

УДК 621.311

М. М. Чепурний, к. т. н., доц.; С. Й. Ткаченко, д. т. н., проф.; С. В. Дишлок
ЗАСТОСУВАННЯ ПРИБУДОВАНИХ ТЕПЛОФІКАЦІЙНИХ ТУРБІН НА
ПРОМИСЛОВИХ ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛЯХ

Визначено основні показники роботи комбінованих паротурбінних установок на промислових теплоелектроцентралях, утворених на базі протитискових і прибудованих теплофікаційних турбін, в умовах змінних навантажень.

***Ключові слова:** паровий котел, парова турбіна, протитискова турбіна, прибудована турбіна, теплоелектроцентрально.*

Стан проблеми

Ідея комбінованого виробництва електроенергії і теплоти, яку запропоновано ще на початку минулого століття, передбачала зменшення витрат палива на виробництво одиниці енергопродукції (електроенергії та теплоти). Ця ідея була реалізована шляхом будівництва теплоелектроцентралей (ТЕЦ). Застосування ТЕЦ дозволяє економити паливо в енергосистемі та є перспективною перевіреною технологією, яка дозволяє вирішити завдання енергозбереження. Крім того, застосування комбінованого виробництва видів енергопродукції є одним із небагатьох способів зменшення викидів парникового газу CO₂, оксидів сірки та азоту. Завдяки цим перевагам комбіноване виробництво теплоти та електроенергії визнане одним з пріоритетних напрямів розвитку енергетики України [1].

Найбільш доцільною умовою для застосування ТЕЦ є сталість теплового навантаження. Однак тепер склалась ситуація, коли зменшення споживання технологічної пари на промислових ТЕЦ не дозволяє виробляти проектні потужності. Промислові ТЕЦ здійснюють виробництво електроенергії на основі відпуску теплоти. Однак за останні роки, завдяки переорієнтації промислових виробництв або скороченню промислового виробництва, відпуск теплоти з парою на технологічні потреби суттєво скоротився. Особливо негативно склалась ситуація на ТЕЦ з протитисковими турбінами, які працюють з половинним навантаженням або повністю зупинені. Робота з малим навантаженням характеризується суттєвим зменшенням коефіцієнтів корисної дії (ККД) як турбоустановки, так і парогенератора, що призводить до перевитрати палива. Велика кількість протитискових турбін працює на промислових ТЕЦ переробних виробництв, багато з яких вже припинили роботу взагалі. Простий теплоенергетичного устаткування на промислових ТЕЦ збільшує витрати підприємств на утримання, ремонт і сплату податків на майно, що призводить до зростання вартості продукції та зниження її конкурентоспроможності. Зазначимо також, що зменшення енергогенерувальних потужностей збільшує дефіцит необхідних маневрених електричних потужностей в енергосистемі та значно ускладнює роботу останньої в пікових режимах [2].

Одним із пріоритетних напрямків розвитку вітчизняної теплоенергетики у наш час вважається модернізація існуючого теплоенергетичного устаткування. Саме в теплоенергетиці є реальні можливості використання нових ефективних технологій за кошти вітчизняних, а не іноземних інвесторів. Забезпечити повне завантаження промислового відбору турбін типу Р, П, ПТ, ПР можна за допомогою прибудованих турбін, які працюють на параметрах пари в промислових відборах або в протитиску турбін Р.

На турбомашинобудівних підприємствах розроблено та розробляють різні типи турбін, які можуть працювати з невеликими початковими параметрами пари [3 – 5]. Вибір модифікації прибудованої турбіни залежить від наявності споживачів пари, теплових навантажень і джерел технічного водопостачання. Зрозуміло, що застосування чисто конденсаційних

прибудованих турбін недоцільне, внаслідок їх невеликої ефективності через малі початкові параметри пари, значних витрат води на конденсацію пари і витрат електроенергії на власні потреби.

У попередній роботі [8] розглянуто застосування прибудованих протитискових турбін. Передбачалась наявність промислових або теплофікаційних споживачів пари від прибудованої турбіни. З'ясовано, що оптимальні режими роботи комбінованої установки перебувають у діапазоні тисків за прибудованою турбіною від 0,14 – 0,18 МПа. Недоліком застосування протитискових турбін, які постачають пару в систему теплофікації, є різкий спад навантаження в міжопалювальний період, внаслідок чого і базова, і прибудована турбіни будуть працювати суттєво недовантаженими, тобто досить неефективно.

У зв'язку з вищезазначеним було поставлено завдання визначити ефективність роботи комбінованої установки, яка складається з базової протитискової турбіни та прибудованої теплофікаційної турбіни, в умовах змінних навантажень.

Основні результати

За базову турбіну вибрано протитискову парову турбіну Р-6-35/6, яка найбільш поширена на промислових ТЕЦ невеликих потужностей, характерних для переробних підприємств. Параметри пари перед базовою турбіною: тиск $P_0=3,5$ Мпа, температура $t_0=435^\circ\text{C}$, а за турбіною (в протитиску): $P_n=0,6$ Мпа, $t_n=245^\circ\text{C}$. Тиск у теплофікаційному відборі прибудованої турбіни та в конденсаторі: $P_1=0,14$ Мпа і $P_k=5$ кПа, відповідно. Принципову теплову схему комбінованої установки показано на рис. 1.

В порівнянні з тепловою схемою базової паротурбінної установки вона відрізняється наявністю прибудованої теплофікаційної турбіни 8 з електрогенератором; конденсатора 9 з конденсаційним 10 і циркулярним 14 насосами; регенеративного підігрівника 11 з дренажним насосом 12.

Основною умовою роботи комбінованої установки є те, що базова протитискова турбіна повинна працювати зі сталим номінальним електричним навантаженням ($N=6$ МВт), а, отже, і зі сталою витратою пари на турбіну D_0 , незалежно від витрати пари на промислові споживачі $D_{пс}$. У процесі експлуатації комбінованої установки повинно виконуватись балансове рівняння:

$$D_0=D_{пс}+D_{пр}, \quad (1)$$

де $D_{пр}$ – витрата пари на прибудовану турбіну.

У свою чергу, рівняння матеріального балансу прибудованої турбіни має вигляд:

$$D_{пр}=D_d+D_{рп}+D_{мп}+D_k, \quad (2)$$

де D_d , $D_{рп}$, $D_{мп}$, D_k – витрата пари в деаератор, на регенеративний підігрівник конденсату, на мережний підігрівник системи теплофікації та в конденсатор, відповідно.

Цілком зрозуміло, що в процесі експлуатації комбінованої установки сталою залишається і витрата палива, оскільки сталим залишається навантаження парогенератора. Витрата пари на прибудовану турбіну залежить від частки навантаження споживачів пари з протитиску базової турбіни: $\alpha_n=D_{пс}/D_0$.

Розрахунки теплових схем і основних показників комбінованих установок з різними значеннями α_n здійснювались за методикою, яку подано в [9]. При цьому прийнято, що підігрів конденсату в регенеративному підігрівнику 27°C ; температура живильної води 104°C ; ККД парогенератора 0,91; електромеханічний ККД турбоустановки 0,96. Крім того, вважалось, що в конденсатор конденсаційної прибудованої турбіни надходить гранично допустима витрата пари, яка оцінювалась, як 20% від загальної витрати пари $D_{пр}$.

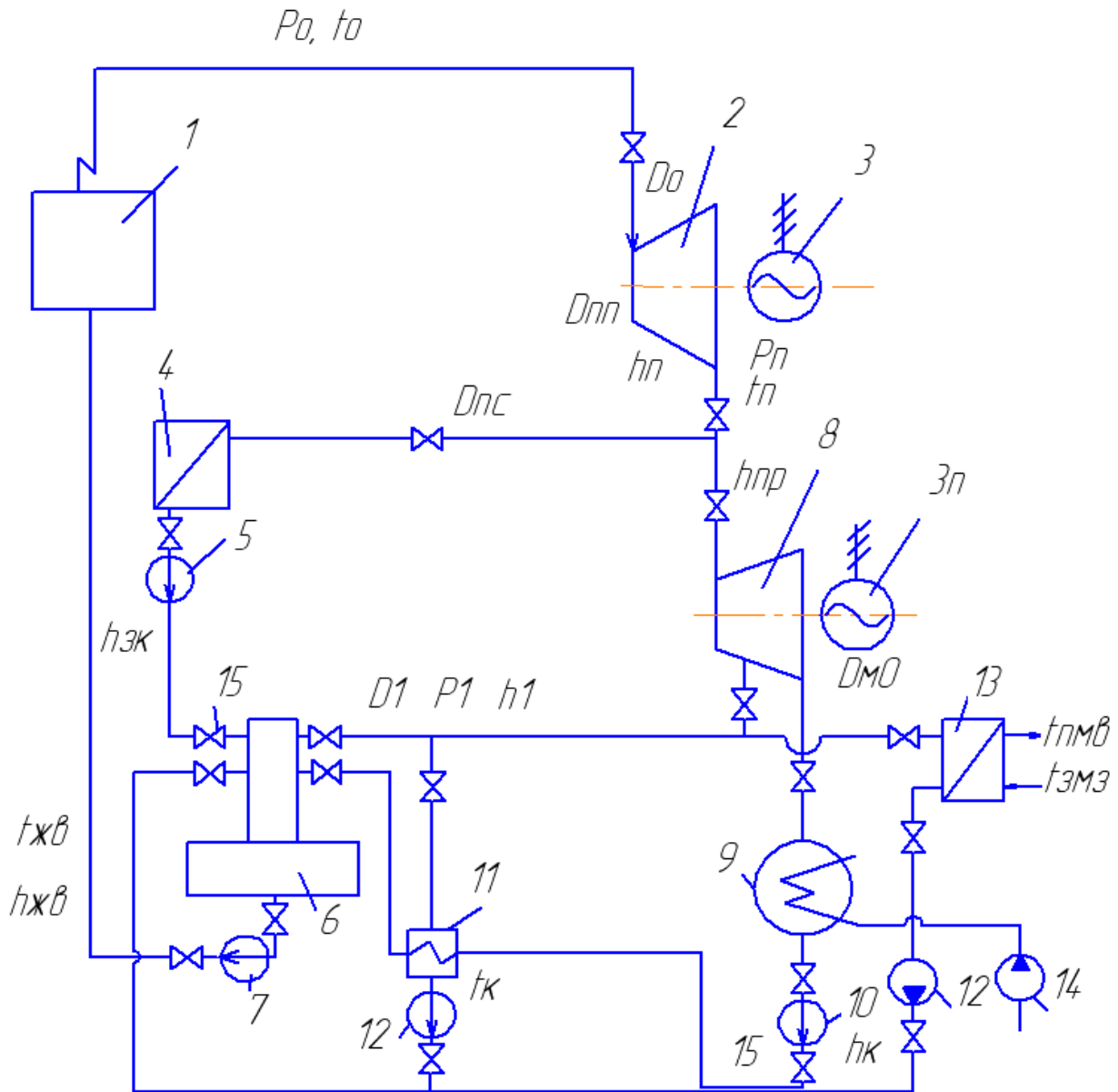


Рис. 1. Принципова схема комбінованої установки з базовою протитисковою і прибудованою теплофікаційними паровими турбоустановками: 1 – парогенератор; 2 – базова протитискова турбіна; 3 – електрогенератор; 4 – промислові споживачі пари; 5 – насос зворотнього конденсату; 6 – деаератор; 7 – живильний насос; 8 – прибудована теплофікаційна турбіна; 9 – конденсатор; 10 – конденсатний насос; 11 – регенеративний підігрівник; 12 – дренажний насос; 13 – бойлер системи теплофікації; 14 – циркуляційний насос; 15 – запірні арматури.

На рис. 2 показано зміну електричної потужності $N_{\text{п}}$, МВт (лінія 1) і відпущеної теплової потужності $Q_{\text{п}}$, МВт (лінія 2) прибудованої турбіни в залежності від частки завантаження промислових споживачів $\alpha_{\text{п}}$. Умова $\alpha_{\text{п}}=1$ відповідає режиму, коли витрата пари на прибудовану турбіну дорівнює нулю, тобто працює тільки базова турбіна. Зі збільшенням $\alpha_{\text{п}}$ потужність прибудованої турбіни лінійно зменшується. Зменшується також і відпущена з паром теплова потужність, яка йде на теплофікацію.

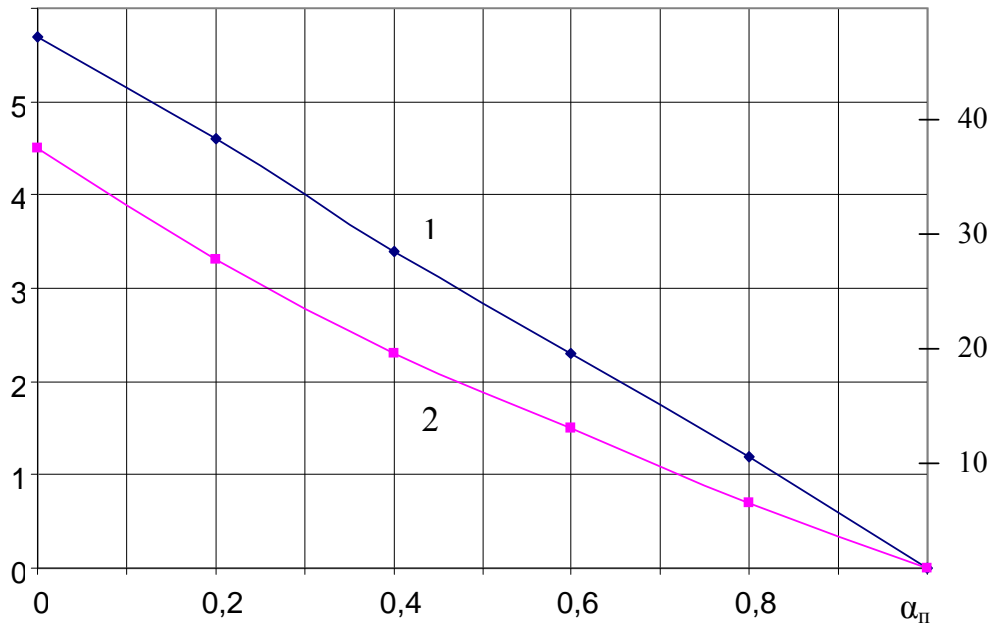


Рис. 2. Залежності $N_n=f(\alpha_n)$, $Q_n=f_1(\alpha_n)$

Для комбінованої установки зміна електричної потужності N_k відбувається аналогічно, але зміна теплової потужності Q_k має зовсім інший характер (рис. 3). Це пояснюється тим, що зі збільшенням α_n зростає тепла потужність, яка віддана промисловим споживачам з протитиску базової турбіни.

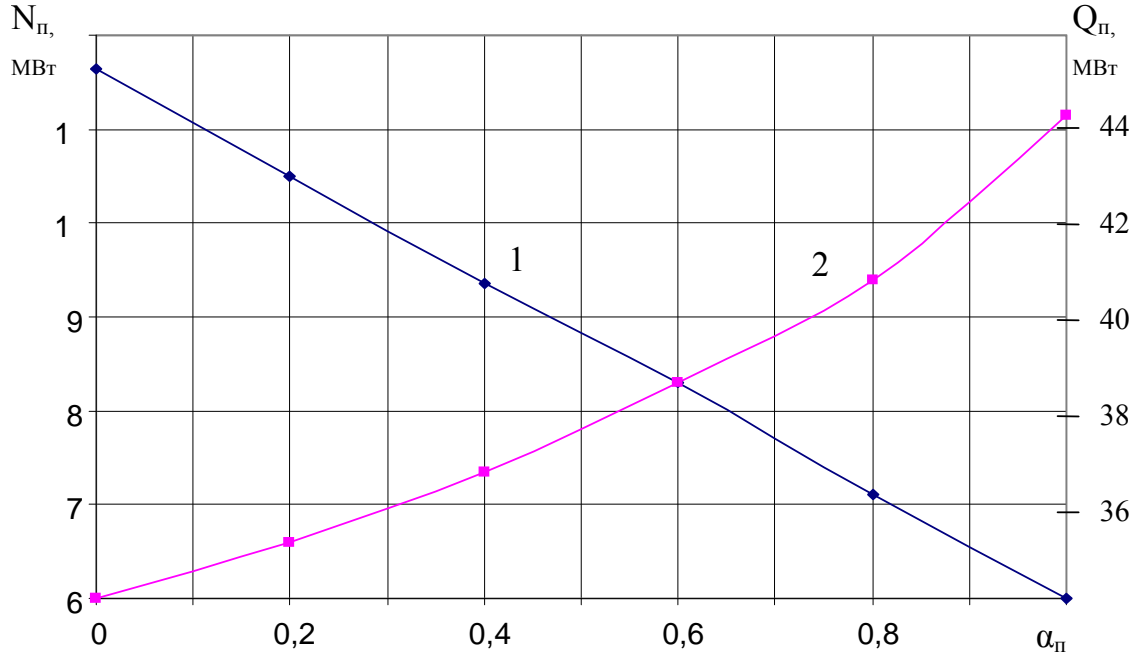


Рис. 3. Значення N_k і Q_k в комбінованій турбіні (позначення див. на рис. 2)

Ефективність роботи комбінованої теплоенергетичної установки однозначно характеризується питомою витратою умовного палива на спільне виробництво теплової та електричної енергії b , кг/МДж. Добре відомо, що комбіноване виробництво цих видів

Наукові праці ВНТУ, 2010, № 2 4

енергопродукції зумовлює економію палива в енергосистемі. В цьому випадку виробництво прибудованою турбіною додаткової електричної потужності здійснюється без додаткової витрати палива в парогенераторі. Тоді економію умовного палива можна розглядати як його витрату на виробництво цієї додаткової потужності на конденсаційних теплових електростанціях цієї енергосистеми.

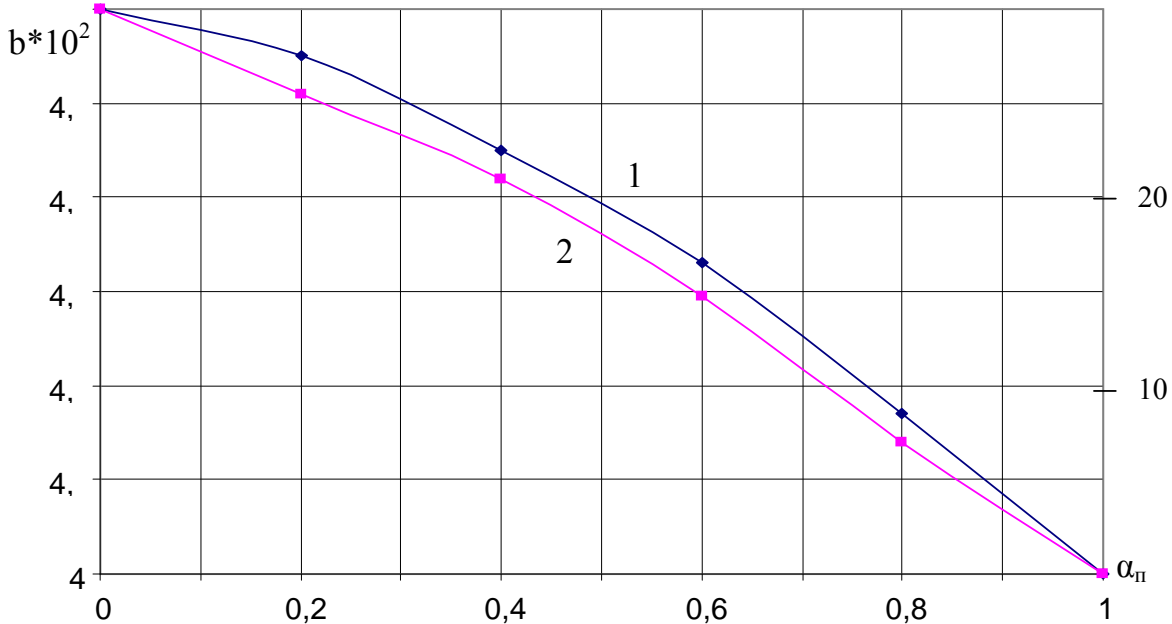


Рис. 4. Залежності b , кг/МДж і ΔB від частки завантаження промислових споживачів

На рис. 4 наведено залежності зміни питомої витрати умовного палива брутто (крива 1) і відсоткової економії палива в енергосистемі ΔB (крива 2). Із рис. 4 видно, що питомі витрати умовного палива зменшуються зі збільшенням частки завантаження промислових споживачів з протитиску базової турбіни та досягають мінімального значення в разі їх повного завантаження, тобто в разі не завантаження прибудованої турбіни. У міру завантаження прибудованої турбіни ($0 < \alpha_{п}$) значення b зростають внаслідок наявності втрат теплоти в конденсаторі теплофікаційної прибудованої турбіни. Але за умови максимального завантаження прибудованої турбіни ($\alpha_{п}=0$) спостерігається найбільше виробництво електроенергії і відповідно найбільша економія палива в енергосистемі. Зауважимо також, що додаткове виробництво електроенергії без додаткової витрати палива сприяє зменшенню шкідливих викидів у атмосферу пропорційно економії палива.

Отримані результати свідчать про ефективність застосування теплофікаційних прибудованих турбін у випадках неповного завантаження протитискових турбін або турбін з промисловим відбором пари. Вони є необхідною передумовою для вибору типу і характеристик прибудованих турбін та попередньої оцінки ефективності роботи комбінованих установок з прибудованими турбінами.

Висновки

1. За наявності споживачів пари низького тиску прибудовані теплофікаційні турбіни дозволяють працювати базовим турбінам в економному режимі.
2. Додаткове виробництво електроенергії на прибудованих турбінах досягається без додаткової витрати палива.

3. Економія палива на виробництво додаткової електричної потужності, яка майже дорівнює потужності базової турбіни, становить 30%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії та використання скидного потенціалу // Відомості Верховної Ради. – 2005. – №20. – С. 278 – 285.
2. Дикий Н. А. Комбинированная установка для преодоления кризиса в энергетике / Н. А. Дикий // Экотехнология и ресурсосбережение. – 2004. – №1. – С. 13 – 17.
3. Левченко Е. В. Турбины ОАО «Турбоатом» для переоборудования промышленных и муниципальных котельных в электростанции / Е. В. Левченко, А. В. Боровский // Пром. Теплоэнергетика. – 2002. – №5. – С. 69 – 71.
4. Паровые турбины и паротурбинные установки мощностью от 0,15 до 16 МВт. Констар, ОАО «Криворожский турбинный завод» [Электронный ресурс]: база данных «Украина промышленная» / ООО «Гемма», к.[2008]. – Режим доступа: <http://2626.ua.all-biz.info/cat.php.oid=30193>.
5. Паровые турбины и турбогенераторы [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя.- Калуга. ОАО «Калужский турбинный завод» (ОАО «Силовые машины») [2005]. – Режим доступа: <http://www.ktz.kaluga.ru/russian/turbines/default.html>.
6. Хлебалин Ю. М. Техническое перевооружение ТЭЦ с противодавленческими турбинами / Ю. М. Хлебалин// Пром. Энергетика. – 2007. – №. – С. 2 – 5.
7. Галушко В. Ф. Реконструкция ТЭЦ сахарного завода / В.Ф. Галушко // Пром. Энергетика. – 2007. – №3. – С. 18 – 20.
8. Чепурной М. М. Актуальность переоборудования промышленных ТЭЦ / М. М. Чепурной, Е. В. Антропова // Энергосбережение. – 2008. – №12. – С. 13 – 16.
9. Чепурний М. М. Енергозбережні технології в теплоенергетиці / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Вінниця, ВНТУ, 2009. – 114 с.

Чепурний Марк Миколайович – к. т. н., професор кафедри теплоенергетики.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики.

Дишлюк Сергій Васильович – студент інституту будівництва, теплоенергетики і газопостачання. Вінницький національний технічний університет.