

забезпечується 100% -ва ймовірність входження в синхронізм

$$t_{np} \leq 1,05/m_{mex} \sqrt{m_{c.m.k} \times \tau_j}. \quad (31)$$

Розрахунки для реальних двигунів показують, що допустимий час перерви живлення, при якому забезпечується 100% -ва ймовірність успішної ресинхронізації не перевищує 0,3 с.

Висновки та напрямок подальших досліджень. При перерві живлення через коротке замикання на суміжному елементі мережі, у випадку, якщо кут навантаження δ не виріс до критичної величини, при якій можливе порушення динамічної стійкості, електромеханічний перехідний процес носить характер згасаючих синхронних коливань [8].

Втрата живлення, обумовлена трифазним коротким замиканням в неактивній кабельній мережі, не приведе до випадання синхронних двигунів із синхронізму лише в тому випадку, якщо мережа забезпечена швидкодіючими захистами, які відключають міжфазні короткі замикання без витримки часу. Якщо міжфазні короткі замикання в неактивній кабельній мережі будуть відключатися хоча б з одним ступенем витримки часу, наприклад, $\Delta t = 0,25 \div 0,3$ с, то загальний час перерви живлення складе $0,4 \div 0,5$ с і синхронні двигуни обов'язково випадуть із синхронізму [8].

Короткі замикання в реактивних кабельних мережах, як правило, не призводять до випадання синхронних двигунів з синхронізму, оскільки в цих випадках залишкову напругу на шини перевищує $0,5, 0,6U_{ном}$ досить тривалий час ($2 \div 3$ с) [8].

При відновленні напруги після відключення короткого замикання на суміжному елементі мережі, струми і електромагнітні моменти обертання, що виникають в синхронних двигунах, як правило, менше, ніж при несинхронному включенні, обумовленому дією пристроїв АПВ і АВР, так як результуючий магнітний потік двигуна в цьому випадку значно ослаблений через розмагнічуючого ефекту струму короткого замикання. В даний час у зв'язку з використанням механізмів Бавра став можливий синхронний самозапуск СД, без необхідності гасіння поля [8].

Список літератури

1. **Важнов А.И.** Переходные процессы в машинах переменного тока. – Л. Энергия, 1980 г.
2. **Гамазин, С.И.** Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой/ **С.И. Гамазин, В.А. Ставцев, С.А. Цырук.** – М.: Издательство МЭИ, 1997. – 424 с.
3. **Горев, А.А.** Переходные процессы синхронной машины/ **А.А. Горев.** – М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1950. – 552 с.
4. ГОСТ 13109-97 Межгосударственный стандарт. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 1999. – 64 с.
5. **Ковач, К.П.** Переходные процессы в машинах переменного тока/ **К.П. Ковач, И. Рац.** – М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.
6. **Слодарж, М.И.** Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных двигателей/ **М.И. Слодарж.** – М.: «Энергия», 1977. – 215 с.
7. Справочная книга для электротехников. Том 5/ под общ. ред. профессоров **М.А. Шателена, В.Ф. Миткевича, В.А. Толвинского.** – Л.: КУБУЧ, 1934. – 204 с.
8. **Михалев С. В.** Система поддержания устойчивости работы синхронных электродвигателей 6-10 кВ. /Текст диссертаций/ Санкт-Петербург/ 2014. – 121 с.
9. **Беляев, А.В.** Автоматика и защита на подстанциях с синхронными и частотно-регулируемыми электродвигателями большой мощности/ **А.В. Беляев,** – Санкт-Петербург: ПЭИПК, 2012.
10. **Беляева Е.Н.** Как рассчитать ток короткого замыкания/ **Е.Н. Беляева.** – М: Энергоатомиздат, 1983. – 137 с.

Рукопис подано до редакції 08.05.2018

УДК 697.34

О.М. ГОЛИШЕВ, д-р техн. наук, проф., В.А. КОНОВАЛЮК, канд. техн. наук, доц.,
Д.В. МИХАЛКІВ, ст. викладач, К.О. ФІЛОНОВА, асистент
Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ЗІ ЗМІННОЮ ВИТРАТОЮ ПОВІТРЯ В УМОВАХ БУДІВЕЛЬ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Мета. Метою даної роботи є визначення перспектив застосування для приміщень громадських будівель вентиляційних систем зі змінною витратою повітря (VAV-систем, «Variable Air Volume» - змінна витрата повітря), що враховують фактичний режим використання приміщень при різних навантаженнях по кількості людей та, відповідно,

нерівномірність в часі надходження шкідливих виділень, на зниження концентрації яких власне проєктовано системи вентиляції. Основними шкідливими виділеннями для приміщень громадських будівель прийнято двоокис вуглецю, вологу та тепло.

Методи дослідження. В роботі виконано аналіз перед основ втілення принципу змінної витрати повітря в приміщеннях громадських будівель шляхом аналізу режиму завантаженості приміщень в часі. Виконано порівняння режиму експлуатації системи вентиляції приміщення учбових аудиторій з врахування кількості людей відповідно до фактичного розкладу занять. Виконано порівняльний аналіз техніко-економічних показників систем вентиляції з різним принципом керування витратою повітря.

Наукова новизна. Підтвердження перспективи впровадження систем зі змінною витратою повітря виконано на основі визначення впливу основного фактору – коефіцієнту завантаженості приміщень, який на сьогодні не є розрахунковою величиною при визначенні режимів роботи систем вентиляції приміщень. В даній роботі підтверджується значимість такого параметру і його вплив на основні конструктивні рішення систем вентиляції громадських будівель та їх техніко-економічні показники.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють стверджувати про доцільність використання в приміщеннях саме громадських будівель систем зі змінною витратою виходячи з зазначених особливостей режимів та графіку використання (завантаженості) приміщень та викликаной цим особливостями роботи вентиляційних систем, а також властивими їм достоїнствами і перевагами. Для громадських будівель одним з основних показників, що впливає на значення повітрообміну приміщень, є кількість людей, які одночасно в ньому знаходяться.

Результати. На основі порівняльного аналізу обґрунтовано використання в приміщеннях початкових будівель систем вентиляції зі змінною витратою, що дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати теплової та електричної енергії, що стосовно розрахованого прикладу складає 70% та 92% відповідно.

Ключові слова: коефіцієнт завантаженості приміщень, система вентиляції, витрат повітря, змінна витрата повітря, двоокис вуглецю, постійна витрата повітря.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-181-185

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Безперервне зростання ціни на енергоносії, насамперед на теплову та електричну енергію, та посилення суворості норм і правил законодавства щодо енергозбереження та енергоефективності змушують постійно шукати шляхи зменшення витрат енергії, підвищення ефективності інженерних системи і мінімізації експлуатаційних витрат. Громадські будинки обладнуються системами опалення та вентиляції, які слід проєктувати згідно з вимогами нормативних документів на опалення, вентиляцію, кондиціонування [1-4]. Згідно наведених вимог для будівель навчальних закладів проєктується загальнообмінна припливно-витяжна механічна система вентиляції. Схема повітрообміну приймається переважно «зверху-вверх». Розрахунок повітрообміну приміщень виконується по кількості людей, на перебування яких приміщення розраховано. Для громадських будівель певного призначення характерною відмінністю є відсутність відповідності прийнятої до розрахунку кількості осіб, що знаходяться в приміщенні від їх фактичної кількості, що призводить до характерних ситуацій з невідповідністю фактичної максимальної витрати повітря в приміщенні його фактичним потребам в вентиляції. Номінальна витрат повітря системою вентиляції приміщення відповідає максимальній розрахунковій кількості осіб у приміщенні що фактично ніколи не виконується та відповідно є причиною невиправданих витрат теплової та електричної енергії при експлуатації систем вентиляції. Будівлі навчальних закладів характеризуються чітким графіком роботи, що втілено у розкладі навчальних занять, однак при розрахунку систем вентиляції згідно діючого нормативного документу [2] визначення витрати повітря системами вентиляції та одночасність роботи систем не враховується визначальним фактором, тому системи вентиляції проєктуються такими, що працюють централізовано на всі обслуговувані приміщення з графіком використання приміщень, наприклад з 9.00 до 17.00 щоденно, крім вихідних. Таке проєктне рішення на сьогодні є надзвичайно енерговитратним не відповідає напрямку підвищення енергоефективності інженерних мереж.

Аналіз досліджень і публікацій. Існуючі сучасні технічні рішення щодо систем зі змінною витратою повітря [6] передбачають впровадження систем перед усім для суміщення з системами повітряного опалення та охолодження приміщень. Вентиляційні установки зі змінною витратою повітря є досить складними технічними системами. Вони можуть працювати безперебійно, виконувати закладені в них функції і забезпечувати очікувану економію тільки в тому випадку, якщо весь процес створення - проєктування, підбір відповідного обладнання, монтаж, введення в експлуатацію і власне експлуатація - будуть правильними, скоординованими і спрямованими на досягнення однієї мети.

Вентиляційні системи зі змінною витратою повітря («Variable Air Volume» - змінний обсяг повітря) працюють в режимі зміни кількості повітря, що подається. Зміни теплового навантаження приміщень компенсуються шляхом зміни обсягів припливного і витяжного повітря при

його постійній температурі, що надходить з центральної припливної установки. Основним регулюючим елементом системи вентиляції зі змінною витратою повітря є VAV-термінал. Завданням терміналу є підтримка заданої кількості припливного і витяжного повітря в залежності від поточної потреби. Необхідна величина витрат визначається значенням зовнішнього керуючого сигналу, надходить на регулятор від встановлених в приміщеннях будівлі температурних регуляторів, датчиків CO₂ або інших елементів системи управління.

Вентиляційна система VAV реагує на зміну теплового навантаження окремих приміщень або зон будівлі, зміну перепаду тиску перед датчиком і змінює фактичну кількість повітря, що подається в приміщення або зону. За рахунок цього вентиляційна система VAV працює при загальному значенні витрати повітря меншому, ніж необхідно при сумарній величині максимального теплового навантаження всіх окремих приміщень. Це забезпечує зниження споживання енергії при збереженні заданої якості повітря всередині приміщень. Зниження енергетичних витрат за даними такого автоматичного регулювання може становити 25% і вище в порівнянні з вентиляційними системами з постійною витратою повітря.

Постановка завдання. Для будівель навчальних закладів при проектуванні систем вентиляції вирішальним параметром для визначення розрахункових витрат повітря і конструктивного виконання системи вентиляції є розрахункова кількість студентів у кожному приміщенні, при цьому важливо підтримувати зворотній зв'язок з приміщення по визначенню фактично необхідної витрати. Розрахунок необхідних витрат повітря виконується виходячи з кількості людей у приміщенні й норми кількості повітря на кожну людину. Як вже було зазначено вище 100% завантаженість приміщень явище дуже рідкісне, але можливе, студенти займають не всі аудиторії й тим більше не весь час, а система з 9 до 17 годин кожен робочий день. Існуюча вентиляційна система фактично запроєктована на 100% завантаженість аудиторій і не враховує фактичний графік їх використання, але керуючись фактичним розкладом занять та кількістю студентів, які мають заняття в тих чи інших аудиторіях, можна вирахувати і передбачити витрату повітря для кожної аудиторії та видатність усієї системи погодинно на кожен день. Фактично це регулювання буде здійснюватися абсолютно автоматично в залежності від наявності людей в аудиторіях. Економії енергоресурсів в даному випадку можна домогтися за допомогою використання інтегрування в систему запрограмованих VAV-терміналів з можливістю нескладного перепрограмування останніх. В розрахунку розглядається існуюча система вентиляції з постійною витратою та спосіб виконання реконструкції з втіленням принципу змінної витрати повітря.

У випадку реконструкції та переобладнання існуючої системи вентиляції це вимагає лише встановлення на підключенні кожного приміщення до припливної та витяжної систем VAV-терміналів, встановлення частотних регуляторів обертів вентиляторів та відповідної автоматички управління системою, технічно така реконструкція не є складною.

Основним впливовим чинником визначення ступеню ефективності запропонованої системи є фактичне навантаження приміщень як основний впливовий фактор. Для спрощення розрахунку визначимо лише коефіцієнт завантаженості приміщень без врахування відмінності кількості людей в приміщеннях в порівнянні з номінальним значенням.

Викладання матеріалу та результати. Для визначення можливості і ефективності впровадження VAV-системи необхідно втілити принцип відповідності витрати повітря вентиляційною установкою потребам вентиляції приміщень в розрахунковий проміжок часу, для чого було складено на базі розкладу учбового процесу графіки завантаженості аудиторій навчального корпусу по часу за кожним днем першого та другого учбових тижнів. Характерна відповідність номінального та фактичного розрахункового навантаження приміщення учбової аудиторії, що в цілому відображає стан питання відповідностей проєктованих та необхідних фактичних витрат повітря наведено на рис. 1.

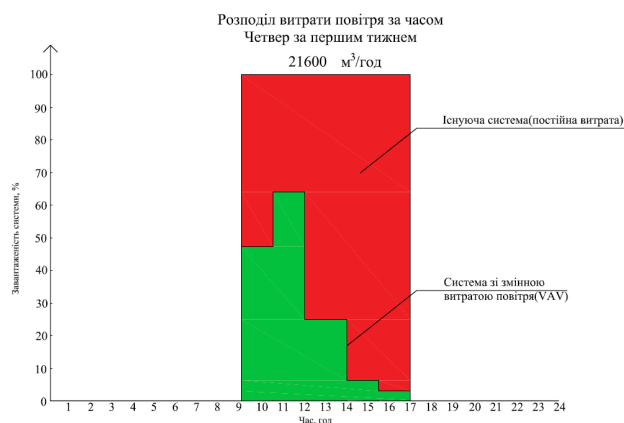


Рис. 1. Характерна залежність проєктованих та необхідних фактичних витрат повітря за часом доби та днем тижня

Аналізуючи визначені графіки можна зробити висновок, що фактична витрата повітря може складати щонайменше 3% від максимального значення, в

середньому вона становить близько 35-43%, що дає обґрунтування доцільності впровадження VAV системи в даному конкретному випадку. VAV системи працюють по спрощеному режиму роботи – без точного регулювання витрати повітря в приміщенні, а тільки в режимі «відкрито-закрито» тобто якщо в аудиторії ідуть заняття повітря подається, якщо в приміщенні відсутні люди подача та видалення повітря припиняються. Сигнал на відкриття-закриття клапанів в кожному окремому приміщенні, тобто підтвердження там наявності людей дається датчиком руху з таймером затримки 10 хвилин.

В розглянутому випадку система не керується температурними показниками приміщень, регульованою є витрата припливного та витяжного повітря для потреб саме вентиляції. Враховуючи, що основною шкідливістю при перебуванні людини у приміщенні яка має найбільший вплив на працездатність людини при допустимих умовах за температурою і відносною вологістю в приміщенні є вміст двоокису вуглецю в повітрі. Згідно з діючим нормативом [1, 4] при проектуванні систем вентиляції необхідно враховувати допустимий рівень CO₂ у будівлі або окремому приміщенні. Необхідну витрату повітря визначають на основі рівняння масового балансу для концентрації CO₂. Рівні за вмістом CO₂ відповідають нормам витрат зовнішнього повітря на людину (з певним рівнем активності) для приміщень діючі норми враховують типові виділення від діяльності людей у житлових та громадських будівлях з низьким рівнем забруднення. В закордонній практиці проектування та експлуатації систем мікроклімату вміст двоокису вуглецю в повітрі житлового або громадського приміщення є основним індикатором якості проектного рішення та ефективного функціонування системи вентиляції [5].

Вентиляційна система VAV сконструйована за універсальним принципом, завдяки чому вона може бути швидко адаптована до нових умов експлуатації в разі модернізації або перебудови будівлі. Це відноситься також і до системи управління. Використання нових технологій управління дозволяє підключити її до загальної системи диспетчеризації на основі інших протоколів.

Виходячи з вищенаведеного, найбільш істотними перевагами вентиляційних систем зі змінною витратою повітря є можливість регулювання параметрів повітря в окремих приміщеннях, можливість використання датчиків руху, датчиків CO₂ та реле часу для керування системою, зниження споживання теплової та електроенергії, можливість переобладнання вентиляційної системи відповідно до нових умов.

Для визначення доцільності впровадження та аналізу ефективності систем зі змінною витратою повітря в фактичних умовах використання приміщень навчальних закладів виконано розрахунок вартості та експлуатаційних річних витрат на прикладі приміщення корпусу №6 будівельного факультету ДВНЗ «КНУ». Фактичні повітрообміни прийнято на основі проектних даних та з коригуванням на середню кількість студентів у групі, що складає 30 чоловік. Представлені аудиторії передбачають перебування однієї групи студентів, потокові аудиторії розташовані в іншому крилі будівлі та до розрахунку не приймаються. Загалом в навчальному процесі задіяно 36 аудиторій на шести поверхах. В існуючому варіанті систем вентиляції, системи вмикаються о 9 годині і працюють до 17 години відповідно до загального розкладу занять.

Враховуючи витрати повітря та режими роботи приміщення для виконання реконструкції системи вентиляції з впровадження принципу змінної витрати повітря до встановлення приймаються VAV-термінали на підключенні кожного приміщення за схемою розташування.

Забезпечення змінної витрати вентиляторами припливних установок вентиляційних систем виконується встановленням частотних регуляторів обертів вентиляторів припливного та витяжного відповідно, з підтриманням постійного тиску в каналі на нагнітання, що забезпечує швидку зміну витрати повітря вентилятором при відкритті-закритті клапанів терміналів. Для цього вибрано частотний регулятор ПЧВ204-11К-В (11кВт 3х380В 21.0А) та 7,5кВт відповідно.

Згідно розрахунку загальна вартість основного обладнання при впровадженні принципу змінної витрати повітря на прикладі існуючої системи вентиляції становить близько 680 тис. грн. Вартість з урахуванням монтажних робіт становить близько 816 тис. грн.

Відповідно до дослідженого фактичного коефіцієнта завантаженості приміщень розраховано вартість теплової енергії за опалювальний сезон з урахуванням змінної витрати відповідно до розкладу занять, що становить 20716,23 кВт (17,8 Гкал). Розрахунки показують, що впровадження передових енергозберігаючих технологій, а в даному випадку VAV-системи, дають істотну економію коштів. Порівняння експлуатаційних витрат існуючого варіанту та після здій-

снення реконструкції з застосування принципу VAV-системи дає змогу досягти зменшення витрат зменшення витрат теплової енергії на 44,03 Гкал/рік, зменшення електроспоживання складає 20546 кВт•год/рік, що відповідно у відсотках до первинного значення споживання теплової енергії становить зниження на 70%, електричної енергії на 92% в даному конкретному розрахунку.

Висновки та напрямок подальших досліджень. За результатами виконання дослідження можна зробити висновок про безперечну доцільність та перспективність використання вентиляційних систем зі змінною витратою повітря при проектуванні та реконструкції систем вентиляції насамперед будівель начальних закладів та інших будівель з явно вираженим та визначеним за часом доби режимом експлуатації приміщень. При виконанні розрахунку та проектуванні систем вентиляції за принципом змінної витрати повітря основним чинником є коефіцієнт завантаженості приміщення, що для громадських будівель може визначатися в досить широкому діапазоні значень щодо розрахункових даних та потребує як теоретичного визначення так і впровадження комплексу заходів та засобів контролю завантаженості приміщення для автоматизації роботи систем вентиляції, одним з яких є контроль вмісту двоокису вуглецю в повітрі приміщення.

Список літератури

1. 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).
2. ДБН В.2.2-3-97. Будинки та споруди навчальних закладів. Офіц. вид.-(чинний від 01.01.1998р.). – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 51 с. – (Державні будівельні норми України).
3. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Офіц. вид. – (чинний від 01.01.2014р.). – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 141 с. – (Державні будівельні норми України).
4. Вентиляція громадських будівель. Вимоги до виконання систем вентиляції та кондиціонування повітря (EN 13779:2007, IDT). – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 101 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Стандарт EN 13779:2004. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems..
6. **Веслав С., Яцек Х.** Системы VAV Краткое описание. – Краков, 2009. – 80 с.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 622.235:622.271

А.А. СКАЧКОВ, горный инженер, «ГДД МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗОН В РАЗРУШАЕМОМ ВЗРЫВОМ МАССИВЕ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ЕГО ЭНЕРГОНАСЫЩЕНИИ

В статье анализируются геомеханические условия, при которых взрывное разрушение кристаллических пород осуществляется посредством взаимодействующих скважинных зарядов. Также учитываются особенности формирования зон вокруг заряда с различным напряженным состоянием горных пород.

Цель. Основной целью исследования является определение наиболее значимых факторов, влияющих на свойства горных пород при формировании в них силовых полей. И оно посвящено решению актуальной проблемы – снижению удельного расхода взрывчатых веществ для разрушения горных пород путем изменения порядка выполнения последовательности инициирования скважинных зарядов при их подрывании. Это учитывает взаимодействие взрывных нагрузок от разных зарядов.

Методами исследования являются анализ геологических данных по железорудным месторождениям Кривбаса, проектной документации, данных добычи руд горных предприятий и открытых разработок, научные публикации и их последующий анализ и синтез и разработка научных положений.

Результаты исследования. Для теории и практики ведения взрывных работ важно знать особенности формирования и взаимодействия силовых полей скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления. Основную роль в процессе разрушения горного массива при этих условиях играют зоны I и II силовых полей разрушения. Подбором $P(t)$ (величина импульса заряда взрывной полости) в каждом из взаимодействующих зарядов, можно регулировать процесс взрывного нагружения в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. За счет изменения способов формирования и порядка взрывания зарядов ВВ в разрушаемом объеме можно влиять на процесс разрушения, зная особенности формирования силовых полей.

Характер формирования и основные характеристики зоны III – важны для изучения процесса разрушения горного массива, приведенного в напряженное состояние от ранее взорванных скважинных зарядов ВВ.