

что соответствует эффективности грохочения 55 %. С увеличением нагрузок исходного питания наблюдается снижение технологических показателей. При удельной производительности  $q=40$  т/ч м<sup>2</sup> «замельченность» достигает 48-50 % эффективность грохочения - 35 %.

В целом, по результатам исследований можно сделать следующие основные **выводы**:

1. При классификации тонкодисперсных пульп, гранулометрический состав которых характеризуется преимущественным наличием трудногрохотимых классов, применение просеивающих поверхностей из износостойких эластомеров обеспечивает эффективность грохочения по классу 1,25 мм не менее 55 % при удельных нагрузках до 12 т/ч м<sup>2</sup>.

2. Применение в качестве просеивающих поверхностей сит СДАЛ тонкой классификации снижает эффект уменьшения ширины просеивающей ячейки по сравнению с номиналом, свойственный колосниковым и шпальтовым ситам в 1,5-2 раза, при этом уровень «засорения» под решетного продукта частицами большей крупности не превышает 0,5-1 %.

3. Ударно-импульсная система очистки сита при частоте встряхивания  $F=0,33$  с<sup>-1</sup> обеспечивает полную очистку ячеек сит СДАЛ от заклинивших в них частиц.

#### Список литературы

1. Степаненко А.И. Современное оборудование дезинтеграции / Степаненко А.И. // - Новосибирск: <http://gmexp.ru/about/>.

2. Высотин А.В. Обогащение стекольных песков / Высотин А.В., Степаненко А.И. // - Новосибирск: <http://gmexp.ru/about/>.

3. Пятаков Вл. Г. Скрубберный агрегат облегченной конструкции / Пятаков Вл. Г., Пятаков Вик. Г. // Горный журнал. – 2006. - №2.

4. Червоненко А.Г. Износостойкие динамически активные просеивающие поверхности из эластомеров для разделения сыпучих материалов и пульп / Червоненко А.Г., Морус В.Л. // Труды II Международного симпозиума по механике эластомеров, июнь, 1997, г. Днепропетровск. - 1997. - Т1. - С. 296-309.

5. Морус В.Л. Новые износостойкие резиновые рабочие поверхности для грохотов барабанного типа, закономерности перемещения материала внутри цилиндров с многозаходной транспортирующей спиралью / Морус В.Л., Никутов А.В. // Геотехническая механика. – Днепропетровск. - 1998. – Вып. 7. - С. 125-132.

Рукопис подано до редакції 22.04.12

УДК 658.26: 37.0

О.М. ГОЛИШЕВ, д-р техн. наук, проф., А.О. ГОЛИШЕВ, Д.В. МИХАЛКІВ, старші викладачі, П.С. КІРІЧЕНКО, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Наведено результати поглибленого енергоаудиту одного з навчальних корпусів ДВНЗ «КНУ» та запропоновані заходи щодо підвищення енергоефективності будівель навчальних закладів.

Підвищення енергоефективності будівель забезпечує значне зменшення обсягу споживання енергетичних ресурсів при незмінному та стійкому дотриманні нормативного рівня комфортності в їх приміщеннях.

Споживачами енергетичних ресурсів в громадських будівлях є інженерні мережі, які потребують теплову енергію - системи опалення, вентиляції, теплопостачання та електричну енергію - системи електропостачання, освітлення.

Найбільш дорогим та досить важко контрольованим у споживанні енергоресурсом сьогодні є теплова енергія, що отримується кількома основними способами: спалюванням органічного палива, прямим перетворенням електричної енергії на теплову або використанням теплових насосів. Яким би способом не була отримана теплова енергія, основною величиною, що впливає на капітальні та експлуатаційні витрати, є розрахункова теплова потужність систем, що споживають теплову енергію. Відповідно, чим менше в проекті закладено енергоефективних рішень з інженерних мереж, тим більше встановлена потужність та експлуатаційні витрати системи теплопостачання.

Отже, основним шляхом зменшення споживання теплової енергії є встановлення мінімально можливого розрахункового теплоспоживання при забезпеченні необхідних умов мікроклімату, а також автоматичний контроль за недопущенням зміни температурних параметрів в об-

слуговуємих приміщеннях за межі нормативних значень.

Враховуючи, що більшість будівель було зведено ще у 60-80-х роках минулого сторіччя за проектними рішеннями, в яких практично відсутні вимоги з енергозбереження, на сьогодні основними напрямками підвищення їх енергоефективності є підвищення теплозахисних характеристик огорожуючих конструкцій згідно вимог [3] та вибір і впровадження ефективних технологій енергозбереження в інженерних мережах.

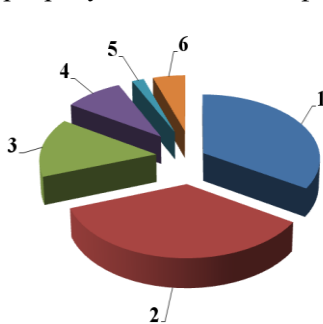
Важливим інструментом виявлення необхідних заходів з енергозбереження є енергетичний аудит. Завданням енергетичного аудиту з'являється аналіз споживання ресурсів та розробка найбільш ефективних заходів з підвищення ефективності їх споживання.

З метою визначення пріоритетних заходів з енергозбереження було виконано поглиблений енергоаудит навчального корпусу № 6 Криворізького національного університету. Будівля корпусу складається з двох частин – дво- та шестиповерхової, загальною площею близько 10,8 тис.м<sup>2</sup>. Будівля здана в експлуатацію в 1986 р., основні архітектурні рішення та конструкції інженерних мереж виконані згідно діючих на той час стандартів, зменшення втрат теплової потужності будівлі за рахунок термомодернізації можливе та не викликає технічних труднощів, в той же час зменшення теплоспоживання за рахунок реконструкції інженерних мереж значно складніше внаслідок суттєвих вад існуючих технічних рішень систем опалення і вентиляції.

Існуюча система опалення будівлі - водяна однотрубна вертикальна. Теплоносій - вода з розрахунковими параметрами 95/70 °С. Джерело теплоти – зовнішні тепломережі. Вузол обліку теплової енергії встановлено на зовнішній мережі на відстані близько 130 м від будівлі, прокладка тепломереж до будівлі - підземна та частково повітряна. Матеріал трубопроводів - сталеві водогазопровідні труби по ГОСТ 3262-75\* та сталеві електрозварні труби по ГОСТ 10704-91. Опалювальні прилади - чавунні секційні радіатори типу МС 140-АО та конвектори без кожуха типу «Акорд». Схема підключення опалювальних приладів - без замикаючої дільниці.

Будівлю навчального корпусу обладнано системою механічної загальнообмінної прямоотної припливно-витяжної вентиляції. Розрахункова витрата повітря системами вентиляції становить близько 46 тис. м<sup>3</sup>/год. Припливні установки розміщено на першому, а витяжні установки - на технічному поверсі. В системах припливної та витяжної вентиляції відсутні або не використовуються пристрої запобігання надходження і видалення повітря в неробочий час, внаслідок чого в цей період в приміщеннях будівлі має місце неорганізований повітрообмін в обсязі приблизно 22 тис. м<sup>3</sup>/год.

За результатами виконаних в рамках енергоаудиту вимірів та аеродинамічних і теплових розрахунків визначено фактичний стан теплового балансу будівлі, що наведений на рис. 1.



**Рис. 1.** Діаграма розподілу втрат теплової потужності для навчального корпусу №6: 1 - втрати теплоти через зовнішні огорожуючі конструкції шестиповерхової частини будівлі (34 %); 2 - втрати теплоти на нагрів вентиляційного повітря шестиповерхової частини будівлі (35%); 3 - втрати теплоти через зовнішні огорожуючі конструкції двоверхової частини будівлі (15 %); 4 - втрати теплоти на нагрів вентиляційного повітря двоверхової частини будівлі (9 %); 5 - втрати теплоти через зовнішні огорожуючі конструкції цокольного поверху (2 %); 6 - втрати теплоти на нагрів вентиляційного повітря цокольного поверху (5 %)

Розраховане фактичне співвідношення втрат через зовнішні огорожуючі конструкції (51%) та на нагрівання вентиляційного повітря (49%), досить характерне для громадських будівель і чітко вказує на необхідність, в першу чергу, реконструкції та підвищення енергоефективності систем вентиляції та кондиціонування.

Відповідно до отриманих даних, тільки за рахунок автоматичного закриття вентиляційних каналів припливної та, насамперед, витяжної вентиляції в неробочий час в даному випадку можливо суттєво зменшити витрати теплової енергії на опалення.

За результатами виконання енергоаудиту визначено перелік основних заходів з підвищення енергоефективності будівлі. Для підвищення ефективності споживання енергетичних ресурсів пропонуються наступні заходи:

1. *Введення системи постійного енергетичного моніторингу об'єкту.*

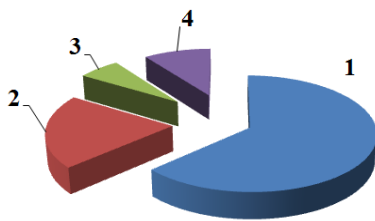
Цей захід необхідно реалізувати якнайшвидше для аналізу ефективності запроваджених заходів з енергозбереження. На даний момент існує облік спожитої енергії за відрізками часу, але не враховуються параметри зовнішнього середовища.

Енергомониторинг є обов'язковим інструментом для будь-якого споживача, що дає змогу аналізувати витрати енергоресурсів по кожному дню з врахуванням показників, які обумовлюють зміни величини енергоспоживання. Таким показником, головним чином, є температура зовнішнього повітря. Завдяки врахування показників, що впливають на споживання енергії об'єктом, можливо визначення причин відхилень енергоспоживання від норми та виявлення джерел перевитрати енергоресурсів.

## 2. Встановлення приладу обліку теплової енергії в будівлі навчального корпусу.

Встановлення індивідуального теплового лічильника для навчального корпусу надасть змогу сплачувати за спожиту теплову енергію системою теплопостачання будівлі без витрат на втрати теплоти трубопроводами, що з'єднують теплову камеру, де встановлено лічильник, з будівлею.

За даними вимірів, виконаних на трасі зовнішньої тепломережі (підземна і надземна прокладка) падіння температури теплоносія на подачі становить приблизно  $1,8^{\circ}\text{C}$ , на зворотній магістралі  $1,6^{\circ}\text{C}$ . В розрахунку на втрати теплової потужності це становить приблизно 47 кВт, що у тепловому балансі системи фактичного енергоспоживання будівлі становить на час вимірювань приблизно 10% (рис. 2).



**Рис. 2.** Діаграма розподілу втрат теплової потужності для навчального корпусу № 6 (враховуючи зовнішні теплопроводи): 1 - шестиповерхова частина будівлі (63%); 2 - двоповерхова частина будівлі (21%); 3 - підвал (цокольний поверх) (6%); 4 - зовнішні теплопроводи (10%)

3. Здійснити демонтаж існуючої системи вентиляції як такої, що не придатна до відновлення та не має можливості встановлення обладнання для рекуперації і автоматизації роботи, розробку проекту нової системи вентиляції з окремими системами припливно-витяжної вентиляції з теплоутилізаторами та автоматикою, що враховує кількість людей у кожному окремому приміщенні.

Існуюча система вентиляції, враховуючи конструктивне рішення систем та тип використаного обладнання, не має підґрунтя для відновлення її в первісному проектному стані як технічно застарілу та абсолютно не енергоефективну.

Враховуючи, що переважний час використання аудиторій становить приблизно з  $9^{00}$  години до  $15^{30}$ - $17^{00}$ , системи вентиляції працюючи тільки в даний проміжок часу за рахунок використання теплоутилізаторів дають економію порівняно з прямою системою 50-65 % [4], що фактично завжди кількість присутніх студентів менша за розрахункову, витрати на підігрів вентиляційного повітря можуть бути зменшені ще на 20-40 %.

Фактично, проектування і монтаж нової системи вентиляції може бути виконаний, використовуючи для трасування повітропроводів простір за підвісною стелею кожного поверху. Для приміщень кабінетів та робочих кімнат викладачів згідно діючих вимог [1,2] можна запроєктувати періодичне провітрювання, що дасть змогу зменшити капітальні витрати на монтаж систем вентиляції в цілому. За необхідності в систему може бути встановлено блок охолодження повітря.

Отже, за рахунок розробки і встановлення системи вентиляції періодичної роботи зі змінною витратою повітря та теплоутилізаторами витрати на підігрів вентиляційного повітря можуть бути зменшені в 2-4 рази порівняно з існуючою системою (за існуючим проектом споживання теплової енергії системою опалення та вентиляції співвідноситься як 55 до 45).

4. Виконати демонтаж існуючих індивідуальних теплових пунктів (ІТП) з водострумними елеваторами і встановити ІТП з гідравлічно незалежною схемою підключення до зовнішніх теплових мереж та автоматикою переходу на «черговий режим».

Існуюча схема теплопостачання з водострумним елеватором фактично не виконує своїх функцій (підмішувальна лінія відключена), а є лише причиною значної втрати циркуляційного тиску (за отриманими даними втрати тиску в вузлі підмішування в 3 рази перевищують втрати тиску в циркуляційному контурі системи опалення). До того ж, пряме підключення до зовнішніх теплових мереж є причиною накопичення в системі бруду та можливих руйнувань внаслідок гідравлічних ударів. Автоматика переходу на «черговий режим» надасть змогу автоматично зменшувати теплову потужність у період невикористання будівлі (нічний час, вихідні та святкові дні).

5. Встановлення пофасадного регулювання потужності системи опалення за температурним графіком та температурою повітря в характерному приміщенні.

Враховуючи орієнтацію корпусу за сторонами світу та його геометричні розміри доцільно залишити схему пофасадного регулювання, з додавання автоматичного регулювання температури теплоносія за температурою зовнішнього повітря та показниками вибраного характерного приміщення.

*6. Встановлення автоматичних терморегуляторів на кожний опалювальний прилад з обов'язковим застосуванням спеціальної автоматичної балансувальної арматури.*

Підтримання необхідних значень температури в приміщенні на даний час розвитку техніки є необхідною складовою ефективного використання енергетичних ресурсів. На сьогодні можливо встановити на кожен опалювальний прилад терморегулятор стандартних розмірів з добо-вим таймером, що забезпечить автоматичне зниження температури в приміщенні в неробочий час.

Необхідно зауважити, що встановлення терморегуляторів неможливе без встановлення пристроїв автоматичного регулювання перепаду тиску згідно вимог СНіП [1] та рекомендацій фірм-виробників [5,6], що фактично потребує часткову реконструкцію системи.

*7. Ізоляція магістральних теплопроводів.*

Дозволить зменшити втрати теплової потужності теплопроводами до мінімальних значень. На час вимірювань втрати теплової потужності магістралями в цокольному поверсі становили приблизно 7% від загальних втрат будівлі через відсутність теплової ізоляції, причому температура в приміщенні теплового пункту досягала значення +28,7 °С, що значно перевищує нормативні значення

*8. Обладнання великих поточних аудиторій системами повітряного опалення на базі фанкойлів.*

Великі поточні аудиторії характеризуються режимом роботи та періодичними високими теплонаходженнями через велику кількість студентів. Тому доцільним було б обладнання їх системою повітряного опалення на базі доводчиків з вентилятором - фанкойлів, що нададуть змогу скоротити до мінімуму витрати теплової енергії в неробочому режимі та швидкий вихід на необхідні параметри мікроклімату при проведенні занять.

*9. Ізоляція стояків системи опалення.*

Для забезпечення оптимального розподілу теплової енергії необхідно зменшити втрати транзитними неізольованими теплопроводами, що можуть становити близько 3-7 % споживаної теплоти через значну висоту приміщень та відповідно довжину стояків.

Влаштування теплової ізоляції стояків системи опалення дозволить зменшити втрати теплоти також і при переході в «черговий режим» з підтриманням мінімальної температури в приміщенні.

*10. Зменшення площі світлопрорих конструкцій.*

Тепловтрати через вікна є основною статтею втрат теплової потужності, оскільки мають значно менший (приблизно в 4-6 разів) опір теплопередачі порівняно з зовнішніми стінами. Тому в деяких випадках доцільно зменшити площу вікон в приміщеннях з метою зменшення споживання теплової енергії, якщо таке зменшення відповідає вимогам нормативів щодо інсоляції. Таке рішення, наприклад, можливе для приміщення коридорів: це дозволяє зменшити споживання теплової енергії приміщенням на 35-55 % порівняно з початковими тепловтратами через зовнішні огорожуючі конструкції.

Аналізуючи втрати теплової потужності через зовнішні огорожуючі конструкції двоповерхової частини корпусу № 6, можна визначити, що відповідні втрати приміщенням коридору 2-го поверху становлять близько 17 % від втрат теплоти двоповерхового корпусу, при цьому через наявність великої площі скління трансмісійні втрати та втрати на нагрів повітря, що інфільтрується становлять близько 56 % втрат приміщення коридору.

*11. Підвищення згідно нормативів теплозахисних характеристик будівлі навчального корпусу за рахунок утеплення зовнішніх стін та встановлення вікон та дверей з високими тепловим опором.*

Є основним та найвитратнішим заходом, що дозволяє радикально зменшити встановлену потужність теплового обладнання та розрахункову величину втрат теплової потужності будівлі на 20-40 %.

**Результати та висновки.** За результатами виконання енергетичного аудиту навчального корпусу №6 ДВНЗ «Криворізький національний університет» виявлено, що основний потенціал

енергозбереження зосереджено в системах споживання теплової енергії – системах опалення, теплопостачання та вентиляції.

У будівлі відсутній прилад обліку спожитої теплової енергії, за рахунок фактичного способу установки приладу обліку розрахункові втрати теплової енергії ще до входу в будівлю складають близько 10 % від загального теплоспоживання.

Система опалення знаходиться в працюючому стані, але відсутні пристрої регулювання та автоматичного підтримання необхідних параметрів мікроклімату в приміщеннях, теплова ізоляція трубопроводів, система переходу на «черговий» режим, що приводить до фактичної перевитрати енергоресурсів та практичної неможливості регулювання теплового потоку як системи в цілому, так і її окремих елементів.

Система вентиляції недоцільна до відновлення. Через припливні шахти та вентиляційні канали цілодобово (постійно) надходить і видаляється неконтрольована кількість зовнішнього повітря, яка залежить тільки від температури зовнішнього повітря, сили і напрямку вітру. За даними фактичних вимірів та розрахунків кількість теплоти на підігрів цього вентиляційного повітря становить близько 49 % загальних тепловтрат, тобто тільки виключення цієї витратної статті теплового балансу дасть змогу зменшити майже вдвічі енергоспоживання будівлі.

Виконання наведених заходів (залежно від обсягу) дозволить на 40-60 % скоротити споживання теплової енергії будівлею порівняно з існуючим станом.

#### *Список літератури*

1. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.-М.: 1992, ЦИТП.-59 с. (зі змінами №1, 2)
2. ДБН В.2.2-9-2009. Будівлі і споруди. Громадські будинки і споруди.- Офіц. вид.- (чинний від 01.10.2010р.).- К.: Мінрегіонбуд України, 2009.- 50 с. – (Державні будівельні норми України).
3. ДБН В.2.6-31-2006. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель.- Офіц. вид.- (чинний від 01.10.2010р.).-К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006.- 70 с. – (Державні будівельні норми України).
4. **Караджи В.Г., Московко Ю.Г.** Эффективное использование отопительно-вентиляционного оборудования. Руководство.-М.: Инновент, 2004.- 139 с.
5. Каталог продукции компании «Данфосс», 2011. [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)
6. **Пырков В.В.** Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика.-К.: Таки справи, 2005. -302 с.

Рукопис подано до редакції 22.04.12

УДК 622.788.36.5

А.А. ЛАПШИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Э. В. СЕРЕБРЕНИКОВ, канд. техн. наук,  
Д.А. ЛАПШИНА, студентка, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАСШИРЕНИЯ ВОДОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ**

Проведен теоретический анализ процесса расширения водовоздушной смеси в сопле, которое входит в состав устройства, разработанного для охлаждения горных выработок. При анализе используется термодинамический метод.

Анализ условий ведения подземных горных работ указывает на существование проблемы, связанной с нарушением тепловых режимов, что может привести к нарушению условий труда, определяемых техникой безопасности. В связи с этим возникла необходимость устранения таких нарушений. Одним из возможных путей решения этой проблемы является создание устройств, обеспечивающих воздушное охлаждение горной выработки.

В состав таких устройств входят расширяющиеся сопла, или диффузоры. Рассматривается задача расширения водовоздушной смеси в сопле, выходящем в атмосферу. Схема сопла приведена на рис. 1 (размеры не соблюдены).

#### *1. Количественный анализ процесса*

Для решения применяется термодинамический подход.

Термодинамической системой является сопло. Процесс прохождения смеси через систему считается адиабатическим. Это стандартный подход к быстрым потокам, когда теплообмен с окружающей средой не успевает происходить.

<sup>1</sup> © Лапшин А.А., Серебренников Э.В., Лапшина Д.А., 2012