

балансу або 1050-1730 кДж/кг (250-412 ккал/кг). В результаті використання технологічного тепла, одержаного в процесі рекуперації тепла відхідних газів, забезпечується зростання продуктивності агломераційної конвеєрної машини. При підігріванні шихти до температури 300-350° С до її запалювання в горні досягається інтенсифікація процесу спікання та зростання коефіцієнта корисної дії. Крім того, при цьому досягається значна економія газу за рахунок використання технологічного тепла, одержаного в процесі рекуперації тепла відхідних газів.

Список літератури

1. Аналитический обзор - ВЭР черной металлургии. URL: <https://metalspace.ru/production-science/ecology/813-analiticheskij-obzor-tehnologii-bref.html> (дата звернення: 26.02.2021).
2. **Metalspace** / Аналитический раздел. URL: <https://metalspace.ru/images/logo.png> (дата звернення: 26.02.2021).
3. **Мных А.С.** Исследование количества тепловыделения в слое агломерационной шихты // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. 6/5 (72).
4. **Мных А.С.** Исследование влияния фракционного состава агломерационной шихты на распределение химических компонентов слоя материала для условий комбината «Запорожсталь» // Теория и практика металлургии. 2014. № 3 (6). С. 35–38.
5. **Каплун Л.И.** Анализ процессов формирования агломерата и совершенствование технологии его производства. URL: <https://www.dissercat.com/content/analiz-protsssov-formirovaniya-aglomerata-i-sovershenstvovanie-tehnologii-ego-proizvodstva> (дата звернення: 26.02.2021).
6. **Рязанцев А.П.** Нагрев агломерационной шихты / А.П. Рязанцев. – М.: Металлургия, 1968. - 167 с.
7. **Савицкая Л.И.** Развитие агломерационного производства в странах западной Европы // Черная металлургия. Серия «Подготовка сырых материалов к металлургическому переделу». Обзорная информация. 1982. Выпуск 2. – М.: ЦНИ Черметинформации. - 24 с.
8. **Джероуен Куэнен.** Руководство по инвентаризации выбросов ЕМЕП/ЕАОС, 2013 // URL: www.eea.europa.eu/ru/ds_resolveuid/8zxnftehr3. (дата звернення: 26.02.2021).
9. Патент №933303 Україна. МПК F27B 21/00 Агломераційна конвеєрна машина / **Рудь Ю.С., Кучер В.Г.**; Власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – у 2014 04257; заяв. 22.04.2014; опубл. 25.09.2014. - Бюл. № 18.
10. **Крижевский А.З., Стольберг Е.Я., Кучер В.Г.** Влияние предварительного подогрева шихты на производительность агломерационной установки // Автоматизация агломерационного и доменного производства. – Київ, Техніка, 1969. С. 68-70.
11. Патент №101724 Україна. МПК F27B 21/00 Агломераційна конвеєрна машина / **Рудь Ю.С., Кучер В.Г.**; Власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – у 2015 03382; заяв. 10.04.2015; опубл. 25.09.2015. - Бюл. № 18.
12. Патент №137964 Україна. МПК F27B 21/06 C22B 1/20 Агломераційна конвеєрна машина / **Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Білоножко В.Ю.**; Власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – у 2019 04934; заяв. 10.05.2019; опубл. 11.1.2019. - Бюл. №21

УДК 628.517.2

М. В. ХУДИК, В. А. ШАПОВАЛОВ, О. Л. ШЕПЕЛЬ, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ЗАСОБИ ЗНИЖЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ШУМУ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ ШАХТ

Мета. Метою даної роботи є аналіз існуючих рішень при проектуванні компресорних станцій для зниження шумового навантаження, яке впливає на обслуговуючий компресори персонал. Робота відцентрових компресорів супроводжується утворенням та поширенням підвищеного рівня виробничого шуму високочастотного і тонального характеру. Для попередження поширення виробничого шуму у приміщеннях компресорних станцій, джерела його утворення можуть обладнуватись звукопоглинальними укриттями, які виготовляються з різних матеріалів. Недосконалість монтажу звукопоглинальних укриттів або невірний підбір звукоізолюючого матеріалу призводить до зниження їх звукопоглинальної ефективності погіршуючи санітарно-гігієнічні умови праці працівників.

Методи дослідження. Використовувався аналіз та узагальнення літературних джерел, охоронних документів на винаходи та корисні моделі щодо типів та конструктивних рішень звукоізолюючих пристосувань для зниження рівня шумового навантаження.

Наукова новизна. Розглянуто можливість зниження шумового навантаження на обслуговуючий персонал при роботі відцентрових компресорів за рахунок використання різних звукопоглинальних матеріалів для монтажу звукопоглинальних укриттів та пристосувань.

Практична значимість. Проведений аналіз показав, що для забезпечення допустимих рівнів шумового наван-

таження у приміщеннях компресорних станцій і на території оточуючих житлових районів необхідно враховувати розташування житлових районів на стадії проектування компресорних станцій уникаючи розміщення системи скидання повітря у бік цих районів, проникання виробничого шуму із приміщення у приміщення при відкритих вікнах та дверях, додаткове шумове навантаження, яке виникає при роботі вентиляторів вентиляційних систем.

Результати. Проведені дослідження роботи відцентрових компресорів компресорних станцій шахт показали необхідність застосування вбудованих у привід збуджувальних систем або тиристорних перетворювачів замість окремих електромеханічних збудників, проведення дистанційного контролю вібрації підшипників для скорочення часу знаходження обслуговуючого персоналу біля компресорної установки, обладнання звукопоглинальних укриттів турбін, редукторів і муфт. Ці та інші заходи та засоби дозволять поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці обслуговуючого персоналу компресорних станцій шахт.

Ключові слова: відцентровий компресор, компресорна станція, виробничий шум, звукопоглинальне укриття, звукоізоляційний матеріал, шумове навантаження.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-169-175

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Відцентрові компресори різного виду і призначення широко використовуються в різних галузях промисловості України, зокрема на шахтах для отримання стисненого повітря, необхідного для ведення видобувальних робіт.

Перевагами відцентрових компресорів перед іншими компресорами є компактність та мала маса, надійність та довговічність, рівномірність подача стисненого газу, можливість використання з високооборотними двигунами. Разом з тим, велика швидкість обертання, зменшення металемності, складність забезпечення надійної динамічної зрівноваженості є одними з причин підвищеного рівня виробничого шуму при роботі відцентрових компресорів. За результатами вимірювань, проведених згідно з ДСН 3.3.6.037-99 [1], рівень шумового навантаження на обслуговуючий персонал компресорних станцій шахт Кривбасу сягає 103-106 дБ при нормованому значенні 80 дБ.

На території компресорної станції шахти виробничий шум створюється, головним чином, під час викиду повітря у атмосферу і його рівень перевищує нормовані значення на відстані до 15 м від системи скидання, оскільки швидкість витікання повітря при цьому сягає 100 м/с. Додатковим джерелом шумового навантаження є проникаючий шум від роботи компресора, особливо, при відкритих дверях і вікнах у теплий період року через низьку ефективність системи вентиляції.

У приміщенні компресорної станції шумове навантаження створюється внаслідок сумарної генерації виробничого шуму при роботі повітроохолоджувачів, редукторів, турбін та збудників.

Постійний вплив інтенсивного шумового навантаження вище 80 дБ викликає у людини порушення функцій слухового нерву різного ступеня складності, що при медичному огляді виявляється у зниженні слуху до сприйняття шепітної мови та втраті гостроти слуху, а також порушення роботи інших органів і систем, що проявляється у зміні функціонування центральної нервової системи (виникають апатія, ослаблення пам'яті, дратівливість), системи травлення (виникають зміни секреторної й моторної функції шлунково-кишкового тракту), порушення обмінних процесів [2, 3].

Захист обслуговуючого персоналу компресорних станцій шахт від шумового навантаження регламентується ДБН В.1.1-31:2013 [4].

Аналіз досліджень і публікацій. Питанню боротьби з виробничим шумом, що генерується при роботі різного технологічного обладнання і, зокрема, компресорів, присвячено роботи ряду вітчизняних та закордонних авторів В.Д. Афанасьєва, А.А. Животовського, М.І. Швидкого, Е.Я. Юдіна, В.І. Заборова, Г.А. Хорошева, О.В. Калмикова, Л.Ф. Журбинського, Ю.Л. Кузнецова, Р.Д. Байнза, Т.П. Брамера, Дж. Д. Вебба та багатьох інших [5-12].

Як засоби боротьби з виробничим шумом різні автори рекомендують різноманітні звукопоглинаючі матеріали: мінеральну вату [5], керамзит різної крупності [7], склотканину [9], склопластики з епоксидною зв'язувальною речовиною [10, 11] та ін.

Постановка задачі. До теперішнього часу не вирішене питання зниження рівня виробничого шуму відцентрових компресорів у джерелі його утворення і тому першочерговою задачею є розробка засобів зниження шумового навантаження при експлуатації відцентрових компресо-

рів і при проектуванні компресорних станцій шахт для покращення санітарно-гігієнічних умов праці обслуговуючого персоналу.

Викладення матеріалу та результати. Для зниження шумового навантаження на обслуговуючий персонал компресорних станцій шахт слід передбачати:

для зниження рівня виробничого шуму від місця викиду повітря – зменшення швидкості витікання повітря та застосування глушників шуму, вбудованих у повітропровід системи скидання;

для зниження проникаючого шуму з приміщення компресорів – підвищення звукоізоляції вікон та дверей, підвищення ефективності вентиляційної системи для запобігання відкриванню вікон та дверей у теплий період року;

для зниження шумового навантаження при роботі відцентрового компресора - застосування звукоізолюючих панелей для огороження повітроохолоджувачів, компресора та редуктора, застосування тиристорних перетворювачів або збудників закритого виконання, застосування звукопоглинаючих покриттів повітропроводів, застосування глушників та віброізоляторів при роботі вентиляторів.

Для ефективного зниження рівня виробничого шуму від місця викиду повітря необхідно зменшити швидкість витікання повітря до 40 м/с, що дозволить використати глушник шуму активного типу. Це можливо досягти за рахунок використання спеціального колектора, який повинен бути у 1,5-1,6 рази більше відвідного повітропроводу, що дозволить знизити рівень шумового навантаження на

$$\Delta L = 60 \lg \frac{V_0}{V_{рек.}} \approx 18-24 \text{ дБ},$$

де V_0 – фактична швидкість витікання, м/с; $V_{рек.}$ – рекомендована швидкість витікання, м/с.

Для подальшого зниження рівня шумового навантаження слід використовувати глушник шуму активного типу, який вбудовується у систему скидання повітря в атмосферу (рис. 1).

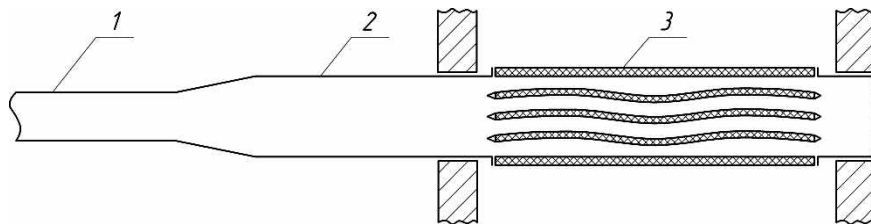


Рис. 1. Система скидання повітря в атмосферу: 1 – відвідний повітропровід; 2 – колектор; 3 – глушник шуму

Ефективність роботи глушника шуму забезпечується дотриманням ряду вимог:

переріз глушника повинен бути не менше перерізу колектора (не менше $0,3 \text{ м}^2$);

довжина глушника повинна бути не менше 1,5-2 м;

кількість пластин зі звукопоглинального матеріалу, з урахуванням звукопоглинального облицювання стінок глушника повинна бути не менше 5 шт.;

товщина пластин у залежності від матеріалу приймається у межах 60-80 мм;

відстань між пластинами не повинна перевищувати 150 мм;

пластини з обох сторін повинні мати обтічники;

як звукопоглинальний матеріал можуть використовуватись плити ПП-80, СТВ, ВТ-4 та ін.;

для попередження виносу звукопоглинального матеріалу його необхідно помістити у подвійні чохла з нетканої тканини або склотканини типу Е-0,1;

пластини та внутрішні стінки глушника виготовляються з перфорованої листової сталі товщиною до 2 мм з коефіцієнтом перфорації не більше 0,3 (перфорація виконується отворами діаметром до 6 мм з кроком не більше 10 мм) або сітки з вічками 10-20 мм і товщиною проволочки до 3 мм;

товщина стінок корпусу глушника приймається із умови забезпечення стійкості повітря і необхідної тривалості експлуатації;

конструкція глушника повинна виконуватись розбірною для забезпечення періодичного огляду і заміни зношених пластин;

для попередження потрапляння сторонніх предметів до системи скидання повітря необхідно на виході встановити сітку.

Розрахункова ефективність глушника з вищевказаними параметрами наведена на рис. 2.

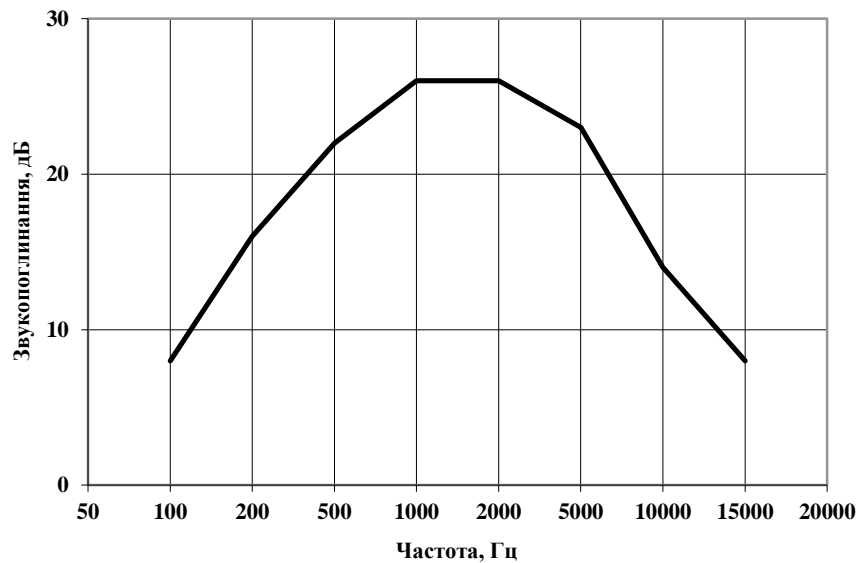


Рис. 2. Розрахункова ефективність глушника шуму

Отже сумарне зниження шумового навантаження від встановлення колектора та глушника становитиме не менше 38-44 дБ, що дозволить досягти рівня виробничого шуму на території компресорної станції нижче 80 дБ.

Для провітрювання приміщень компресорних станцій шахт переважно використовуються відцентрові вентилятори Ц 4-70, рівень шумового навантаження яких перевищує нормовані значення не більше, ніж на 5 дБ. Для зниження рівня виробничого шуму, що генерується при роботі вентиляторів та їх двигунів, доцільно встановлювати вентилятори у звукоізованих камерах на віброізоляційних основах та обладнати вставки з еластичних матеріалів між вентиляторами та повітропроводами.

Для зниження шумового навантаження від компресорів та редукторів застосовують звукопоглинальні укриття з жорстких матеріалів або комбіновані з використанням жорстких та м'яких матеріалів.

До переваг звукопоглинальних укриттів з жорстких матеріалів відносять простоту виготовлення, довговічність, надійність в експлуатації, простоту монтажу та демонтажу, можливість забезпечення ефективної вентиляції компресорної установки. Недоліком таких укриттів є підвищення рівня шуму в середині укриття, яке може сягати 15 дБ у широкому діапазоні частот, а також вплив структурних вібрацій перекриттів і фундаментів.

Широке використання знайшли комбіновані укриття, у яких жорсткі елементи сприяють підвищенню звукоізоляції, а м'які – можуть виконувати декілька функцій:

- дозволяють знизити рівень виробничого шуму всередині укриття на 6 дБ;
- забезпечують віброізоляцію укриття;
- дозволяють підвищити звукоізоляцію окремих елементів укриття;
- дозволяють підвищити герметичність укриття.

Звукопоглинальне укриття виготовляється з листової сталі товщиною до 3 мм і повинне перекривати зону від підшипника двигуна до підшипника турбіни. Укриття виконується з окремих секцій, які монтується між собою при підготовці укриття до установки. По периметру обпирання на фундаменти компресорної установки та редуктора укриття обладнується віброізолюючими елементами. У зоні стикування з низько оборотною муфтою на укритті встановлюються знімні елементи з м'якої гуми, які встановлюються і припасовуються на місці. Бічні стінки елементів укриття покриваються звукопоглинальними матеріалами, які розміщують чохлах з нетканої тканини або склотканини і закріплюють за допомогою сітки.

Звукопоглинальне укріття обладнується трьома дверима, які дозволяють виконувати візуальний огляд стану підшипників і здійснювати контроль за можливими витіканнями мастила, а також забезпечують можливість видалення ємностей з мастилом. Двері обов'язково обладнуються ущільнення по периметру та двома клиновими запорами.

Розміри звукопоглинального укріття підібрані таким чином, щоб унеможливити потрапляння обслуговуючого персоналу у його середину.

Забезпечення нормального режиму експлуатації компресорної установки зі звукопоглинальним укріттям досягається шляхом використання систем дистанційного контролю температури, тиску, вібрації підшипників компресора і редуктора та обладнання ефективної системи вентиляції, яка дозволяє підтримувати температуру редуктора не вище 45 °С.

Вентиляційні канали для підводу та відведення повітря з-під укріття повинні проходити у нижній частині компресорної установки і виходити у зону максимальної температури компресора, яка знаходиться між першим та другим ступенем стискання повітря.

Експериментальні дослідження показали, що для дотримання допустимої температури всередині звукопоглинального укріття необхідно підтримувати витрату повітря на рівні 2000-3000 м³/год. при температурі навколишнього середовища до 15 °С і до 8000 м³/год. при температурі вище 20 °С.

Конструкція звукопоглинального укріття повинна передбачати можливість установки додаткового вентилятора над редуктором для підвищення ефективності вентиляції укріття. В укрітті передбачається освітлення і пульт для підключення допоміжного вентилятора, змонтовані на окремих стійках, не пов'язаних з укріттям. Корпус укріття обов'язково заземлюється.

Елементи звукоізоляції звукопоглинального укріття повітроохолоджувачів виконують з листової сталі товщиною до 3 мм. Для ізоляції укріття і попередження впливу виробничих вібрацій, які можуть передаватись від фундаменту компресорної установки, його стаціонарні частини обладнуються віброізолюючими та ущільнюючими елементами. Знімні частини укріття повітроохолоджувачів або двері, які встановлюють напроти пучків повітроохолоджувачів обладнуються ущільнювачами з м'якої гуми по периметру їх примикання до рам і віброізолюючими елементами підвісок.

За можливості передбачається можливість підведення повітря у зону повітроохолоджувача з підвального приміщення.

Для зниження шумового навантаження від проміжних патрубків, повітроохолоджувачів і повітропроводів, їх поверхні покриваються багат шаровими звукоізолюючими покриттями, які можуть складатись з:

- шару мінеральної або скловати товщиною до 60 мм, який закріплюється за допомогою сітки;
- шару мінерально-цементного покриття товщиною до 15 мм, в якому закріплюються віброізолюючі прокладки з пароізолу або м'якої гуми діаметром 20 мм;
- зовнішнього покриття з листової сталі товщиною до 1,2 мм, яке спирається на віброізолюючі прокладки.

Зниження шумового навантаження, яке генерується корпусом зворотного клапана, він розташовується в середині екрануючої оболонки, яка виготовляється з листової сталі товщиною до 3 мм та покривається звукоізолюючим матеріалом усередині. Оболонка складається з кришки, яка встановлюється за допомогою звукоізолюючих прокладок на повітропроводах, стаціонарних торцевих стінок та знімних бокових стінок. Конструкція екрануючої оболонки дозволяє виконання ремонтних робіт із заміни прокладок клапана.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Для забезпечення допустимого рівня шумового навантаження на обслуговуючий персонал у приміщеннях компресорних станцій шахт і на територіях поблизу них необхідно дотримуватись певних вимог:

враховувати розташування житлових районів поблизу місця будівництва компресорної станції на стадії її проектування. При цьому передбачається розташування системи скидання повітря в атмосферу у протилежну від житлових районів сторону. Зниження рівня виробничого шуму при скиданні повітря можливо досягти за рахунок використання спеціального колектора,

який повинен бути у 1,5-1,6 рази більше відвідного повітропроводу, що дозволить зменшити швидкість витікання повітря до 40 м/с і використати глушник шуму активного типу. Сумарне зниження шумового навантаження від встановлення колектора та глушника становитиме не менше 38-44 дБ;

враховувати проникання виробничого шуму із приміщення у приміщення при відкритих вікнах та дверях компресорної станції. Тому приміщення компресорної станції повинні обладнуватись ефективною вентиляцією, яка дозволить виключити необхідність відкривання вікон та дверей у теплий період року, особливо зі сторони системи скидання повітря;

враховувати рівні шумового та вібраційного навантаження, які генеруються вентиляторами систем вентиляції. Тому їх необхідно розміщувати у звукоізованих камерах на віброізолюючих основах;

застосовувати замість окремих електромеханічних збудників вбудовані у привід збуджувальні системи або тиристорні перетворювачі;

застосовувати дистанційний контроль температури, тиску, вібрації підшипників компресора і редуктора;

застосовувати звукопоглинаючі укриття компресорної установки, повітроохолоджувачів, а також звукоізолюючі та екрануючі покриття на повітропроводах, проміжних патрубках та ін.

Список літератури

1. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний від 1999-12-01. – К.: МОЗ України, 1999. – 34 с. – (Державні санітарні норми).
2. **Sokas RK., Moussa MA., Gomes J. and others.** Noise-induced hearing loss and blood pressure // *Am-J-Ind-Med.* – 1995. – № 28 (2). – С. 175.
3. **Melamed S., Froom P., Kristal-Boneh E., Gofer D., Ribak J.** Industrial noise exposure, noise annoyance, and serum lipid levels in blue-collar-workers the CORDIS Study // *Arch Environ Health.* – 1997. – № 52(4). – С. 23-24.
4. Захист територій, будинків і споруд від шуму : ДБН В.1.1-31:2013. – Чинний від 2014-06-01. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 75 с. – (Державні будівельні норми).
5. **Животовский А.А., Афанасьев В.Д.** Защита от вибраций и шума на предприятиях горнорудной промышленности. – М.: Недра. – 1982. – 183 с.
6. Борьба с шумом на производстве: справочник / под общ. ред. **Е.Я. Юдина.** - М.: Машиностроение, 1985. - 400 с.
7. **Швидкий М.І.** Засоби зниження шуму на територіях вентиляційних установок головного провітрювання шахт / **М.І. Швидкий, В.Д. Афанасьєв, Н.О. Раченко, А.М. Страсбургер** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. пр. – Кривий Ріг: КНУ. – 2016. – Вип. 43. – С. 119-122.
8. **Кузнецов Ю.Л.** Компрессорная техника на уровне мировых стандартов / **Ю.Л. Кузнецов, А.Л. Аникин** // Компрессорная техника и пневматика. – Москва, 2016. – № 4 – С. 5-11.
9. **Сніцарук Г.В., Мартиненко А.П.** Борьба з шумом систем вентиляції і кондиціонування повітря. / Наукові записки. – Вип.13.– Кіровоград: КНТУ, 2013.– С. 249-253.
10. **Білим П.А.** Зниження шуму у компресорних станціях за рахунок застосування шумоізолюючих армованих матеріалів. / **П.А. Білим, Е.Е. Еприкян, В.В. Живодьоров, А.М. Картавцева** // Проблеми та перспективи розвитку охорони праці: Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів – Л.: ЛДУ БЖД, 2019. – С. 57-58.
11. Патент на винахід № 118310 Україна, МПК (2018.01) B82Y 35/00, C08L 63/00, C08K 5/18 (2006.01), C08K 5/372 (2006.01), C08G 59/42 (2006.01), C08G 59/72 (2006.01). Наномодифіковане епоксидне зв'язуюче для композиційних матеріалів / **П.А. Білим, К.П. Білим, А.В. Домбровська, І.І. Килимник, М.В. Хворост**; заявник і власник Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова – № а201706132; заявл. 19.06.2017; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24.
12. **Байнз Р.Д., Брамер Т.П., Бренчли Ф.Д. и др.** Контроль шума в промышленности. Предупреждение, снижение и контроль промышленного шума в Англии. / Под ред. **Дж. Д. Вебба**; пер. с англ. под ред. **И.И. Боголепова.** – Ленинград: Судостроение, 1981. – 312 с.

УДК 621.311.1

І.А. КОЗАКЕВИЧ, канд. техн. наук, доц., М.Г. КОТЯКОВА, асп.
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи полягає у розробці системи керування інверторами джерел розосередженої генерації з мінімізацією гармонічних викривлень вихідної напруги. Даний напрямок є актуальним у зв'язку з бурхливим розвитком джерел відновлювальної енергії, а також потенційним їх впливом на зниження якості електричної енергії.

Методи дослідження. У роботі використано методи теорії автоматичного керування при аналізі динамічної системи відновлювального джерела енергії – інвертор – фільтр – мережа та розробки регуляторів системи керування, методи математичного моделювання для аналізу процесів у електроенергетичній системі з відновлювальними джерелами енергії, методи теоретичних основ електротехніки для аналізу складових активної та реактивної потужності, що циркулює між джерелом енергії та мережею централізованого електропостачання.

Наукова новизна. Розроблено принцип функціонування систем інтеграції відновлювальних джерел енергії до мереж електропостачання з мінімізацією впливу на показники якості електричної енергії. В основі розробленої системи – двоконтурна система керування, яка містить зовнішній контур керування величинами вихідної напруги та частоти інвертора, а внутрішній контур – керування складовими вектору мережевого струму.

Практична значимість. Розроблена система керування може знаходити практичне втілення у системах інтеграції відновлювальних джерел енергії, а також в системах поліпшення якості електричної енергії.

Результати. Розглянуто принципи формування систем керування мережевими інверторами задля мінімізації їх впливу на якість електричної енергії в мережі. Розглянуто аналітичні залежності, що описують динамічну систему відновлювальне джерело енергії – інвертор – фільтр – мережа змінного струму та складено модель у просторі станів, що може бути основою для синтезу системи керування. Запропоновано внутрішню систему керування струмом реалізувати з використанням H_∞ -регуляторів, а зовнішню систему керування величинами амплітуди та частоти вихідної напруги – з використанням методу статизму.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, якість електричної енергії, гармонічні складові, закон статизму, коефіцієнт загального гармонічного спотворення.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-175-179

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Під терміном «якість електричної енергії» розуміють низку електричних показників електропостачання, які можуть впливати на коректну роботу електротехнічного та електромеханічного устаткування. Цей термін описує електричну енергію, що живить навантаження, при цьому недотримання необхідних показників якості може призвести до некоректної роботи навантаження, його відключення або навіть виходу з ладу. Незважаючи на те, що термін «якість електричної енергії» відноситься до цілого ряду показників, проте найчастіше його відносять до якості живлячої напруги, оскільки в традиційних електроенергетичних системах у якості джерел живлення виступають джерела напруги, а форми струмів визначаються характеристиками навантаження. Низька якість електричної енергії може бути відображена у вигляді різних показників, таких як коливання амплітуди та частоти, перехідні процеси, вміст гармонік у формі сигналів, коефіцієнт потужності, несиметрія фаз, неперервність потужності і т.д. Низька якість електричної енергії може виникати за різних причин, наприклад, через вплив нелінійних навантажень. Оскільки електроенергетична система є взаємопов'язаною, то зниження показників якості в одній точці мережі може призводити до зниження показників якості в інших частинах мережі. Важливим етапом розвитку систем електропостачання в даний час є перехід від централізованих моделей до систем з розподіленою генерацією з інтеграцією до мережі відновлювальних джерел енергії, що базуються на використанні енергії сонця, вітру, води і т.д. При цьому такі мікромережі можуть або працювати ізольовано від централізованого електропостачання, або підключатися до нього. При цьому основним елементом, що забезпечує взаємодію джерел розподіленої генерації та мережі є інвертори, робота яких через ключовий режим роботи напівпровідникових елементів пов'язана з виникнення гармонічних складових напруги, що і призводить до необхідності аналізу питання якості електричної енергії в мережах з розподіленою генерацією. При цьому важливо врахувати аспект того, що джерелами гармонік в таких мережах є не лише інвертори джерел розподіленої генерації, а й інші навантаження. Значна кількість споживачів електричної