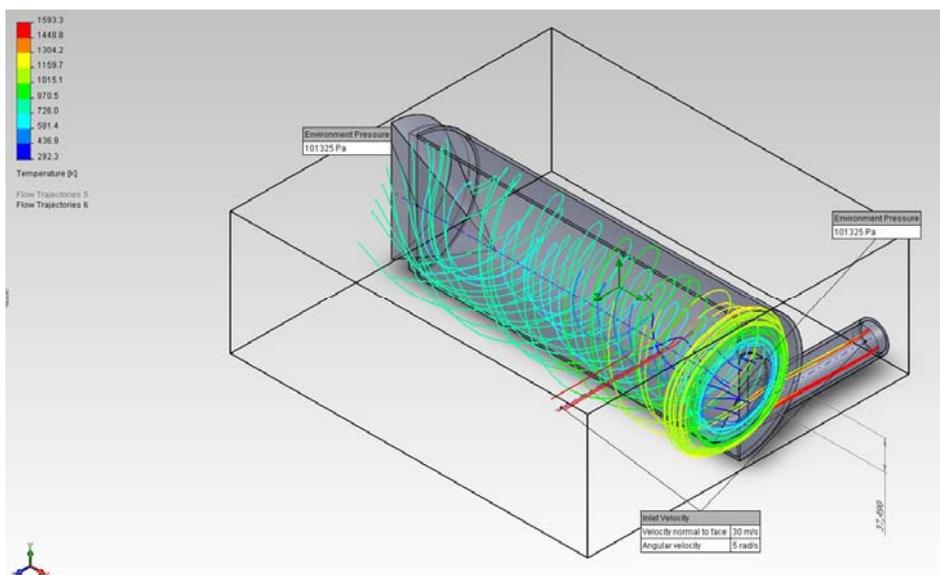


Рис. 2 Линии токов в модели (дроссель-клапан закрыт)



**Рис. 3 Линии токов в модели (дроссель-клапан открыт)**

Анализ поля скоростей и распределения температуры при закрытом дроссель-клапане (рис.2) показывает, что максимум температур находится на оси теплогенератора и весь объем продуктов сгорания удаляется через диафрагму, расположенную возле тангенциальных патрубков.

Противоположная картина распределения температур наблюдается в случае если дроссель-клапан открыт (рис. 3). Поток продуктов сгорания разделяется на два:

- более «холодный» поток (относительно средней температуры горения в топке) удаляется через диафрагму;
- более «горячий» поток удаляется через кольцевую щель, образованную корпусом теплогенератора и дроссель-клапаном.



**Рис. 4 Испытательный стенд**

При использовании данной схемы организации сжигания органического топлива в закрученных потоках в теплогенерирующих установках малой мощности вместо снижения нагрузки теплогенератора (как следствие увеличение концентрации оксида

углерода и бензопирена в продуктах сгорания) производить регулирование путем перераспределения (деления потока продуктов сгорания на два независимых) тепловой энергии. При номинальной нагрузке теплогенератора весь поток продуктов сгорания выходит через диафрагму (дроссель-клапан закрыт), при снижении нагрузки дроссель-клапан открывается:

-через кольцевую щель выходят более горячие продукты горения для нагрева теплоносителя в накопительной емкости (бак-аккумулятор);

-через диафрагму выходят продукты горения с более низкой температурой, тем самым снижая потребление тепловой энергии основного потребителя (например, система отопления).

### **ВЫВОДЫ**

1. Теплогенерирующие установки малой мощности большую часть времени вырабатывают тепловую энергию не при 100% нагрузке.

2. В результате теоретического моделирования процессов горения органических топлив в топках теплогенерирующих установок малой мощности было предложено при снижении потребности в тепловой энергии производить перераспределение тепловой энергии (накопление в баках-аккумуляторах) без снижения общей нагрузки теплогенератора.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Лукьянов А. В. Теоретические основы и способы увеличения энергоэкологических характеристик теплогенераторов для локальных систем теплоснабжения// Автореферат диссертации на получение научной степени доктора технических наук.- Макеевка, 2007
2. Акбаров А. Б. Разработка и исследование прямоточных горелок с регулируемой аэродинамикой факела: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.14.04. / М-во энергетики и электрификации СССР. Главтехуправление. Каз. НИИ энергетики. – Алма-Ата, 1988. – 18 с.
3. Зайцев О.Н. Управление аэродинамической обстановкой в рабочем объеме теплогенерирующих установок.// Вісник ОДАБА №7, 2002, с. 60-64.
4. Меркулов А. П. (Ред.) Вихревой эффект и его применение в технике. Куйбышев: КуЛИ, 1988.
5. Найденов Г.Ф. Газогорелочные устройства с регулируемыми характеристиками факела. К.: Техніка, 1974. – 112 с.
6. СНиП 2.04.05-91\* Отопление, вентиляция и кондиционирование. Киев. КиевЗНИИЭП, 1996 - с. 89.
7. Oleg Zaitsev, Sergey Toporen, Vasiliy Shmonyak, Vasiliy Nakonechniy. Stability of a rotating gas stream in the change in the extent of its twist// Motorization and power industry in agriculture, 2009, pp. 164-168
8. Rånque G. J. Phys Radium (Paris) 4 (1933), pp. 112–114 (in English).

**УДК 66.074**

**Хван В.С., к.т.н., доцент**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

### **АППАРАТ ДЛЯ МОКРОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ.**

*В данной работе представлен разработанный эффективный аппарат для мокрой очистки загрязненного воздуха от пыли, предназначенный для вытяжной системы вентиляции в строительной индустрии.*

*Загрязненный воздух, удаляемый из помещения, подается в пылеуловитель, где смешивается с холодным воздухом, который в свою очередь подается вовнутрь пылеуловителя через форсунки, установленные на внутренней поверхности металлических колец каркаса. В результате смешивания холодного и теплого воздушных потоков внутри корпуса пылеуловителя образуется туман. Туман представляет из себя мелкие капельки воды. Загрязненный воздух проходя сквозь густой водяной туман, очищается от пылевидных частичек. Принцип очистки частиц пыли основан на том, что последние захватываются капельками воды, утяжеляются и под действием сил гравитации осаждаются в шламоборнике. Таким образом достигается повышение эффективности очистки загрязненного воздуха от пыли.*

**охрана чистоты атмосферы, пылеуловитель, пылесборник, корпус, бункер, воздух, пыль, очистка, кольца, патрубок, фракция, эффективность.**

## **ВВЕДЕНИЕ.**

В общей экологической проблеме важным разделом является охрана чистоты атмосферы и воздуха производственных помещений от вредных загрязнений и в том числе от пыли.

Согласно имеющимся нормативам запыленность атмосферы над территориями предприятий не должна превышать 30% предельно-допустимых концентраций (ПДК) пыли в воздухе производственных помещений. Между тем, концентрация пыли в атмосфере промплощадок многих предприятий не только не отвечает этим нормативам, но значительно выше ПДК для воздуха внутри промышленных зданий. Это объясняется недостаточной очисткой пылевых выбросов, а также и тем, что они во многих случаях выводятся не выше зоны аэродинамической тени зданий и вследствие интенсивных циркуляционных токов воздуха в этой зоне, быстро достигают приземных слоев атмосферы. Это создает дополнительный пылевой фон для воздуха производственных помещений, резко усложняя и удорожая системы вентиляции.

## **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ.**

Известен пылеуловитель для сухой очистки воздуха от пыли, включающий: корпус, входной и выходной патрубки и пылесборник [1].

Известное устройство характеризуется простотой конструкции и работы. Они сравнительно дешевы и недороги в эксплуатации. Затраты энергии на работу также относительно малы, что обусловлено малым перепадом давления при течении газа через устройство.

Аппараты такого типа чаще всего используются для первичного удаления грубых частиц газового потока. Механические пылеуловители можно использовать как предварительные, располагая их последовательно с устройствами других типов, чтобы уменьшить нагрузку на последние. Это особенно необходимо при сильно запыленных газовых потоках. Механические пылеуловители могут работать долгое время без обслуживания с малыми энергетическими затратами.

Принцип работы устройства основан на том, что запыленный газовый поток пропускается через аппарат с малой скоростью, делающей возможным гравитационное осаждение (седиментацию) транспортируемой взвеси.

Для достижения приемлемой эффективности очистки газов данными устройствами необходимо, чтобы частицы находились в пылеосадительных аппаратах возможно более продолжительное время, а скорость движения пылевого потока была незначительной. Поэтому данное оборудование относится к категории экстенсивного оборудования, рабочие объемы таких аппаратов весьма значительны, что требует больших производственных площадей. Однако пылеосадительные камеры и пылевые мешки обладают очень незначительным гидравлическим сопротивлением (50...300 Па).



мелкие капельки воды. Загрязненный воздух проходя сквозь густой водяной туман, очищается от пылевидных частичек. Принцип очистки частиц пыли основан на том, что последние захватываются капельками воды, утяжеляются и под действием сил гравитации осаждаются в шламоборнике.

Таким образом достигается повышение эффективности очистки загрязненного воздуха от пыли.

Конструкция пылеуловителя включает: цилиндрический корпус 4, входной 1 и выходной 2 патрубки, каплеуловитель 3, шламоборники 5, металлические кольца 6, ребра жесткости 7, металлическая труба 8, муфты 9, сопла 10. Корпус 4 выполнен из листового железа и имеет сужающиеся торцы, переходящие во входной 1 и выходной 2 патрубки. Входной патрубок 1 предназначен для подачи загрязненного воздуха на очистку, а выходной 2 – для удаления очищенного воздуха. Внутри корпуса 4 размещен каркас, состоящий из установленных на расстоянии друг от друга полых металлических колец 6 различного диаметра, к которым прикреплены ребра жесткости 7. Металлические кольца 6 имеют разные диаметры, переднее кольцо - самого большого диаметра, а последнее – самого малого диаметра, причем кольца имеют круглое поперечное сечение. Ребра жесткости 7 выполнены из стального прута, имеющего прямоугольное поперечное сечение. В нижней части корпуса 4 имеются бункера, служащие для направления осажденной пыли в шламоборники 5. Каплеуловитель 3 замыкает каркас и установлен на выходе из пылеуловителя. В нижней части каркаса прикреплена металлическая труба 8, предназначенная для подачи холодного воздуха к соплам 10 через муфты 9. Струя холодного воздуха от сопел 10 направляется вовнутрь каркаса, где смешивается с загрязненным воздухом.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.**

Пылеуловитель работает следующим образом. Загрязненный воздух поступает в пылеуловитель через входной патрубок 1. Скорость подачи загрязненного воздуха составляет 10-15 м/с. С такой же скоростью подается холодный воздух через сопла 10. Холодный воздух с температурой 10-15 °С подается через металлическую трубу 8, далее проходит через муфты 9 и поступает к соплам 10, откуда направляется вовнутрь каркаса. Далее холодный воздух перемешивается с загрязненным воздухом с температурой 50-60 °С, причем температура получаемой смеси воздуха должна соответствовать температуре точки росы. Это достигается путем перемешивания соответствующих объемов холодного и нагретого воздуха, определяемых из I-d – диаграммы. В этом случае в получаемой смеси воздуха будет образовываться конденсат в виде маленьких капелек воды, находящихся во взвешенном состоянии. При этом частицы пыли будут захватываться капельками воды. Капельки связанной воды и пыли по мере движения будут укрупняться и под действием силы гравитации будут падать вниз в бункер, а затем в шламоборник 5. Мелкие капельки воды с захваченными мельчайшими частицами пыли будут уноситься в направлении каплеуловителя 3. При встрече их с поверхностью каплеуловителя 3, они будут разбиваться об поверхность последнего, а затем растекаться по ней. Далее вода с пылевидными частицами будет стекать вниз в пылесборник 5. Очищенный от пыли воздух направляется в выходной патрубок 2 и далее в окружающую среду. Таким образом, использование разработанного пылеуловителя позволяет повысить эффективность очистки загрязненного воздуха.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

Использование разработанного аппарата для мокрой очистки воздуха от пыли позволяет обеспечить более эффективную очистку загрязненного воздуха, по сравнению с аналогом. Это достигается за счет изменении конструкции аппарата и технологии очистки загрязненного воздуха. В результате использования разработанного аппарата достигается осаждение не только крупной и средней фракции пыли, но и мелкой фракции пыли размером менее 5 мкм. Таким образом, удаляемый из аппарата очищенный воздух, можно свободно выбрасывать в окружающую среду без ущерба для нее.

## ВЫВОДЫ.

- Разработанный аппарат для мокрой очистки воздуха от пыли позволяет:
1. Обеспечить эффективное осаждение не только крупной и средней фракций пыли из загрязненного воздуха, но и мелкую фракцию пыли, за счет надежного связывания пылевидных частиц конденсационными капельками воды, с последующей из утилизацией в шламособорник.
  2. Конденсационные капельки воды образуются в воздушной смеси за счет смешения теплого загрязненного воздушного потока и охлажденного воздушного потока внутри аппарата.
  3. Объемы смешиваемых объемов воздуха для получения процесса конденсации влаги определяют по I-d – диаграмме.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. 25- 27с.

УДК 338.984, 620.92, 620.4

Химич А. П.

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНЦЕНТРАТОРОВ

*В работе проведен анализ зависимости капиталовложений в солнечные электростанции на базе солнечных элементов и линз Френеля от установленной степени концентрации. Для оптимальных конфигураций проектов построены экономические модели и определены сроки окупаемости, а также возможная прибыль с учетом рыночных условий Украины.*

**солнечная электростанция, концентратор, линза Френеля, финансовая модель, рынок энергетики, зеленый тариф.**

**Введение.** В настоящее время обеспечение экологической безопасности приводит к широкому использованию альтернативных возобновляемых источников энергии. Одним из перспективных направлений является применение концентраторов солнечной энергии для повышения выходной мощности солнечных фотоэлектрических батарей. Традиционные кремниевые солнечные элементы значительно снижают свою эффективность уже при интенсивности  $3000 \text{ Вт/м}^2$ , поэтому для получения электроэнергии в станциях с высокими степенями концентрации используются многoperеходные гетероструктурные полупроводниковые преобразователи, например, GaAsGe.[1] Такие материалы существенно дороже кремниевых кристаллов, но при этом достигают КПД до 39%, что делает целесообразным их применение при интенсивностях до  $10^6 \text{ Вт/м}^2$ .

**Анализ публикаций.** В результате аналитического обзора литературы была собрана информация о ценах на линзы Френеля, фотоэлементы и сопутствующее оборудование [2,3,4,5,6,7], проанализированы существующие отчеты [8], макроэкономические показатели Украины и мира [9,10,11], а также закон Украины [12], рассматривающий вопросы «зеленого тарифа». В результате были получены необходимые данные для расчета и экономического прогнозирования работы солнечных электростанций.

**Постановка задачи.** Была поставлена задача, заключающаяся в выявлении зависимости между степенью концентрации и необходимыми капиталовложениями, а также построения экономических моделей и определения рентабельности предприятия для нескольких сочетаний концентраторов и фотопреобразователей.

**Исследование.** Для оценки зависимости между установленной степенью концентрации и необходимыми капиталовложениями была получена приближенная формула:

$$S = \frac{P_n}{I_0 \eta_{pv} \eta_c} \cdot \left( \frac{W_{pv}}{k_c} + W_c \right) \quad (1)$$

- где  $S$  – капиталовложения, \$;  
 $P_n$  – установленная мощность гелиополя, Вт;  
 $I_0$  – расчетная интенсивность солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $k_c$  – степень концентрации;  
 $\eta_{pv} = f(k_c)$  – КПД солнечного элемента;  
 $\eta_c$  – эффективность концентрации;  
 $W_{pv}$  – стоимость единицы площади солнечных элементов, \$/м<sup>2</sup>;  
 $W_c$  – стоимость единицы площади линз Френеля, \$/м<sup>2</sup>;

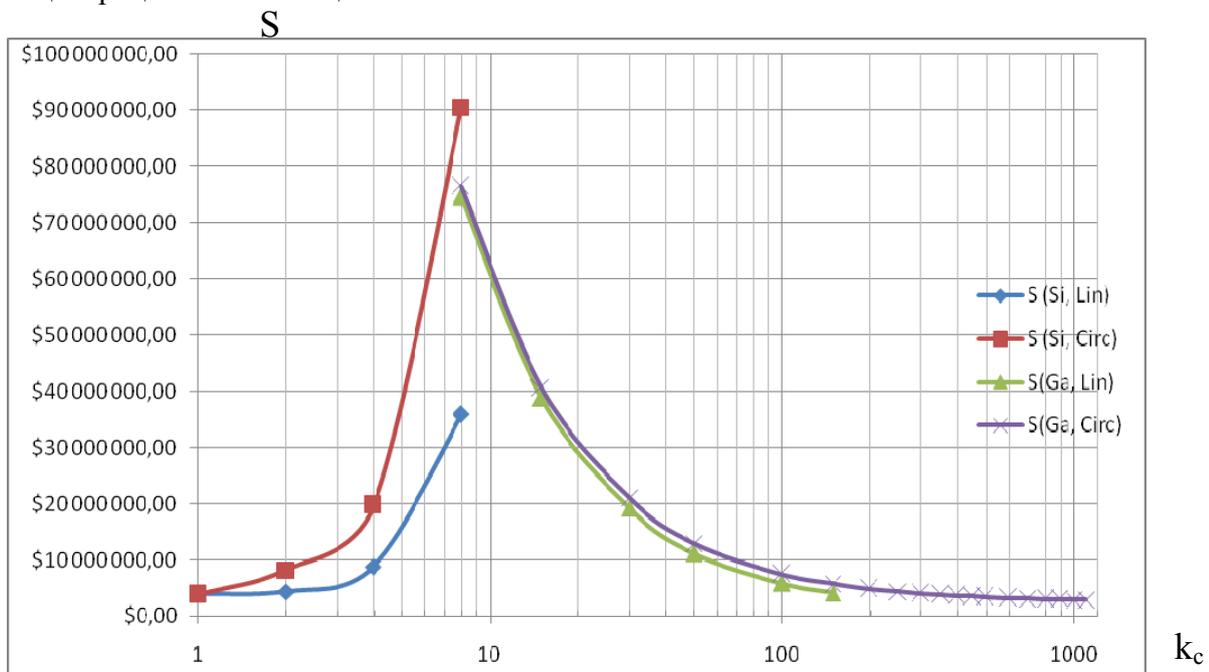
При этом допускается, что стоимость вспомогательного оборудования для рассматриваемых вариантов электростанций примерно одинакова, затраты энергии на слежение за солнцем и охлаждение компенсируются соответствующим выигрышем в эффективности.

Для солнечной электростанции базовой номинальной мощностью 1 МВт были рассмотрены 4 комбинации типов солнечных элементов (Si, GaAs) и концентраторов (линейные и радиальные линзы Френеля). В результате было получено 4 зависимости капиталовложений  $S$  от степени концентрации, которые представлены на рис. 1.

Из графиков видно, что наиболее выгодно создание электростанций двух типов:

1 – плоские солнечные батареи основе кремния без концентрации;

2 – многопереходные фотоэлементы на основе GaAs и радиальных линз Френеля с концентрацией 500 солнц и выше.



**Рис. 1. Зависимость капиталовложений  $S$  от степени концентрации  $k_c$  для нескольких комбинаций фотопреобразователей и концентраторов**

Для создания экономической модели были выбраны два варианта электростанций: без концентрации на основе кремниевых фотоэлементов и при отсутствии слежения за солнцем, а также станция с радиальными концентраторами Френеля на основе многопереходных гетероструктурных фотоэлементов GaAsGe с применением слежения за солнцем. В каждой станции происходит непосредственное преобразования солнечной энергии в электрическую, полностью отсутствуют вредные выбросы, что дает возможность продавать электроэнергию с самой высокой ставкой «зеленого тарифа» 4,8 [12], то есть по \$0,369 за 1 кВтч.

Для определения расчетной интенсивности солнечной радиации был проведен почасовой расчет поступающего излучения для каждого месяца на следящую и неследящую поверхность в климатических условиях Крыма. Затем была рассчитана средняя интенсивность солнечной радиации за год. Для следящей поверхности она составила  $I_1 = 0,705$  кВт/м<sup>2</sup>, для неследящей  $I_2 = 0,627$  кВт/м<sup>2</sup>. По этим данным был проведен расчет необходимого количества фотоэлементов и линз Френеля. По данным производителя [2] площадь 1 элемента GaAsGe равна 1 см<sup>2</sup>, при этом наибольшую эффективность он имеет при интенсивности 500 кВт/м<sup>2</sup>. Исходя из этих параметров, можно определить необходимую степень концентрации:

$$k_c = \frac{500}{I_1 \cdot \eta_{opt}} = \frac{500}{0,705 \cdot 0,85} = 815 \quad (2)$$

и необходимую площадь каждой линзы Френеля:

$$A_{1FL} = A_{1PV} \cdot k_c = 1 \cdot 815 = 815 \text{ см}^2 \quad (3)$$

Опираясь на полученные данные, был произведен расчет размеров гелиополя и оценена площадь застройки.

Исходные данные для построения финансовой модели и разработки бизнес-плана приведены в табл. 1

Таблица 1

#### Исходные данные и допущения

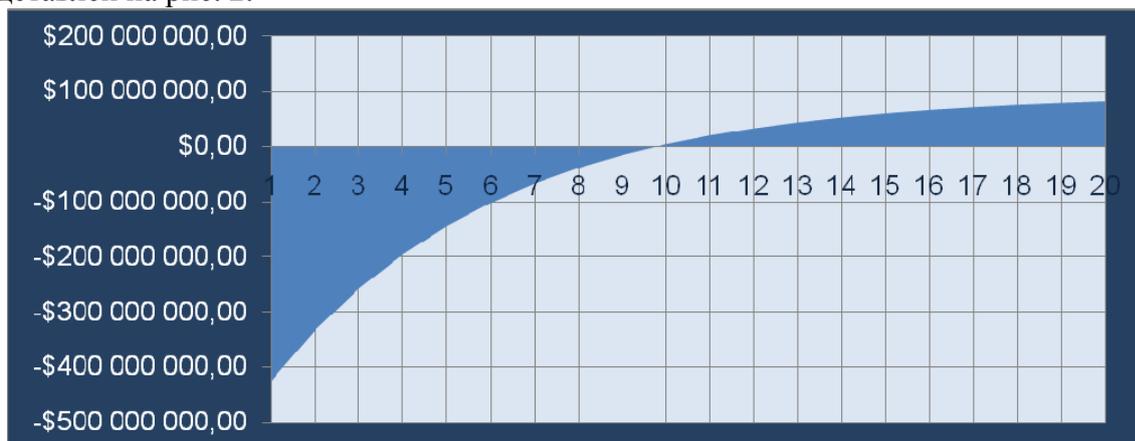
Год	2011	2012	2013	...*
<b>Допущения по доходам</b>				
Тариф на электроэнергию, \$/кВтч [10]	0,369	0,369	0,369	...
Темп роста** тарифа на электроэнергию, %	0%			
<b>Допущения по операционным затратам</b>				
Введенная мощность, % от номинальной	0%	100%	100%	...
Число сотрудников	10	10	10	...
Темп роста средней зар. Платы	5%			
Средняя зар. плата за год, \$	4000	\$4 200	\$4 410	...
Налог на землю, \$ с 1 м <sup>2</sup> [4]	0,0094	0,0098	0,0103	...
Темп роста налога на землю	5%			
Проектная площадь застройки, м <sup>2</sup> [1]	386400			
Текущая площадь застройки, км <sup>2</sup>	0	1,17	1,17	...

**Примечания:** (\*): данные были экстраполированы на 20 лет работы

(\*\*): предполагаемые темпы роста тарифов, заработной платы и налогов были приняты исходя из динамики экономических показателей за последние 5 лет, а также принятых темпов роста в аналогичных проектах

Были построены графики движения дисконтированных денежных потоков, которые учитывают полученную прибыль от продаж электроэнергии, налоги на землю, выплаты с фонда оплаты труда, а также предполагаемый рост этих показателей с течением времени. Ставка дисконтирования была рассчитана в соответствии с методологией Deloitte and Touche RCS на основании других энергетических проектов[8], а также экономической ситуации в Украине, и составила 21% для рассматриваемых моделей электростанций.

График движения дисконтированного денежного потока для станции мощностью 100 МВт с кремниевыми солнечными преобразователями без слежения за солнцем представлен на рис. 2.

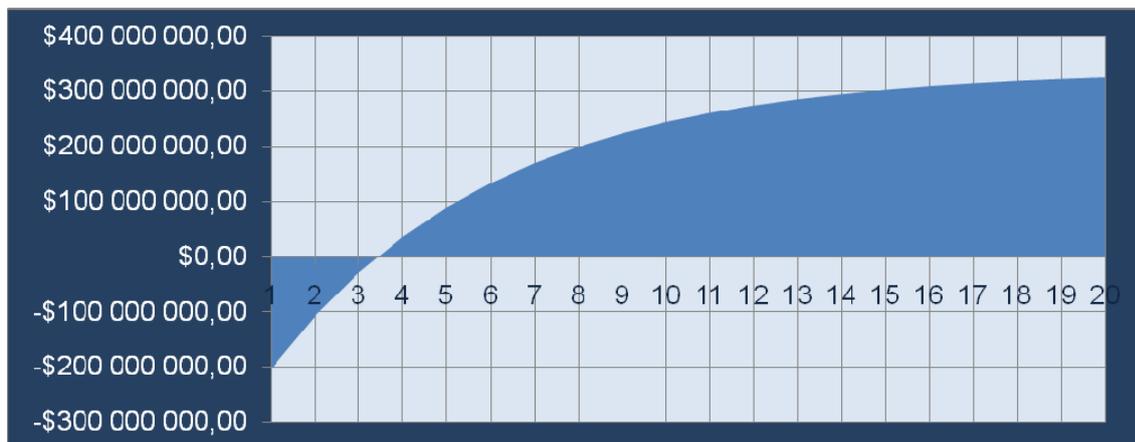


**Рис. 2. График изменения чистой приведенной стоимости солнечной электростанции на основе кремниевых фотопреобразователей**

Из графика видно, что окупаемость произойдет примерно через 10 лет работы электростанции, но ввиду больших капитальных затрат и высокой ставки дисконтирования, расчетная прибыль в конце 20 года работы оказывается невысокой.

На рис. 3 показан аналогичный график для солнечной электростанции с линзами Френеля и фотоэлементами на основе GaAsGe. Такой проект окупится уже через 3 года работы, а предполагаемая прибыль в полтора раза превысит затраты.

Таким образом, использование высоких степеней концентрации от 500 до 1000 солнц и многопереходных фотоэлементов значительно выгоднее применения кремниевых панелей. При этом затраты на слежение за солнцем составляют около 1% от полученной электроэнергии [13], а тепло, отводимое от фотоэлементов в процессе охлаждения, можно использовать для централизованного теплоснабжения.



**Рис. 3. График изменения чистой приведенной стоимости солнечной электростанции на основе GaAsGe и линз Френеля**

### ВЫВОДЫ

. Были рассмотрены и проанализированы несколько вариантов комбинаций полупроводниковых преобразователей и коцентраторов на основе линз Френеля, а также построены экономические модели станции с кремниевыми фотоэлементами и AsGaGe-фотоэлементами. Последняя станция имеет меньший срок окупаемости (3 года) и большую чистую приведенную стоимость в конце 20 года работы (\$325 млн), что делает ее более перспективной по сравнению с первой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Antonio Luque and Viacheslav Andreev. Concentrator Photovoltaics. – Madrid: Springer, 2007. – 345 p.;
2. CDO-100-IC Concentrator Photovoltaic Cell with Welded Leads (ICs). Promo sheet.– Spectrolab inc., Sylmar, CA;
3. BHLens, производитель линз Френеля [[http://www.bhlens.com/fresnel\\_lens.aspx](http://www.bhlens.com/fresnel_lens.aspx)]
4. Fresnel Lenses Catalogue.– Fresnel Technologies inc., Fort Worth, Texas;
5. Цены на строительные материалы [<http://www.stroyotdel.ru/>];
6. Расценки на строительные работы [[http://std.silap.com.ua/component/option,com\\_frontpage/Itemid,1/](http://std.silap.com.ua/component/option,com_frontpage/Itemid,1/)];
7. Металлопрокат Украина (<http://www.metal.ukrbud.kiev.ua/>);
8. Отчет об оценке Рефтинской ГРЭС [[http://www.rao-ees.ru/ru/reforming/ogk/reftinsk\\_gres.rar](http://www.rao-ees.ru/ru/reforming/ogk/reftinsk_gres.rar)];
9. Национальный банк Украины. Финансовые рынки. [[http://www.bank.gov.ua/Fin\\_ryn/index.htm](http://www.bank.gov.ua/Fin_ryn/index.htm)];
10. Статистические данные по макроэкономическим показателям Украины [<http://macrostat.nm.ru/>];
11. U. S. Treasury. Daily Treasury Yield Curve [(<http://www.ustreas.gov/offices/domestic-finance/debt-management/interest-rate/yield.shtml>);
12. Закон України «Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії»;
13. Amonix CPV Technology [<http://amonix.com/content/dual-axis-tracking-0>]

## АНОТАЦІЇ

### **Кириленко В.Ф. ДО ПИТАННЯ СТІЙКОСТІ ПЛОСКОЇ ФОРМИ ДЕФОРМУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК**

*На основі рішень Л. Прандтля і С.П. Тимошенко для прямокутних смуг одержані розрахункові залежності для визначення критичних навантажень втрати стійкості плоскої форми деформування вільно опертих та консольних дерев'яних балок прямокутного поперечного перерізу.*

### **Кумеда Ю.А., Линченко Ю.П. УМОВИ Й ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КРУПНОПАНЕЛЬНИХ БУДИНКІВ ФІРМИ «КОНСОЛЬ»**

*Описано методика застосування великопанельних будинків у різних регіонах України, розроблені й розраховані в ПК «МОНОМАХ» різні моделі будинку: 9, 12, 14, 16 поверхів без сейсміки, і 9 поверхів із сейсмічним навантаженням в 7, 8, 9 балів.*

### **Лівшиць Б.Р. ВИЗНАЧЕННЯ ПЕНЕТРАЦІЇ ОПОРНИХ КОЛОН САМОПІДНІМАЛЬНОЇ ПЛАВУЧОЇ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ В ҐРУНТ**

*Розглядаються питання визначення пенетрації опорних колон СПБУ в ґрунт за спрощеною методикою. Аналізуються отримані результати з величиною пенетрації СПБУ при постановці на ґрунт.*

### **Литовченко П.А., Глушаков Н.И. ЗАЛЕЖНІСТЬ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПОЛЕГШЕНИХ ТРИШАРОВИХ СБОРНО-МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПАНЕЛЕЙ ВІД ДІАМЕТРА РОЗКОСІВ, ПРИ ВИГІНІ.**

*Вивчено вплив діаметра розкосів, на несучу здатність панелей, при вигині. Виявлено, що при збільшенні діаметра розкосів збільшується й несуча здатність, доти, поки руйнування панелей походить від втрати стійкості розкосів. Подальше збільшення діаметра розкосів не робить істотного впливу на несучу здатність панелей.*

### **Родін С.В., Чеканович О.М. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ЗОВНІШНЬОЮ АРМАТУРОЮ**

*У статті пропонується розрахунок залізобетонних балок, підсилених за допомогою зовнішньої арматури у вигляді взаємопов'язаних зтяжки і розтяжок. Представлений удосконалений підхід при розрахунку таких позацетрово стиснутих балок та блок-схема розрахунку.*

### **Любомирский Н.В. , Бахтина Т.А. , Бахтин А.С. , Джелил А.Э. ВПЛИВ ЯКОСТІ ВАПНА Й КОНЦЕНТРАЦІЇ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШТУЧНО КАРБОНІЗОВАНОГО КАМЕНЮ**

*Досліджено зміну міцності вапняних зразків залежно від якості вапна й концентрації вуглекислого газу в процесі карбонізації. Проведено оптимізацію технологічних параметрів одержання вапняних карбонізованих зразків з використанням методів оптимального планування експерименту. Побудовано тривимірні області оптимальних параметрів одержання карбонізованих матеріалів, що дозволяють комплексно оцінити спільний вплив якісних показників вапняної в'язкого, концентрації вуглекислого газу, водосодержання сировинній суміші й тривалості карбонізації.*

### **Губченко В. Е., Жигна В.В. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПЛИТНИХ ФУНДАМЕН-ТОВ НА ПРОДАВЛИВАНІЕ З УРАХУВАННЯМ ДІЇ ЗГІНАЛЬНИХ МОМЕНТІВ**

*Розроблено положення, що деталізують методика розрахунку фундаментних плит на продавливание з урахуванням дії згинальних моментів шляхом використання показників*

відносної несучої здатності. Дані положення дозволяють вирішувати зворотне завдання прямим чисельним методом.

**Хабрат Н.И., Морозов А.Д., Умеров Э.Д. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ САМОНАТЯЖНОЇ ПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ З НАТЯЖНИМ РОЛИКОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФОАНАЛІТИЧНОГО СПОСОБУ ПОСЛІДОВНИХ НАБЛИЖЕНЬ**

*Розглянуто роботу й наведено аналітичний опис для визначення основних параметрів самонатяжної пасової передачі з натяжним роликом, а також вплив на них міжосьової відстані й передатного відношення.*

**Хабрат Н.И. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ВІДСТАНІ МІЖ ГАЛУЗЯМИ ПОЛІСПАСТІВ БАШТОВИХ КРАНІВ**

*Розроблено основи для створення раціональної конструкції поліспаств для баштових кранів з урахуванням їх параметрів.*

**Іваненко Т.О., Карнаух О.П., Сапронова З.Д., Снегірьов В.С. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ ВЕЛИКОЇ ЯЛТИ**

*Проаналізовано екологічний стан поверхневих вод природного стоку (річки, джерела) зливового і каналізаційного стоків в прибережну зону моря, виявлені основні проблеми, що вимагають вирішення для розвитку Великої Ялти як курорту.*

**Ревякіна Ю. М. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ ПОВІТРЯ**

*У статті досліджено можливості управління і підвищення ефективності процесу регенерації повітря в захисних спорудах у режимі герметизації. Виділено основні напрямки, що дозволяють без зміни принципової конструкції існуючих регенеративних установок, підвищити їх захисний ресурс.*

**Стоянов В.У., Фрідман А.В. АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ХІМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ЕКОЛОГІЧНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ**

*Досліджена проблема можливості оцінки та прогнозування хімічної обстановки внаслідок надзвичайних ситуацій на екологічно-небезпечних об'єктах.*

**Сухорученко С.К. РІВНЯННЯ РЕГРЕСІЇ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕОЛОВО-ДЕЛЮВІАЛЬНИХ ПРОСІДНИХ ҐРУНТІВ РІВНИННОГО КРИМУ**

*У статті розглядаються просідні еолово-делювіальні лесові ґрунти Рівнинного Криму та змінення їх фізико-механічних властивостей під впливом господарської діяльності людини. Приведені регресійні рівняння залежності модуля деформації від щільності сухого ґрунту для лесових відкладень Рівнинного Криму*

**Сухорученко С.К. ЗМІНЕННЯ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНОГО СТАНУ НАБУХАЮЧИХ НИЖНЬОКРЕЙДЯНИХ ГЛИН КРИМСЬКОГО ПЕРЕДГІР'Я У ПРИРОДНИХ ТА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМАХ**

*У статті розглянуті основні природні і техногенні фактори формування нижньокрейдяних глин Кримського Передгір'я. У перше наведені кількісні показники погіршення стану досліджуваних глин у природних та природно-техногенних системах.*

**Анісімов С.Н., Глухов М.Д., Слободіна А.Д. АНАЛІЗ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ОПАЛЮВАЛЬНО-ВИРОБНИЧОЇ КОТЕЛЬНОЇ З УРАХУВАННЯМ НЕЗВОРОТНИХ ВТРАТ**

*Проведено термодинамічний аналіз ефективності роботи традиційної теплової схеми котельні з паровими котлами. Виявлено елементи з найбільшими втратами працездатності. Запропоновано модернізована теплова схема.*

**Башта А. І. ВПЛИВ ЗРОСТАННЯ РІВНЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В РЕКРЕАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ НА ЗБІЛЬШЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ПОНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЗАГАЛЬНОМУ ЕНЕРГЕТИЧНОМУ БЮДЖЕТІ РЕГІОНУ**

*Визначено вплив зростання впровадження поновлюваних джерел енергії в рекреаційних підприємствах на збільшення виробництва енергії в регіоні. Обґрунтовано необхідність впровадження поновлюваних джерел енергії в рекреаційній системі, як основи інноваційних технологій в енергетиці*

**Бекиров Э.А., Романовский И.В., Колобов С.И. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ГЕНЕРИРУЕМОЇ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ В ЕНЕРГОСИСТЕМУ**

*У роботі проводиться аналіз якості електроенергії генерируемой сонячною електростанцією в загальну енергосистему. За експериментальними даними напруг і струмів трифазної системи визначені значення коефіцієнтів гармонік і фази, розраховані значення потужності зворотної послідовності вищих гармонік, визначені коефіцієнти несиметрії. На підставі отриманих даних проведений аналіз якості вироблюваною сонячною електростанцією електричної енергії.*

**Бекиров Э.А., Калачик Ю. ЗБІЛЬШЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ КРИМУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

*У роботі проведений аналіз енергоспоживання в Криму, наведені перспективні й прогностичні дані підвищення енергетичного потенціалу Криму при використанні поновлюваних джерел енергії.*

**Герціо І. Ю. МЕТОДИКА СКЛАДАННЯ І ОЦІНКА ТЕСТУ ЯК ІНСТРУМЕНТУ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ЗНАТЬ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНОЇ СПЕЦІАЛЬНОСТІ ПРИ БОЛОНСЬКІЙ СИСТЕМІ**

*Узагальнені і сформульовані основні вимоги до тестових завдань з технічних дисциплін. Запропоновано систему спрощеної оцінки ефективності тесту, заснована на визначенні якості, як окремого тестового завдання, так і всього тесту в цілому.*

**Горохов М.В., Маркін О.В., Мислівец О.В., Пермінов І.А. ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЬ ПЛОСЬКОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА SKN 4.0 - S VUDERUS ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГЕЛІОСИСТЕМИ**

*У роботі досліджена продуктивність сонячного колектора SKN4.0-S виробництва компанії «Viderus» в залежності від кута нахилу і сезонності періоду роботи сонячної установки. Визначено оптимальні кути нахилу колектора для чотирьох режимів роботи геліосистеми запроєктованої в Сімферополі. Показано, що кут нахилу сонячного колектора прийнятий з урахуванням режиму роботи геліосистеми істотно впливає на теплопродуктивність за сезон.*

**Діхтяр Т. В., Боровський Б.Й. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕФЕКТУ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКУ ВІД ДІАМЕТРІВ БУЛЬБАШОК ПОВІТРЯ**

*Визначений ефект очищення стічних вод в аеротенку при пневматичній аерації залежно від діаметрів бульбашок повітря при різних витратах міських стічних вод різної забрудненості.*

**Зайцев О.М., Борисенко К.І., Шмоняк В.І., Наконечний В.А. ВПЛИВ  
ТЕМПЕРАТУРНОГО НАПОРУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СИСТЕМИ  
ОПАЛЕННЯ З ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИМ БАКОМ**

*Виявлено, що для ефективного використання бака акумулятора та збільшення часу підтримки заданої температури в приміщенні необхідно виконувати розрахунок потрібної площі опалювальних приладів для систем опалення не на максимальний температурний перепад, а з врахуванням охолодження – на середній між максимальним і мінімальним в приміщенні.*

**Зайцев О.М., Верламов О.М., Ангелюк І.П. ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛА  
КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СТОКІВ НА ПОТРЕБИ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

*Використання тепла каналізаційних стоків може скоротити витрату палива та зменшити кількість викидів забруднюючих речовин.*

**Зайцев О.М., Кімаковський К.М., Борисенко К.І., Шмоняк В.І. ЗАЛЕЖНІСТЬ  
ГІДРАВЛІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ АКУМУЛЯТОРІВ ВІД ВИДУ  
ТЕПЛОНОСІЯ**

*В результаті теоретичного моделювання тепло-гідравлічних процесів в акумуляторах при використанні в системі опалення різних теплоносіїв виявлено, що даної конструкції існує значна нерівномірність швидкості в обсязі бака-акумулятора. Запропоновано конструкцію акумуляуючої ємності, за основу якої взято конфігурація профілю лінії струму при русі твердого теплоносія.*

**Климчук О.А., Шраменко А.М. АКУМУЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ  
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ГРОМАДСЬКИХ БУДИНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ  
НІЧНОГО ТАРИФИ НА ЕЛЕКТРО-ЕНЕРГІЮ.**

*Розглянуто акумуляційні системи теплопостачання громадських будівель з двухперіодним режимом роботи. Запропоновано схему комбінованого теплопостачання із застосуванням хромомагнетитових акумуляторів тепла на нічний тариф електро-енергії.*

**Маркін О.В. ОЦІНКА ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ ГРІЮЧОЇ  
ПАНЕЛІ ПІДЛОГОВОГО ОПАЛЕННЯ МІЖПОВЕРХОВОГО ПЕРЕКРИТТЯ**

*Наведено результати теоретичних досліджень здібності нагрівальної панелі підлогового опалення розташованої в міжповерховому перекритті акумулявати тепло в умовах квазістаціонарного теплового режиму з урахуванням теплового потоку в нижчих приміщеннях при різних конструктивних характеристиках системи підлогового опалення.*

**Пашенцева Л. В. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДЕФІНІЦІЇ  
НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІСЬКИХ МЕРЕЖ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

*Застосовуючи морфологічний аналіз, обґрунтовано сутність поняття надійності експлуатації міських мереж теплопостачання, розкрито відмінності їх функціонування від інших технічних систем, доведено комплексність цього поняття, доведено необхідність врахування часу для розрахунку надійності, запропоновано підхід щодо збору інформації про відмови, розкрито особливості надійності, які властиві саме цим системам.*

**Пермінов І.А. ПОРІВНЯННЯ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ІНТЕНСИВНОСТІ  
СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ**

*Отримано графіки інтенсивності сонячної радіації в залежності від пори року  $n$ , часу доби  $\tau$ , кута нахилу  $\beta$  і азимута розміщення сонячного колектора  $\gamma$ , широти місцевості  $\varphi$ , розраховані аналітичним методом і методом коефіцієнтів; графік відносини інтенсивності сонячної радіації розрахованої за різними методиками.*

**Пуховий І.І., Денисова А.О., Лужанська Г.В. ТЕМПЕРАТУРНІ ТА ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УТВОРЕННЯ ЛЬОДУ НА СТІНАХ БУФЕРНОЇ ЗОНИ БУДІВЛІ, ЩО ОПАЛЮЄТЬСЯ ТЕПЛОТОЮ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВОДИ**

*Розглянута можливість використання льодяної огорожі буферної зони будівлі, що розташована між житловою зоною і довкіллям. Отримано рівняння для визначення температури зовнішньої поверхні стіни буферної зони, коли на внутрішній поверхні відбувається кристалізація води. На основі отриманих температур знайдені величини густини теплових потоків та визначена питома витрата води. Витрата води зменшується з зростанням товщини льоду і для всіх розрахованих випадків (тепловідача в повітря атмосфери, його температура, товщина стіни) лежить в межах 0,3 - 5 кг за годину на квадратний метр.*

**Топорен С.С. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВОК МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ ШЛЯХОМ УПРАВЛІННЯ АЕРОДИНАМІКОЮ ТОПКИ**

*Розглянут спосіб управління аеродинамікою в топкових пристроях жаротрубних котлів заснований на ефекті Ранка*

**Хван В.С. АПАРАТ ДЛЯ МОКРОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ВІД ПИЛУ.**

*У даній роботі представлений розроблений ефективний апарат для мокрого очищення забрудненого повітря від пилу, призначений для витяжної системи вентиляції в будівельній індустрії.*

**Химич А. П. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНЦЕНТРАТОРОВ**

*В роботі проведено аналіз залежності інвестицій в сонячні електростанції на основі сонячних елементів та лінз Френеля від встановленого ступеня концентрації. Для оптимальних конфігурацій проектів побудовано економічні моделі і розраховано рентабельність та можливий прибуток з урахуванням ринкових умов в Україні.*

## СОДЕРЖАНИЕ

Кириленко В.Ф. До питання стійкості плоскої форми деформування дерев'яних балок .....	3
Кумеда Ю.А., Линченко Ю.П. Условия и область применения крупнопанельных зданий фирмы «КОНСОЛЬ» .....	9
Лившиц Б.Р. Определение пенетрации опорных колонн самоподъемной плавучей буровой установки в грунт .....	13
Литовченко П.А., Глушаков Н.И. Зависимость несущей способности облегчённых трёхслойных сборно-монолитных железобетонных панелей от диаметра раскосов, при изгибе. ....	20
Родін С.В., Чеканович О.М. Особливості розрахунку міцності та жорсткості залізобетонних балок, підсилених зовнішньою арматурою .....	24
Любомирский Н.В. , Бахтина Т.А. , Бахтин А.С., Джелал А.Э. Влияние качества извести и концентрации углекислого газа на физико-механические свойства искусственно карбонизированного камня .....	31
Губченко В. Е., Жигна В.В. Методика расчета плитных фундаментов на продавливание с учетом действия изгибающих моментов .....	38
Хабрат Н.И., Морозов А.Д., Умеров Э.Д. Определение основных параметров самонатяжной ременной передачи с натяжным роликом с использованием графоаналитического способа последовательных приближений.....	43
Хабрат Н.И. Аналитические исследования по определению величины расстояния между ветвями полиспастов башенных кранов .....	51
Иваненко Т.А, Карнаух Е.П., Сапронова З.Д., Снегирев В.С. Экологическое состояние водных ресурсов большой Ялты.....	58
Ревякина Ю. Н. Исследование возможности управления и повышения эффективности процесса регенерации воздуха.....	66
Стоянов В.У., Фридман А.В. Анализ математических моделей для оценки и прогнозирования химической обстановки в результате чрезвычайных ситуации на экологически-опасных объектах.....	74
Сухорученко С.К. Уравнения регрессии деформационных характеристик олово-делювиальных просадочных грунтов Равнинного Крыма .....	85
Сухорученко С.К., Изменение эколого-геологического состояния набухающих нижнемеловых глин Крымского Предгорья в природных и природно-техногенных системах .....	89
Анисимов С.Н., Глухов Н.Д., Слободина А.Д. Анализ тепловой схемы отопительно-производственной котельной с учетом необратимых потер.....	95
Башта А. И. Влияние роста уровня внедрения инновационных технологий в рекреационной системе на увеличение производства возобновляемой энергии в общем энергетическом бюджете региона .....	101

Бекиров Э.А., Романовский И.В. Анализ качества электрической энергии, генерируемой солнечной электростанцией в энергосистему .....	106
Бекиров Э.А., Калачик Ю. Увеличение энергетического потенциала Крыма при использовании возобновляемых источников энергии .....	115
Герчио И.Ю. Методика составления и оценка теста как инструмента измерения уровня знаний студентов технической специальности при болонской системе .....	123
Горохов М.В., Маркин А.В., Мысливец А.В., Перминов И.А. Теплопроизводительность плоского солнечного коллектора SKN 4.0 – S BUDERUS при различных режимах эксплуатации гелиосистемы .....	132
Дихтярь Т.В., Боровский Б.И. Исследование зависимости эффекта очистки сточных вод в аэротенке от диаметров пузырьков воздуха .....	137
Зайцев О.Н., Борисенко К.И., Шмоняк В.И., Наконечный В.А. Влияние температурного напора на эффективность работы системы отопления с аккумулялирующим баком .....	140
Зайцев О.Н., Верламов А.М., Ангелюк И.П. Использование тепла канализационных стоков на нужды отопления жилых зданий .....	145
Зайцев О.Н., Кимаковский К.Н., Борисенко К.И., Шмоняк В.И. Зависимость гидравлического режима работы аккумуляторов от вида теплоносителя .....	148
Климчук А.А., Шраменко А.Н. Аккумуляционные системы теплоснабжения общественных зданий с использованием ночного тарифа на электро-энергию. ....	154
Маркин А.В. Оценка теплоаккумуляционной способности греющей панели напольного отопления межэтажного перекрытия .....	156
Пашенцева Л. В. Теоретическое обоснование дефиниции надежность эксплуатации городских сетей теплоснабжения .....	162
Перминов И.А. Сравнение методик расчета интенсивности солнечной радиации .....	167
Пуховий І.І., Денисова А.О., Лужанська Г.В. Температурні та теплові характеристики утворення льоду на стінах буферної зони будівлі, що опалюється теплотою кристалізації води .....	171
Топорен С.С. Совершенствование теплогенерирующих установок малой мощности путем управления аэродинамикой топки .....	177
Хван В.С. Аппарат для мокрой очистки воздуха от пыли .....	180
Химич А. П. Анализ экономической эффективности солнечных электростанций с фотоэлектрическими преобразователями при использовании концентраторов .....	184
Аннотации на украинском языке .....	189

Збірник наукових праць  
«Будівництво та техногенна безпека»  
40/2011

Сборник научных трудов  
«Строительство и техногенная безопасность»  
40/2011

Под общей редакцией докт. техн. наук Э.Ф. Панюкова  
Технический редактор Т.И. Пчелинцева

Компьютерная верстка

К.А. Янушковский  
В.А. Белавский

Подготовлено к печати в РИО  
«Национальной академии природоохранного  
и курортного строительства»

Подписано к печати 24.01.12 г.  
Формат 60x84 1/8. Гарнитура Times New Roman  
Усл. п.л. 24,5 , Тираж 300 экз.