

6. Nitish Srivastava, Geoffrey Hinton, Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Ruslan Salakhutdinov; 15(Jun):1929–1958, 2014.
7. Мерков А. Б. Распознавание образов. Построение и обучение вероятностных моделей. 2014. 238 с.
8. Y. LeCun, Y. Bengio «Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series», Brain Theory Neural Networks, vol. 3361, 1995
9. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2014. — 739 p.
10. Шеремет А.И., Перепелица В.В., Денисова А.М. Проектирование нейронной сети для распознавания символов в программной среде MATLAB [Электронный ресурс]. URL: <http://nauka.zinet.info/13/sheremet.php>
11. Y. LeCun and Y. Bengio “Word-level training of a handwritten word recognizer based on convolutional neural networks” in IAPR (Eds), Proc. of the International Conference on Pattern Recognition, II:88-92, IEEE, Jerusalem, October 1994.
12. Антонио Джулли, Суджит Пал. Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения. Реализация нейронных сетей с помощью библиотек Theano и TensorFlow/пер. с англ. Слинкин А. А. – М. : ДМК Пресс, 2018. – 294 с.

Рукопис подано до редакції 27.03.2018

УДК 622.807:621.928.9

О. Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., М. В. ХУДИК, канд. техн. наук, ст. викладач  
Криворізький національний університет

## ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ПИЛООСАДЖУВАЛЬНИХ КАМЕР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ АСПІРАЦІЙНОГО ПОВІТРЯ

**Мета.** Метою даної роботи є аналіз існуючих конструктивних рішень при проектуванні пилоосаджувальних камер для знепилення аспіраційного повітря, яке видаляється від джерел виділення пилу. Переробка корисних копалин призводить до утворення та виділення у навколишнє середовище значної кількості промислового пилу. Для попередження поширення пилу у виробничих цехах, джерела виділення пилу обладнують аспіраційними укриттями, з яких запилене повітря видаляється до пилоочисних установок. Незадовільна робота пилоочисних агрегатів призводить до забруднення промислових майданчиків і території гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт пилом погіршуючи санітарно-гігієнічні умови праці їх робітників

**Методи дослідження.** Використовувався аналіз та узагальнення літературних джерел, охоронних документів на винаходи та корисні моделі щодо типів та конструктивних рішень пилоосаджувальних камер для очищення аспіраційного повітря від пилу.

**Наукова новизна.** Розглянуто можливості підвищення ефективності пиловловлення промислового пилу з аспіраційного повітря пилоосаджувальними камерами за рахунок розміщення в них різних перешкод (горизонтальних або похилих полиць, напрямних пластин, вертикальних або горизонтальних перегоронок, волоконних завіс та ін.) для подальшої розробки та дослідження нової конструкції пилоосаджувальної камери.

**Практична значимість.** Проведений аналіз показав, що на ефективність пиловловлення пилоосаджувальної камери можливо впливати не тільки зміною геометричних розмірів камери (довжини, поперечного перерізу), а і за рахунок зміни параметрів пилових часток (діаметра). За рахунок укрупнення пилових часток можна досягти збільшення швидкості їх витання (осадження) і підвищення ефективності роботи пилоосаджувальної камери при сталих її геометричних розмірах.

**Результати.** Проведені дослідження різних конструкцій пилоосаджувальних камер показали доцільність розробки нової конструкції пилоосаджувальної камери підвищеної ефективності з розміщеними в середині камери волоконними завісами з капрону та полівінілхлориду. Така конструкція камери для очищення аспіраційного повітря дозволить поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці робітників гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт.

**Ключові слова:** пилоосаджувальна камера, аспіраційне повітря, уловлення пилу, коагуляція, волоконні завіси.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-153-158

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Промислова переробка корисних копалин (залізна руда, кам'яне вугілля, граніти та ін.) супроводжується утворенням значної кількості пилу на всіх технологічних етапах їх переробки (класифікація за крупністю, дроблення і подрібнення, транспортування, збагачення). При контакті з організмом людини, промисловий пил може викликати різні захворювання (алергічні реакції, катаракту, пневмоконіози). З метою запобігання розповсюдженню пилу у виробничих приміщеннях, місця виділення пилу локалізуються за допомогою аспіраційних укриттів з видаленням запиленого повітря у пилоочисні установки.

Класифікацію за крупністю (грохочення) корисних копалин використовують на дробильно-сортувальних та збагачувальних фабриках з метою їх розділення за величиною шматків за до-

помогою грохотів різної конструкції (кокосникових, вібраційних, інерційних та ін.). Дроблення корисних копалин застосовується з метою розкриття зерен мінералів, що містяться в них, за допомогою шокових, конусних, валкових, молоткових та роторних дробарок. Подрібнення виконується для підготовки корисної копалини до операцій збагачення у барабанних, роликкових, кульових та ін. млинах. Збагачення корисної копалини має на меті відділення всіх цінних мінералів від порожньої породи, а також взаємне розділення цих мінералів, для чого можуть застосовуватись різні сепаратори (магнітні, електричні та ін.), флотаційні машини, згущувачі, центрифуги і багато іншого обладнання. Для переміщення корисних копалин від місця видобутку і між технологічними процесами використовують пластинчаті та стрічкові конвеєри, пластинчаті, стрічкові та вібраційні живильники.

Запиленість повітря в аспіраційних укриттях технологічного обладнання на різних етапах переробки залізної руди може становити: при грохоченні – до 350-400 мг/м<sup>3</sup>; при дробленні у шокових дробарках – до 900-1000 мг/м<sup>3</sup>, у конусних – до 700-800 мг/м<sup>3</sup>; при роботі млинів – до 90-120 мг/м<sup>3</sup>; при роботі сухих магнітних сепараторів – до 150-200 мг/м<sup>3</sup>; при перевантаженні з конвеєрів, живильників, грохотів – до 500-600 мг/м<sup>3</sup>, з дробарок – до 3000-5000 мг/м<sup>3</sup>.

Згідно технічних характеристик пилоочисних установок, які застосовують для очищення аспіраційного повітря гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт Кривбасу, ефективність очищення на першій стадії повинна складати 85-95 %, на другій – 97-99 %. Однак, фактична сумарна ефективність двохстадійної системи очищення не перевищує 65-75 %, що призводить до значної запиленості промислових майданчиків і території комбінатів та шахт погіршуючи санітарно-гігієнічні умови праці робітників.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питанню знепилення аспіраційного повітря, яке відсмоктується від укриттів технологічного обладнання, присвячено роботи ряду вітчизняних та закордонних авторів М.І. Біргера А.Ю. Вальдберга, В.П. Александрова, В.Н. Ужова, А.В. Шелекетіна, І.І. Афанасьєва, О.Є. Лапшина, О.В. Калмикова, К.Г. Руденка, В.І. Мулявка, А.М. Кіріченка, А.А. Немченка, Andrew B. Cecala, Andrew D. O'Brien, Joseph Schall, Jay F. Colinet, William R. Fox, Robert J. Franta, Jerry Joy, Wm. Randolph Reed, Patrick W. Reeser, John R. Rounds, Mark J. Schultz та ін. [1-5].

**Постановка завдання.** Провести аналітичний огляд існуючих конструктивних рішень пилоосаджувальних камер, які застосовують при знепиленні аспіраційного повітря, з метою визначення можливості їх подальшого удосконалення та використання для покращення санітарно-гігієнічних умов праці робітників гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт.

**Викладення матеріалу та результати.** Вибір способу пиловловлення для очищення аспіраційного повітря від пилу залежить від властивостей і цінності самого пилу, що вловлюється, необхідного ступеня очищення, температури повітря, що очищується і т.п.

Усі загальновідомі способи уловлення пилу з аспіраційного повітря можна розділити на сухі та мокрі (рис. 1).



Рис. 1. Класифікація пристроїв для уловлення пилу за способом очищення

Мокрі способи характеризуються великими енерговитратами та вартістю очищення повітря від пилу, наявністю стоків, необхідністю захисту пилоочисних апаратів від корозії та видалення відкладень на стінках апаратів і трубопроводів, тому перевага надається сухим способам знепилення.

Гравітаційне уловлення пилу відбувається за рахунок осадження пилових частинок під дією сили тяжіння при русі запиленого повітря з малою швидкістю без зміни напрямку потоку.

Інерційне уловлення пилу засноване на прагненні пилових часток зберігати початковий напрямок руху при зміні напрямку запиленого потоку повітря.

Фільтраційне пиловловлення – процес очистки запиленого повітря від твердих частинок при його пропусканні через пористу перегородку (тканина, волокна, сітка та ін.). Частинки, що містяться в потоці повітря, утримуються на поверхні або в об'ємі пористої перегородки, а повітря проходить крізь неї.

Електричне пиловловлення – осадження пилових частинок із запиленого повітряного потоку під впливом електричного поля на однойменної (негативно) заряджені частинки пилу. Електричне поле створюють за допомогою коронуючих електродів, до яких підводять електричний струм негативної полярності і високого потенціалу (40-60 кВ).

Згідно ГОСТ 25199-82 «Оборудование пылеулавливающее» та ГОСТ 12.2.043-80 «Классификация пылеулавливающего оборудования» пилоочисні апарати за принципом дії поділяються на два основних види: механічні та електричні (рис. 2).



Рис. 2. Класифікація пристроїв для уловлення пилу за принципом дії

Пилоосаджувальна камера є найпростішим пилоочисним пристроєм, в якому запилений повітряний потік переміщується з малою швидкістю, завдяки чому відбувається гравітаційне осадження пилових часток.

Перевагами пилоосаджувальних камер є: простота будови та експлуатації; надійність та довговічність; можливість компонування з іншими елементами аспіраційних систем і можливість

застосування як у стаціонарних, так і у мобільних установках; незначний гідравлічний опір (до 200 Па). Недоліками пилоосаджувальних камер є: низька ефективність осадження тонких фракцій пилу з газової або повітряної суміші; великі габаритні розміри при великих витратах повітря; уловлення переважно важких та крупних часток.

На рис. 3 наведено конструкції простих (порожніх) пилоосаджувальних камер.

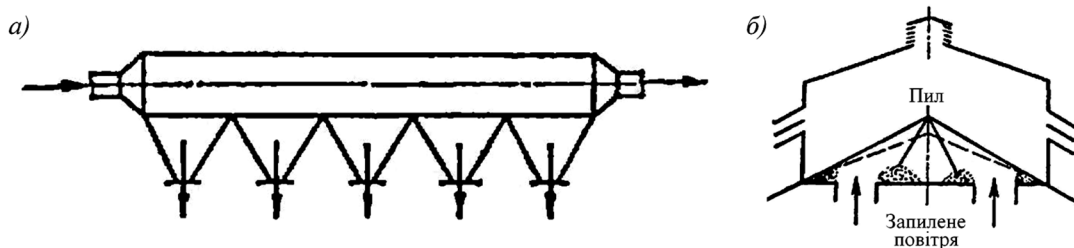


Рис. 3. Прості (порожні) пилоосаджувальні камери: а – горизонтальна; б – вертикальна

Основними розмірами пилоосаджувальної камери є її висота, ширина та довжина. Геометричні розміри визначають час перебування потоку запиленого повітря в камері.

Розміри порожніх пилоосаджувальних камер визначають, виходячи із заданої витрати повітря та мінімального розміру часток, які треба уловити. Співвідношення довжини та висоти камери визначається із співвідношення швидкості руху запиленого потоку повітря і швидкості витання (осадження) частки

$$v_v/v_n = H/L, \quad (1)$$

де  $v_v$ ,  $v_n$  – відповідно швидкості витання та руху повітряного потоку, м/с;  $H$ ,  $L$  – відповідно висота та довжина пилоосаджувальної камери, м.

Із співвідношення (1) видно, що чим менша швидкість руху запиленого потоку повітря і висота пилоосаджувальної камери і більше її довжина, тим меншою буде швидкість витання (осадження) часток, тобто тим більш дрібні частки можуть осідати в камері.

Ширина камери визначається, виходячи із прийнятих для розрахунку швидкості руху повітряного потоку, висоти камери і витрати запиленого повітря

$$B = L/HQ_n, \quad (2)$$

де  $Q_n$  – витрати аспіраційного повітря,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Для рівномірного повітродозподілу по перерізу пилоосаджувальні камери можуть обладнуватися дифузорами з розсічками, розташованими під кутом  $10-12^\circ$  одна до одної, та газорозподільними решітками.

Оскільки пилоосаджувальні камери займають багато місця вони знаходять обмежене застосування у якості самостійних елементів пиловловлюючої системи. Однак прості варіанти пилоосаджувальних камер застосовуються в якості елементів основного технологічного обладнання. Так, холодні головки обертових печей та сушильних барабанів обладнуються пиловими камерами, які дозволяють вловлювати крупнодисперсні частки, що попереджає їх осадження в аспіраційних повітропроводах і дозволяє знизити навантаження на високоефективні пиловловлювачі. Тому пилоосаджувальні камери доцільно використовувати на першій стадії очистки газового або повітряного потоку для осадження крупних та важких часток.

Пилоосаджувальні камери можуть виготовляти з цегли, залізобетону або сталі.

Розрахунок пилоосаджувальної камери зводиться до визначення площі осадження пилових часток, тобто площі днища камери та її стінок. При цьому приймають ряд допущень: пил рівномірно розподіляється по перерізу камери як за концентрацією, так і за дисперсністю; пил складається зі сферичних часток, осадження яких повністю підпорядковується закону Стокса; швидкість руху повітря по перерізу камери приймається рівномірною; результат дії конвекційних потоків і турбулентності повітряного потоку на частки пилу дорівнює нулю; осаджений пил не виноситься з камери.

При виборі швидкості руху запиленого повітря в камері необхідно враховувати властивості матеріалу часток пилу. Наприклад, крохмаль або сажа підхоплюються за дуже маленьких швидкостей (до  $0,8 \text{ м/с}$ ), тоді як для агрегованих часток (цемент, кокс) допустимі більш високі швидкості. Так, гази після обертової печі для випалу доломіту, проходячи через пилоосаджувальну камеру обсягом  $3200 \text{ м}^3$  ( $29,8 \times 18 \times 6 \text{ м}$ ) зі швидкістю  $1,4 \text{ м/с}$ , знаходячись у камері приблизно  $20 \text{ с}$ , очищувались від пилу на  $40 \%$  [6].

Ефективність уловлення пилових часток за допомогою гравітаційного осадження у камерах можна підвищити, зменшивши висоту їх падіння. Це можливо здійснити, помістивши в порожнину пилоосаджувальної камери горизонтальні [7] або похилі пластини (полиці), що перетворює її в групу невеликих паралельних камер (рис. 4).

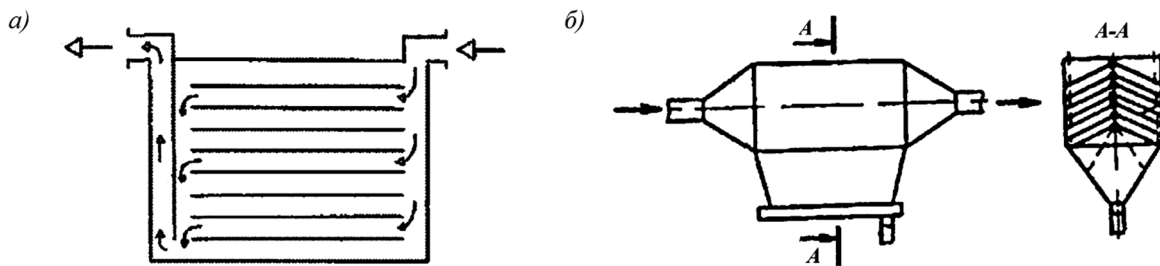


Рис. 4. Пилоосаджувальні камери з горизонтальними (а) та похилими (б) пластинами (полицями)

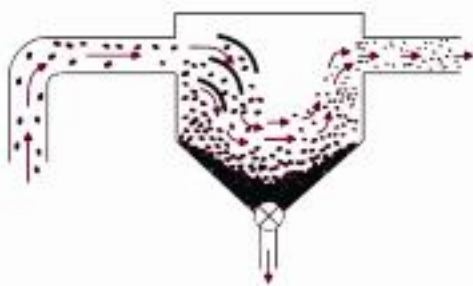


Рис. 5. Пилоосаджувальна камера з напрямними пластинами

Зменшити висоту падіння (осадження) пилових часток можна також за рахунок розміщення в середині камери спеціальних напрямних пластин для направлення запиленого повітряного потоку до днища пилоосаджувальної камери та зниження швидкості його руху (рис. 5). При зниженні швидкості руху повітря і його відхиленні вниз пилові частки, за рахунок зіткнення з напрямними пластинами та між собою, коагулюють утворюючи агрегати, які краще осідають під дією гравітації.

У деяких конструкціях пилоосаджувальних камер для підвищення їх ефективності передбача-

ється обладнання ланцюгових або дровових завіс та відхиляючих перегородок, вертикальних чи горизонтальних екранів (рис. 6) [8-10]. Це дозволяє додатково до гравітаційного ефекту використовувати ефект інерційного осадження пилових часток при обтіканні потоком повітря різних перешкод.

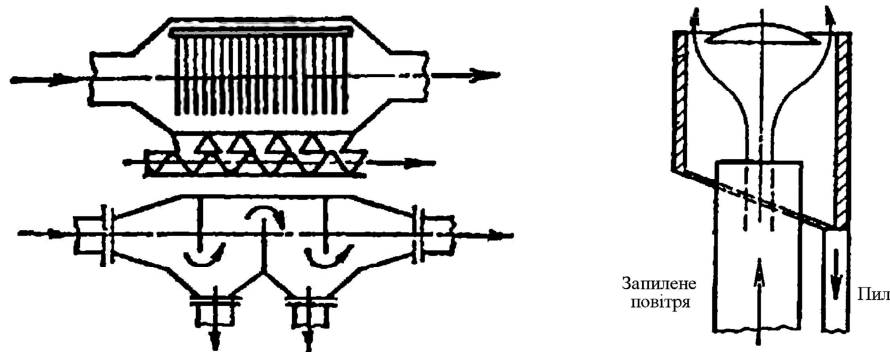


Рис. 6. Пилоосаджувальні камери з елементами інерційного пилоловлення

Крім вищевказаних методів, підвищити ефективність пилоочищення пилоосаджувальних камер можливо за рахунок зміни параметрів пилових часток. Згідно закону Стокса, швидкість витання (осадження) пилової частки прямо пропорційна квадрату її радіуса. Таким чином, укрупнивши частки можна досягти збільшення швидкості їх витання (осадження) і підвищення ефективності роботи камери при сталих геометричних її розмірах.

Одним із способів коагуляції пилових часток є розміщення на шляху руху запиленого потоку різних перешкод, які створюють електростатичний ефект у потоці повітря, що рухається в камері, наприклад, волоконних завіс з капрону та полівінілхлориду [11, 12]. Крім електростатичної дії на запилений потік волоконні завіси сприяють механічній коагуляції часток, а також пилоосадженню за рахунок втрати енергії пилової частки, що рухається, при її ударі об волокно. Пилові частки проходять між волокнами і, коагулюючись на них, під дією сили тяжіння осідають на дно камери.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** На основі проведених досліджень різних конструкцій пилоосаджувальних камер можна зробити висновок про доцільність розробки нової конструкції пилоосаджувальної камери підвищеної ефективності з розміщеними в середині камери волоконними завісами з капрону та полівінілхлориду для очищення аспіраційного повітря з метою поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці робітників гірничо-збагачувальних комбінатів та шахт.

#### Список літератури

1. Вальдберг А.Ю. Фильтры для очистки промышленных газов / А.Ю. Вальдберг, В.П. Александров. – М.: МГУИЭ, 2009 – 204 с.
2. Руденко К.Г. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых / К.Г. Руденко, А.В. Калмыков. – М.: Недра, 1987. – 264 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию / [Биргер М.И., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И. и др.]; под общ. ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1983. – 312 с.
4. Афанасьев И.И. Обеспыливание на дробильных и обогатительных фабриках: Справочное пособие / Афанасьев И.И., Данченко Ф.И., Пирогов Ю.И. – М.: Недра, 1989. – 197 с.
5. Cecala A.B. Dust Control Handbook for Industrial Mineral Mining and Processing / A.B. Cecala, A.D. O'Brien, J.F. Colinet and others. – Pittsburgh-Spokane: NIOSH, 2012. – 314 p.
6. Вальдберг А.Ю. Теоретические основы охраны атмосферного воздуха от загрязнения промышленными аэрозолями / А.Ю. Вальдберг, Л.М. Исянов. – СПб.: Изд-во СПб ГТУ РП, 1999. – 235 с.
7. Патент на корисну модель № 1204 Україна, МПК В01D45/02. Пилоосаджувальна камера / І.О. Мікульонок; заявник і власник НТУУ «Київський політехнічний інститут». – № 2001064205; заявл. 18.06.2001; опубл. 15.04.2002, Бюл. № 4.
8. Патент на корисну модель № 95132 Україна, МПК В01D45/02. Пилоосаджувальна камера / В.П. Муляр; заявник і власник Муляр В.П. – № u201407361; заявл. 01.07.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23.
9. Патент на изобретение № 2306988 Российская Федерация, МПК В07В7/00, В01D45/04. Пылеосадительная камера / И.В. Бачурин, А.А. Соболев, В.А. Соболев, Л.Г. Суслова; заявитель и правообладатель ОАО «АВТО-ВАЗ». – № 2005128686/03; заявл. 14.09.2005; опубл. 20.03.2007; бюл. № 27.
10. Патент на корисну модель № 97725 Україна, МПК В01В7/06, В01D45/04. Пилоосаджувальна камера / Ю.Д. Чугунов, О.Г. Павлушин; заявник і власник Чугунов Ю.Д., Павлушин О.Г. – № a201009864; заявл. 09.08.2010; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.

11. А. с. 1819154 СССР, МПК В01D46/10. Пылеуловитель / **А.М. Кириченко, А.А. Немченко, В.И. Бережной и др.** - № 4853795/26; заявл. 18.06.1990; опубл. 30.05.1993; бюл. № 20.
12. **Hudyk N.V.** Determination of fiber filter dust collecting efficiency depending on particles distribution of industrial dust / **V.I. Dengub, V.A. Shapovalov, N.V. Hudyk** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015, No. 5. – P. 67-71.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 624.012.454

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., О.Ю. ЄРЬОМЕНКО,  
М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доценти, С.О. ВОЛКОВ, аспірант  
Криворізький національний університет

## **ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ БАЛОК ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ БАЗАЛЬТОВОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ**

**Мета.** Дослідження факторів, які впливають на міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинних конструкцій, армованих композитною арматурою. Визначення шляхів зниження деформативності таких конструкцій.

**Методи дослідження.** Аналіз наявних відомостей про напружено-деформований стан згинних конструкцій, армованих композитною арматурою.

**Наукова новизна.** Виконано дослідження сучасних результатів експериментальних випробувань згинних елементів, армованих композитною арматурою. Установлено, що такі конструкції мають підвищену деформативність. Розроблено програму експериментальних випробувань, запроєктовано та виготовлено зразки балок зі змішаним армуванням, а також металевою арматурою та базальтовою арматурою, окремо, для визначення відмінностей їх напружено-деформованого стану.

**Практична значимість.** Установлено, що композитна арматура не має перешкод для армування згинних конструкцій, виходячи з вимог за першою групою граничних станів. Деформативність та тріщиностійкість таких конструкцій потребує розроблення додаткових конструктивних заходів для задоволення вимог за другою групою граничних станів. Отримано дані про ефективність впливу збільшення відсотка армування перерізу композитною арматурою на зменшення прогинів та збільшення тріщиностійкості.

**Результати.** Визначено, що згинні елементи, армовані композитною арматурою, мають більшу несучу здатність, але меншу жорсткість порівняно з аналогічними конструкціями, армованими металевою арматурою. З'ясовано, що збільшення міцності бетону приводить тільки до підвищення несучої здатності таких конструкцій і не впливає на показники деформативності. Установлено, що збільшення відсотка армування впливає як на показники міцності, так і на жорсткість (зниження прогинів до 40%) конструкцій, армованих композитною арматурою. Підвищена міцність та хороші антикорозійні властивості дозволяють створювати вироби з високими експлуатаційними характеристиками, підвищувати надійність та довговічність будівель і споруд. З метою дослідження ефективності використання змішаного армування для підвищення експлуатаційних показників балок, армованих базальтовою арматурою, було запроєктовано та виготовлено відповідні зразки балок, розроблено програму їх випробувань.

**Ключові слова:** композитна арматура, базальтова арматура, змішане армування, балка, міцність, жорсткість.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-158-163

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Одним із факторів передчасного виходу з ладу залізобетонних конструкцій є корозія арматури. Означена проблема характерна для будь-яких країн світу. За даними звіту, опублікованого федеральною адміністрацією США (FHWA), прямі витрати, пов'язані з корозією металу, у кожному промисловому секторі США складають 276 млрд дол. на рік [1]. Дана ситуація характерна і для нашої країни, особливо для галузей, у яких конструкції експлуатуються в умовах впливу агресивного середовища.

Використання матеріалів, інертних відносно впливу вологи, чи інших чинників, які викликають корозію, є шляхом розв'язання даної проблеми. Такі матеріали отримали назву композитних матеріалів. Промисловість випускає значну номенклатуру виробів із композитів, у яких складі є й арматура. Остання, завдяки високій питомій міцності, легкості, інертності до впливу агресивного середовища, є альтернативою для заміни металевої арматури. У світі використання композитної арматури при будівництві споруд і виготовленні конструкцій відбувається вже понад 20 років.

Композитна арматура виготовляється переважно зі скляного, базальтового або вуглецевого ровінгу та полімерного в'язучого. Зважаючи на високу вартість вуглецевої арматури, надалі у

© Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О., 2018