

**Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна**

ФІЗИКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Матеріали
Міжнародної науково-технічної конференції
«ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ 2019»
(ФТПЕШВ-2019)**

19 червня 2019 р.



Харків - 2019

УДК 620.9; 636.7; 621.039

Фізико-технічні проблеми енергетики та шляхи їх вирішення 2019 (ФТПЕШВ-2019): Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 19 червня 2019 р., м. Харків. - Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна. - 71 с.

Посвідчення МОН України № 639 від 18 грудня 2018 р.

Збірник містить тези доповідей міжнародної наукової конференції, присвяченої актуальним фізико-технічним проблемам енергетики, і пошукам шляхів їх вирішення. Розглянуто задачі теоретичної та прикладної фізики, теплофізики, газогідродинаміки, обчислювальної математики та екології. Особливу увагу приділено альтернативній енергетиці і відновлювальним джерелам енергії, екологічно чистим силовим установкам та раціональному використанню ресурсів.

Матеріали конференції мають теоретичну та практичну цінність, і можуть бути корисні науковцям, фахівцям у галузі прикладної фізики та енергетики, студентам та аспірантам технічних вузів.

Сборник содержит тезисы докладов международной научной конференции, посвященной актуальным физико-техническим проблемам энергетики, и поискам путей их решения. Рассмотрены задачи теоретической и прикладной физики, теплофизики, газогидродинамики, вычислительной математики и экологии. Особое внимание уделено альтернативной энергетике и возобновляемым источникам энергии, экологически чистым силовым установкам и рациональному использованию ресурсов.

Материалы конференции имеют теоретическую и практическую ценность, и могут быть полезны научным работникам, специалистам в области прикладной физики и энергетики, студентам и аспирантам технических вузов.

Міжнародна науково-технічна конференція: Фізико-технічні проблеми енергетики та шляхи їх вирішення 2019 (ФТПЕШВ-2019)

м. Харків, 19 червня 2019 р.

© Харківський національний університет імені
В.Н. Каразіна, 2019

© Інститут проблем машинобудування
імені А. М. Підгорного НАН України, 2019

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ВИРОБІТКУ ВІТРЯНОЇ ТУРБІНИ**В.С.Подгуренко, В.Є.Терехов***Миколаївський національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
vspodgurenko@gmail.com***О.М.Гетманець***Харківська державна зооветеринарна академія, м.Харків, Україна
getmanets54@gmail.com***М.М.Пеліхатий***Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна, м.Харків, Україна
nikolay43@gmail.com*

Робота відноситься до галузі вітрової енергетики і стосується оцінювання виробітку вітрової турбіни на певній місцевості при проектуванні та побудові вітрових електростанцій на підставі вимірних середніх значень параметрів розподілу швидкості вітру з урахуванням потужностної характеристики вітряної турбіни.

Виріток вітротурбіни Q у кВт·год визначається згідно наступної формули:

$$Q = TK_T K_M \int_0^{\infty} P(V) \cdot f(V) dV, \quad (1)$$

де T – час роботи турбіни; K_T – коефіцієнт технічної готовності турбіни; K_M – коефіцієнт простою; $P(V)$ – характеристика потужності вітротурбіни; $f(V)$ – диференціальний розподіл швидкості вітру, який, як відомо, добре описується розподілом Вейбулла–Гніденко:

$$f(V) = \frac{c}{b} \left(\frac{V}{b} \right)^{c-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{V}{b} \right)^c \right];$$

параметри розподілу a , b і c оцінюють за даними спостережень.

Надалі будемо розраховувати виробіток турбіни за одну годину (назвемо його «наведеною потужністю» P), тобто:

$$P = \int_0^{\infty} P(V) \cdot f(V) dV. \quad (2)$$

Цей інтеграл являє собою згортку двох функцій – характеристики турбіни $P(V)$ і диференціальної характеристики розподілу швидкості вітру $f(V) = \frac{c}{b} \left(\frac{V}{b} \right)^{c-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{V}{b} \right)^c \right]$, яка

залежить, як правило, від двох параметрів розподілу Вейбулла–Гніденко b і c (при цьому сміливо можна покласти $a = 0$, бо в більшості спостережень на території України $f(0) = 0$).

Якщо за результатами спостережень за швидкістю вітру визначені основні початкові моменти розподілу Вейбулла–Гніденко, а саме: перший моментом – середню швидкість вітру $\bar{V}$ і другий момент – середній квадрат швидкості вітру $\bar{V}^2$, то можна скласти

$$\text{відношення } \delta = \frac{\bar{V}^2}{V^2} = \frac{\bar{V}^2}{\bar{V}^2 + \sigma^2} = \frac{1}{1 + C_v^2} = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{c} + 1\right)^2}{\Gamma\left(\frac{2}{c} + 1\right)} \quad (\text{де } \sigma - \text{стандартне відхилення, } C_v -$$

коефіцієнт варіації розподілу швидкості вітру), із якого безпосередньо визначити значення

параметру c , а потім за формулою $b = \frac{\bar{V} \cdot c}{\Gamma\left(\frac{1}{c}\right)}$ визначити параметр b .

Застосовуючи таблиці гамма-функцій і деякі рекурентні співвідношення, можна одержати наступну інтерполяційну формулу для залежності параметру c від δ в явному вигляді: $c = 97,38860 - 592,93565 \cdot \delta + 1346,40103 \cdot \delta^2 - 1341,04960 \cdot \delta^3 + 497,83854 \cdot \delta^4$.

В загальному випадку характеристику потужності вітротурбіни можна уявити у вигляді поліному k -го ступеня за V : $P(V) = a_0 + a_1V + a_2V^2 + \dots + a_kV^k$ ($k \geq 3$). Остання умова витікає із міркувань, що середня потужність вітру повинна бути пропорційною V^3 .

Реальна турбіна характеризується пороговим значенням швидкості вітру V_0 , починаючи з якого вона видає струм, та номінальним значенням швидкості вітру V_N , коли турбіна виходить на практично постійну номінальну потужність P_N .

З урахуванням «воріт» для швидкості вітру V наведена потужність генерації турбіни P визначається наступним виразом, який витікає з інтегралу (2):

$$P = a_0 \left(e^{-x_0} - e^{-x_N} \right) + a_1 b \cdot \left[\gamma\left(\frac{1}{c} + 1, x_N\right) - \gamma\left(\frac{1}{c} + 1, x_0\right) \right] + a_2 b^2 \cdot \left[\gamma\left(\frac{2}{c} + 1, x_N\right) - \gamma\left(\frac{2}{c} + 1, x_0\right) \right] + \dots \\ \dots + a_k b^k \cdot \left[\gamma\left(\frac{k}{c} + 1, x_N\right) - \gamma\left(\frac{k}{c} + 1, x_0\right) \right] + P_N \cdot e^{-x_N}, \quad (3)$$

де $\gamma\left(\frac{k}{c} + 1, x\right)$ – неповна гамма-функція: $\gamma\left(\frac{k}{c} + 1, x\right) = \int_0^x t^{\frac{k}{c}} \cdot e^{-t} dt$; $x_0 = \left(\frac{V_0}{b}\right)^c$; $x_N = \left(\frac{V_N}{b}\right)^c$

$\left(\begin{array}{l} \text{тут зроблено перехід від швидкості вітру } V \text{ до «змінної Вейбулла–Гніденко» } x = \left(\frac{V}{b}\right)^c \end{array} \right).$

Таким чином, знаючи параметри розподілу Вейбулла–Гніденко b і c за результатами вимірювань розподілу швидкості вітру на певних висотах $z_1, z_2, \dots, z_m$ та характеристику потужності вітротурбіни $P(V)$, можна для будь-якого заданого рівня точності обчислити значення наведеної потужності турбіни на цих висотах: $P_1(z_1), P_2(z_2), \dots, P_m(z_m)$. Потім,

застосовуючи ступеневу модель $P(z) = P_0(z_0) \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^m$ в якості тренду, можна однозначно

одержати значення «умовної потужності» $P_0(z_0)$ на висоті розташування стандартного флюгера z_0 та значення показника ступеневої моделі m .

Оскільки за європейськими стандартами $z_0 = 10$ м, що значно менше радіуса вітроколеса сучасних турбін, то «умовну потужність» $P_0(z_0)$ слід формально розуміти як нормуючу сталу для ступеневої моделі. Тепер можна розв'язати зворотну задачу: як на підставі вимірювань $P_0(z_0)$, що були проведені на висоті розташування стандартного флюгера z_0 , зробити передбачення щодо оцінки виробітку вітротурбіни на різних реальних висотах z розташування осі вітроколеса. Вона розв'язується згідно формули ступеневої моделі:

$$P(z) = P_0(z_0) \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^m.$$

ЗМІСТ

HIGH-PERFORMANCE SEMICONDUCTOR X/γ-RAY DETECTION SYSTEM FOR ENVIRONMENT MONITORING O.P.Kulyk, V.A.Gnatyuk, K.S.Zelenska, O.V.Podshyvalova, A.Koike, T.Aoki.....	3
УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ДИФУЗІЇ В ПРОСТОРОВО-ПЕРІОДИЧНИХ СТРУКТУРАХ ЗОВНІШНІМИ ПОЛЯМИ Prof. Jerzy Łuczka, I.Г.Марченко, В.Ю.Аксенова.....	4
РАЗРАБОТКА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ И ТРАНСПОРТА С МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИЕЙ В КИТАЕ С.И.Бондаренко, Jiangdi Fan, А.В.Кревсун, В.П.Коверя.....	6
ДО ВИРШЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ДЛЯ БАГАТОШАРОВИХ ТІЛ Ю.М.Мацевитий, А.О.Костіков, М.О.Сафонов, В.В.Ганчин.....	8
РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОЛНЕЧНОГО МОДУЛЯ С.С.Самородов, В.Ю.Пугач, И.Н.Кудрявцев.....	10
NONLINEAR EFFECTS OF DIFFUSION INTERECTION OF STEPS ON THERMODYNAMICALLY STABLE VICINAL SURFACES O.P.Kulyk, V.I.Tkachenko, O.Yu.Lisina, V.O.Mikhnych, V.A.Gnatyuk, T.Aoki.....	13
РАДІАЦІЙНІ КЛАСТЕРИ В ЗАДАЧАХ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ О.М.Гетманець, М.М.Пеліхатий.....	14
ПЕРСПЕКТИВНІ АНТЕНИ НА СЛУЖБИ ДЕРЖАВИ І.О.Громико.....	16
ВЯЗКОСТЬ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ О.Л.Андреева, Л.А.Булавин, И.Н.Кудрявцев, Р.С.Соколенко, В.И.Ткаченко.....	18
БЕЗСІТКОВИЙ ПІДХІД ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ ТРИВИМІРНИХ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ В АНІЗОТРОПНОМУ СЕРЕДОВИЩІ Д.О.Протектор, Д.О.Лісін.....	20
ОЦІНКА РАДІАЦІЙНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ НА ПРИКЛАДІ М. ПРИВІЛЛЯ ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛ. В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ В.Ю.Аксенова.....	22
АКСІАЛЬНО-СИМЕТРИЧНІ ПОЛІГАРМОНІЧНІ СПЛАЙНИ В ЗАДАЧАХ ТЕОРІЇ ПОТЕНЦІАЛУ А.О.Караєв, О.О.Стрельнікова,.....	24
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЪЕ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И.Н.Кудрявцев, Т.А.Криковлюк.....	25

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СВЕРДЛОВИННОГО ТЕПЛООБМІННИКА А.Л.Воронцова, А.О.Костіков, Р.О.Міхєєв, А.І.Мушавець.....	28
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАПОВНЕННЯ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У АКТИВНІЙ ЗОНІ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА Г.М.Яськов, А.М.Чугай.....	30
НЕСИМЕТРИЧНІСТЬ ВТРАТ ЕКСЕРГІЇ В ПРОТИСТРУМІННОМУ ТЕПЛООБМІННИКУ ПРИ ЗМІНІ ТЕПЛОВИХ ЕКВІВАЛЕНТІВ ЙОГО ПОТОКІВ Ю.І.Горпинко.....	32
ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО ШАРУ, ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ ЩО ВІДБУВАЄТЬСЯ НА УМОВАХ ЕНЕРГОСЕРВІСУ О.В.Булгаков, І.А.Неміровський.....	34
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА И.Н.Кудрявцев, С.С.Самородов, Р.В.Соколенко, В.Ю.Пугач.....	36
СРАВНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ И.Н.Кудрявцев, Д.И.Лунёв.....	38
АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО СТАНУ РОЗГАЛУЖЕНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ О.О.Алексахін, К.О.Жарий.....	40
ЛЯПУНОВСКИЕ НОРМЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ В.И.Вербицкий.....	41
ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ ПАРОВОПІВІТРЯНОЇ СУМІШІ ВІД НАФТОВИХ ВУГЛЕВОДНІВ С.В.Гарбуз.....	43
К ВОПРОСУ ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ К.М.Карпец	44
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КРИШКИ ВЕНТИЛЬОВАНОГО КОНТЕЙНЕРА СУХОГО ЗБЕРІГАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА Д.Т.Клітченко, С.В.Альохіна, К.Б.Мягкохліб.....	45
ЕКСПРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ Й ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ГІДРОКАВІТАЦІЙНОЇ АКТИВАЦІЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ Й СПАЛЮВАННІ КОМПОЗИЦІЙНОГО ПАЛИВА З ДОДАВАННЯМ МУЛОВИХ ОСАДІВ ОЧИСНИХ СПОРУД О.В.Кравченко, В.О.Гоман.....	47
НАБЛИЖЕНЕ ВИРІШЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ЗАДАЧІ БЮРГЕРСА-КОРТЕВЕГА ДЕ ФРИСЕ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО РЯДУ ТЕЙЛОРА В.М.Колодяжний, О.П.Кулік, О.Ю.Лісіна.....	48
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕТАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА Д.И.Лунёв	50

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЗОВАННОГО ВЛАЖНОПАРОВОГО ПОТОКА НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН А.В.Нечаев	51
СТРУКТУРА ВІДРИВУ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ НА ЗОВНІШНІЙ ПОВЕРХНІ БУДИНКІВ ПРИ ОБТІКАННІ ЙОГО КУТІВ Н.О.Орлова.....	53
МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ВИРОБІТКУ ВІТРЯНОЇ ТУРБИНИ В.С.Подгуренко, В.Є.Терехов.....	55
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ Б.Б.Поспелов, В.А.Андронов, Е.А.Рыбка, Р.Г.Мелещенко, М.О.Самойлов.....	57
ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ О.С.Цаканян, С.В.Кошель.....	59
ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ АБСОРБЦИОННОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ СХЕМУ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ А.Л.Шубенко, Н.Ю.Бабак, А.В.Сенецкий.....	60
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И.А.Немировский.....	62
ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ ХЛАДАГЕНТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВОГО НАСОСА Д.Х.Харлампиди, В.А.Тарасова, М.А.Кузнецов.....	65
ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРЫ – ИСТОЧНИКИ МОЩНЫХ СВЕТОВЫХ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В.А.Михнич, В.Е.Семененко	66
ВЫРАЩИВАНИЕ И МИКРОСТРУКТУРА GaAs В.Е.Семененко, И.В.Нестеренко.....	67

Наукове видання

**Фізико-технічні проблеми енергетики
та шляхи їх вирішення 2019
(ФТПЕШВ-2019)**

Матеріали конференції
м. Харків, 19 червня 2019 р.

Відповідальний за випуск *Мацевита І.М.*
Відповідальний редактор *Кудрявцев І.М.*
Комп'ютерна верстка *Лана Д.А.*

Формат 60 x 84 1/16. Ум.-друк. арк. 4,6. Наклад 75 пр.

Видавець і виготовлювач
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
61077, м. Харків, пл. Свободи, 4

Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна
Тел. 705-24-32