

16. Фильтры на поверхностных акустических волнах (расчёт, технология и применение) / Под ред. В. Б. Акпамбетова // – М.: Радио и связь, 1981. – 472 с.
17. Lohr R. Transense Technology Update, May 2007. – www.transense.co.uk/downloads/articles.
18. Пейч Л.И. LabVIEW для новичков и специалистов / Л.И. Пейч, Д.А. Точилин, Б.П. Поллак // – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 268 с.
19. Федосов В. П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / В. П. Федосов, А. К. Нестеренко // под ред. В. П. Федосова. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 456 с.

Рукопис подано до редакції 19.03.17

УДК 622.53:681.518.52

С.Т. ТОЛМАЧОВ, д-р техн. наук, проф., О.В. ІЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ НАСОСНИХ УСТАНОВОК ГОЛОВНОГО ВОДОВІДЛИВУ ШАХТ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМУМУ ВАРТОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Мета. Метою даної публікації є розробка методу оптимізації робочих режимів головних водовідливних установок гірничорудних шахт за критерієм мінімуму питомої вартості електроенергії.

Методи дослідження. Основна увага приділена можливості вибору таких робочих режимів насосних установок головного водовідливу, які відповідають характеристикам системи «насос – трубопровідна мережа», добовому графіку притоку води з нижніх горизонтів, технічним обмеженням (об'єм водозбірника, максимальна кількість насосних установок, які можуть працювати одночасно, горизонт головного водовідливу). Пошук оптимального варіанта роботи системи головного водовідливу реалізується шляхом погодинної дискретизації зони ефективної роботи насосних установок, формування масиву потенціально можливих робочих режимів та перебору комбінацій різних варіантів з урахуванням часових зон споживання електроенергії. Аналіз режимів роботи системи головного водовідливу розглядається на прикладі шахт «Гвардійська» і «Родіна».

Наукова новизна. Вирішення сформульованої проблеми ґрунтується на спеціально розробленому алгоритмі, реалізованому у вигляді комп'ютерної програми, яка автоматично формує добовий графік роботи головних водовідливних установок з урахуванням поточного об'єму води у водозбірнику, динаміки притоку води та пріоритетної роботи насосів по можливості у години мінімальної вартості електроенергії. Розрахунок добового графіка роботи насосних установок виконано з використанням системи візуального програмування LABVIEW.

Практична цінність. Використання результатів роботи дає можливість в умовах різних шахт сформувати добовий графік роботи системи головного водовідливу, які з урахуванням фактичних технічних параметрів та технологічних обмежень забезпечують мінімальну вартість електроенергії при роботі насосних установок, а також можливість оцінки потенціалу енергозбереження та визначення шляхів його реалізації.

Результати роботи. Основними результатами роботи є: метод оптимізації режимів роботи насосних установок головного водовідливу шахт за критерієм мінімуму питомої вартості електроенергії, алгоритм визначення погодинного графіка роботи насосів, комп'ютерна програма для реалізації даного алгоритму, практичні розрахунки щодо оптимізації роботи системи головного водовідливу.

Ключові слова. Водовідлив, насосні установки, енергоефективність, добовий графік роботи, оптимізація, вартість електроенергії.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Система водовідливу шахт займає важливе місце у технологічному процесі підземного видобутку корисних копалин. У схемі водовідливу глибоких гірничорудних шахт задіяно до 20 насосних установок (НУ) зі встановленою потужністю електрообладнання до 10 МВт. У загальному технологічному процесі видобутку руди водовідлив є одним з найбільш енергоємних процесів (до 25% у загальношахтному обсязі споживання електроенергії, який за рік становить в середньому 25-30 тис. МВт·год). Разом з тим НУ мають один з найбільших потенціалів енергозбереження – до 30-40% [1, 2]. Тому поряд з головною вимогою до них – забезпечення надійного обезводнення гірничих робіт, стоїть завдання виконання цієї функції при мінімальному споживанні і вартості електроенергії.

Проблема підвищення енергоефективності роботи систем водовідливу тісно пов'язана з комплексом практичних задач, зокрема, з експлуатаційною економічністю та надійністю НУ. В останні роки ця комплексна проблема набула виключної актуальності, оскільки за результатами експериментальних досліджень у виробничих умовах середній ресурс найбільш поширених у системах водовідливу НУ типу ЦНС не перевищує 1400-2000 годин, а ККД головного водовідливу складає всього 0,45-0,46 [3].

У контексті проблеми підвищення енергоефективності НУ важливою особливістю системи водовідливу є незалежність його графіка роботи від основного технологічного процесу. Завдяки цьому комплекс водовідливу за рахунок зсуву робочих режимів із зони пікового споживання електроенергії у зони напівпікового і базового споживання може суттєво впливати на проблему вирівнювання графіка енергоспоживання шахти й скорочення витрат підприємства на електроенергію [4]. Але ефективне використання цієї можливості також вимагає виконання ряду практичних організаційно-технічних завдань.

Аналіз досліджень і публікацій. Слід відзначити, що дослідження комплексу проблем, пов'язаних з ефективним функціонуванням систем водовідливу шахт, є предметом уваги багатьох дослідників як в теоретичному, так і в практичному плані. Загальні питання теорії і практики роботи НУ розглянуто в роботах [1, 2, 5-9].

Резерви підвищення економічності і надійності установок головного водовідливу шахт розглянуто в роботі [3]. Зокрема, звертається увага на зменшення середньої фактичної подачі насосів ЦНС 300 приблизно до $240 \text{ м}^3/\text{год}$ (тобто на 20%). Таке суттєве погіршення робочих характеристик НУ обумовлено їх інтенсивним кавітаційним зношенням (більше 60-70% НУ). Як стверджують автори, підвищення ресурсу НУ і економічності водовідливу в цілому може бути досягнуто за рахунок забезпечення роботи насосів водовідливу з підпором. При цьому можна не тільки повністю позбавитися від кавітації, знизити рівень вібрацій насосів і усунути цілий ряд інших експлуатаційних недоліків, а й забезпечити значне підвищення показників енергоефективності процесу відкачування води. Так, за рахунок роботи насосів з підпором реально забезпечити середню експлуатаційну подачу в діапазоні $Q = 330-380 \text{ м}^3/\text{год}$, при якій можна очікувати зниження питомих енерговитрат (на відкачку одиниці маси води) приблизно на 16-17%. Зазначимо додатково, що суттєве збільшення інтенсивності відкачки води створює більш сприятливі умови для використання переваг зонного тарифу. Заслужує також на увагу рекомендація щодо більш широкого використання економічних і надійних насосів ряду НСШ (ЦНСШ), коефіцієнт корисної дії яких на 3-7% вищий, ніж аналогічний показник широко поширених на водовідливі насосів типу ЦНС. Більш розгорнуту інформацію щодо організації системи підбору надано в роботах [10-12].

В публікації [4] розглянуто ефективність заходів щодо переведення водовідливу в режим регулятора споживання електроенергії. Відзначається необхідність повного звільнення головного водозбірника від води і мінімального рівня води в інших водозбірниках до початку пікового навантаження енергосистеми. У роботах [13, 14] розглянуто функціонування багатоступінчастих систем водовідливу в базисі Мах-плюс алгебри, яка відбиває дискретно-последовний взаємозв'язок окремих технологічних ділянок комплексу шахтного водовідливу. Визначальним при цьому є час заповнення дільничних водозбірників і час роботи відповідних насосів з відкачки. Ці часові параметри можуть бути визначені за величинами власних припливів у відповідні водозбірники й обсягу води, що перекачується з нижніх горизонтів, а також за величинами подачі насосів у робочому режимі протягом поточного циклу роботи НУ. Оскільки величина годинного припливу є нестационарною, у цитованій роботі запропоновано декілька методів її прогнозування. На основі проведеного порівняльного аналізу ряду альтернативних варіантів у якості моделі прогнозування швидкості припливу прийнята модель, побудована з використанням методу Хольта.

З наведеної інформації видно, що інструментальне визначення фактичних показників режимів роботи кожної НУ та забезпечення дієвого контролю за допустимим в межах $10 \div 15\%$ експлуатаційного зниження їх робочих характеристик є необхідною умовою комплексного вирішення проблеми експлуатаційної надійності та високої енергоефективності роботи системи головного водовідливу шахт.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка методу оптимізації робочих режимів головних водовідливних установок гірничорудних шахт за критерієм мінімуму вартості електроенергії. Для оцінки енергетичної ефективності системи водовідливу можна використовувати як локальні (для окремо взятої шахти з конкретними параметрами встановленого на ній устаткування), так і універсальні (наприклад, для галузі або групи споріднених підприємств) показники. На практиці використовують наступні показники [5]: коефіцієнт корисної дії перетворювальної частини електромеханічної системи водопостачання або водовідведення (ЕМСВ); енергоємність водопостачання (питомі витрати електроенергії на одиницю об'єму відкачаної води);

питомі енерговитрати на підняття 1 м^3 води на висоту 1 м ; питомі енерговитрати на переміщення 1 м^3 води на довжину 1 м . У цитованій статті [3] для порівняння енергетичної ефективності насосів використовуються питомі витрати енергії на відкачку 1 кг води – $h_n = H/\eta$, де H і η – напір і ККД насоса відповідно.

Технічні заходи, пов'язані з налагодженням дієвого контролю за технічним станом НУ, моніторингом відповідності робочих характеристик насосів паспортним, поступовою заміною морально застарілих насосів новими типами насосів з більш високим ККД та ін., повинні бути передбачені у перспективних планах модернізації устаткування шахтного водовідливу та знаходитися під постійним контролем служб енергоменеджменту підприємств. Комплекс цих організаційно-технічних заходів відноситься до компетенції відповідних підрозділів підприємств, тому далі він не розглядається. Більш детального обґрунтування вимагає питання регулювання режимів роботи НУ, зокрема частотного регулювання. Але оскільки системи водовідливу глибоких шахт є системами з високим статичним тиском (наприклад, на шахтах «Гвардійська» і «Родина» головний водовідлив розташований на горизонтах 472 м і 500 м відповідно) діапазон регулювання насосів ЦНС 300х600 є незначним навіть для номінальних параметрів насоса: $v = (H_0/H_{ст})^{1/2} = (665/500)^{1/2} \approx 1,15$ (рис. 1). При частотному регулюванні навіть незначне зниження частоти обертання робочого колеса здатне забезпечити суттєве зниження кількості споживаної енергії, яке пропорційне кубу частоти обертання робочого колеса. Так, при зменшенні частоти на 7% потужність зменшується на $(1-0,93)^3 \cdot 100 = 20\%$, але при цьому зменшується подача і тому для збереження балансу треба відкачати певний об'єм води, що дещо зменшить вказану цифру економії. Все ж зменшення споживання енергії було б достатньо значним, якби не було ризику нестійкої роботи при $H \approx H_{ст}$ (див рис. 2).

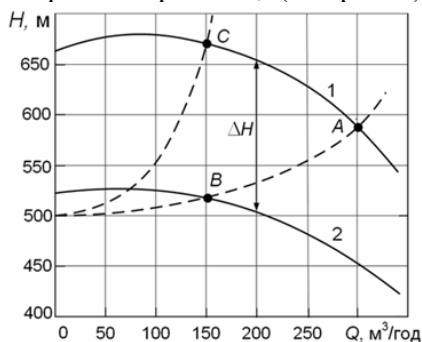


Рис. 1. Визначення положення робочих точок при різних режимах роботи насосів ЦНСх300-600

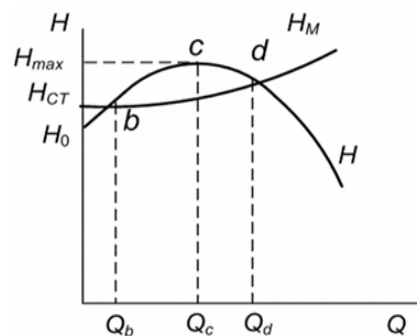


Рис. 2. Виникнення нестійкого режиму роботи насоса: т. d – точка стійкої роботи, т. b – нестійкої

Отже, високий статичний тиск, характерний для систем водовідливу глибоких шахт, обмежує використання частотних перетворювачів не тільки з урахуванням незначного діапазону регулювання, а й небезпеки виникнення нестійкої роботи системи НУ. Оскільки в практиці водовідливу недоцільно використовувати регулювання подачі дроселюванням, найбільш прийнятним в умовах діючих шахт є регулювання роботи системи водовідливу зміною числа працюючих насосів. За цих умов зусилля персоналу в даному питанні повинні бути спрямовані на реалізацію заходів щодо мінімізації гідравлічного опору трубопровідної системи. Як відомо, ця система порівняно з іншими може забезпечити найбільш високий рівень ККД за умови, що енергетичні показники кожної НУ мають оптимальне значення. Це досягається узгодженням напірної характеристики кожного насоса з індивідуальною характеристикою трубопровідної мережі. При відхиленні робочого режиму від точки оптимального навантаження насоса знижується ККД насоса, що призводить до зростання витрат електроенергії на транспортування гідросуміші. Крім того, при роботі насоса в неоптимальному режимі електродвигун також експлуатується не в оптимальному режимі, що зменшує його ККД і коефіцієнт потужності і викликає додаткові втрати електроенергії в електродвигуні і елементах електропостачання.

Слід також мати на увазі, що при роботі на гідросуміші характеристики насоса і системи можуть істотно відрізнятись від паспортних характеристик, одержуваних на воді. Тому необхідно провести перерахунок характеристик насоса з води на гідросуміш і розрахунок втрат напіру в гідротрасі проводити з урахуванням щільності гідросуміші, щільності твердих частинок,

об'ємної (або масової) концентрації твердих частинок в гідросуміші та гранулометричного складу [5].

Отже, в реальних умовах експлуатації завжди присутня велика кількість факторів, які мають достатньо вагомий вплив на енергетичні показники, але не можуть бути в комплексі точно визначені. В цих умовах логічним є моделювання ряду потенціально можливих комбінацій параметрів і режимів роботи елементів системи водовідливу, який дасть можливість визначити головні фактори впливу на загальні показники енергоефективності системи головного водовідливу в цілому.

Викладення матеріалу та результати. На основі наведеного вище аналізу можливих шляхів підвищення енергоефективності роботи системи головного водовідливу діючих шахт запропоновано наступний алгоритм: аналізується динаміка погодинної зміни припливу води з нижніх горизонтів та з горизонту розташування системи головного водовідливу; розраховується динаміка зміни рівня води у водозбірнику головного водовідливу; при допустимих рівнях води у водозбірнику пріоритет мають години роботи насосів у період мінімуму вартості електроенергії; кількість одночасно працюючих насосів автоматично обчислюється з урахуванням часу, рівня води у водозбірнику та динаміки її приросту; при формуванні погодинного режиму роботи насосних установок паралельно для кожного варіанта обчислюються параметри роботи системи головного водовідливу, зокрема поточна кількість одночасно працюючих насосів, споживана електроенергія, погодинна та добова вартість електроенергії, споживаної на відкачку води на поверхню.

Для реалізації вказаного алгоритму необхідно задати наступні вихідні дані: добовий графік подачі води на систему головного водовідливу; об'єм водозбірника головного водовідливу та його критичні рівні (мін, макс); діючу на підприємстві систему тарифів на електроенергію; типи насосів та їх реальні індивідуальні характеристики $H-Q$ і $\eta(Q)$; реальні $H-Q$ характеристики трубопровідної мережі; максимальне число НУ, що можуть працювати одночасно; ККД електропривода для різних навантажень на валу.

Для візуалізації результатів роботи програми використана система візуального програмування LabVIEW [15,16]. На рис. 3-6 наведено приклади зображення інформації про деякі режими роботи НУ головного водовідливу в різні часові інтервали доби, а також деякі показники електроспоживання та вартості електроенергії.

Так, при робочій подачі насосів $300 \text{ м}^3/\text{год}$ і добовому об'ємі відкаченої води 4200 м^3 спожито $11175,4 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ електроенергії.

При цьому питомі витрати енергії на 1 м^3 складають $2,66 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$ і не залежать від добового графіка подачі води з нижніх горизонтів.

Але щодо вартості спожитої електроенергії, то при роботі НУ в години мінімуму (рис. 5, 6) вона становить $2793,86 \text{ грн.}$, у той час як при роботі у всі часові інтервали тарифної сітки (рис. 4) вартість спожитої електроенергії становить $3613,39 \text{ грн.}$, тобто на 29% більше.

Відповідно питома вартість підйому 1 м^3 води становить $0,665 \text{ грн}/\text{м}^3$ і $0,86 \text{ грн}/\text{м}^3$. Питома вартість підйому 1 м^3 на 1 м висоти дорівнює $13,3 \text{ коп}/\text{м}\cdot\text{м}^3$ і $17,2 \text{ коп}/\text{м}\cdot\text{м}^3$.

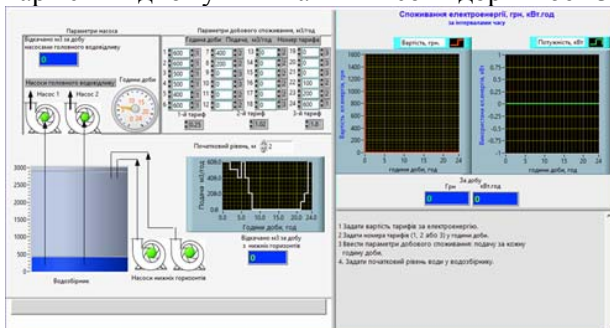


Рис. 3. Інформація про роботу системи головного водовідливу о 6-й годині ранку

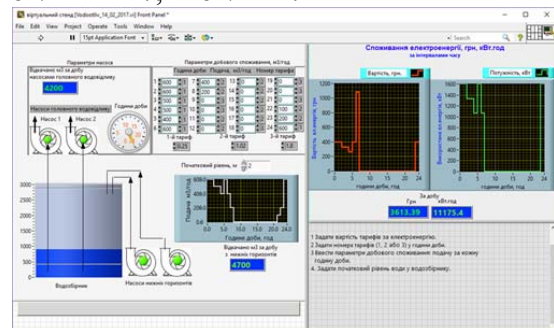


Рис. 4. Інформація про роботу системи головного водовідливу протягом доби (на 24-у годину). Робота у всі часові інтервали тарифної сітки

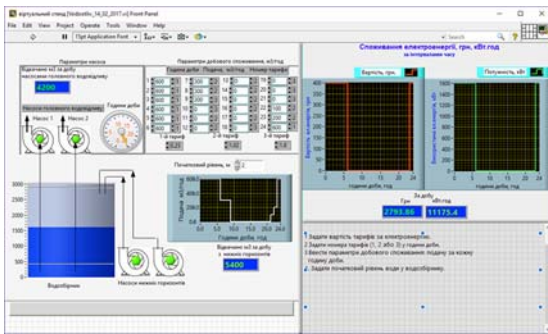


Рис. 5. Інформація про роботу системи головного водовідливу протягом доби (на 24-у годину). Робота у часовому інтервалі мінімальної вартості електроенергії

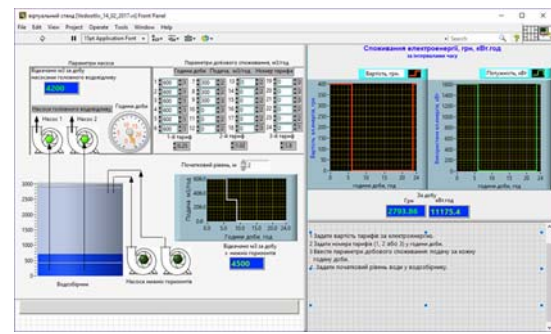


Рис. 6. Інформація про роботу системи головного водовідливу протягом доби (на 24-у годину). Робота у часовому інтервалі мінімальної вартості електроенергії

Наведені вище показники отримані для ідеальних умов роботи НУ при номінальних параметрах і максимальному ККД. В реальних умовах за рахунок відхилення робочих точок НУ від оптимальних показники енергоефективності можуть значно зрости. Так, при зменшенні напору на 10 %, як показують розрахунки, енергетичні показники зростають на 12% навіть при роботі в зоні мінімальної вартості енергії. Це зростання стає більш суттєвим при збільшенні припливу води до 6-8 тис. м³ за добу.

Обчислювальні експерименти показують, що наведені вище показники не є універсальними. Вони залежать від об'єму водозбірника, висоти підйому води, максимальної кількості НУ, які можуть працювати одночасно та ряду інших факторів. У річному обчисленні вартість електроенергії з урахуванням тарифної сітки при об'ємі водозбірника 3000 м³ і добовому припливі води в діапазоні 3000-7000 м³ для різних варіантів може коливатися в межах від 200 тис. грн до 1200 тис. грн.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Використання розробленої програми дозволяє досить легко промоделювати енергоефективні режими роботи системи головного водовідливу та сформулювати добові графіки роботи насосного устаткування для різних комбінацій варіантів вихідних даних. Зокрема, якщо достатньо точно задані робочі характеристики і параметри всієї системи водовідливу шахти, то легко обчислити не тільки фактичні на даний період експлуатації енергетичні показники, а й визначити аналогічні показники при відхиленні параметрів в ту чи іншу сторону (наприклад, при зміні опору гідромережі, зменшенні робочого тиску або, навпаки, при заміні застарілих насосів на більш сучасні, зміні об'єму водозбірника тощо). Це дає можливість оцінити існуючий потенціал енергозбереження або негативні наслідки відхилення робочих параметрів НУ від оптимальних або паспортних. У подальшому планується узагальнити дослідження в напрямку комплексного врахування дискретно-неперервного характеру процесу відкачування води з кожного горизонту, а також провести серію обчислювальних експериментів для систем головного водовідливу ряду шахт.

Список літератури

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. / Б.С Лезнов. – М.: ИК «Ягобра» Биоинформсервис, 1998. – 285 с.
2. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. /Б.С Лезнов// –М.: Машиностроение, 1981.– 144 с.
3. Антонов Э.И. Резервы повышения эксплуатационной экономичности и надежности установок главного водоотлива шахт / Э. И. Антонов, А. Н. Галанин // Наукові праці ДонНТУ. Випуск 22(195), Серія: Гірничо-електромеханічна. 2011. – С. 3-12.
4. Червінська Н. В. Прогнозування швидкості припливу при управлінні комплексом шахтного водовідливу / Н. В. Червінська// Вісник Хмельницького національного університету №4. 2012. – С. 18-22.
5. Шевчук С. П. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: підручн. / С.П. Шевчук, Г.М. Попович, О.М. Світлицький // – К.: НТТУ «КПІ», 2010. – 308 с.
6. Боярский В. А. Водоотлив и осушение на горных предприятиях: учеб. пособие / В. А. Боярский, И. П. Киров // – М.: Высш. шк., 1980. – 304 с.
7. Холоменюк М. В. Насосні та вентиляторні установки: навч. посіб. / М. В. Холоменюк. – Дніпропетровськ: Нац. гірн. ун-т, 2004. – 330 с.
8. Каргавый Н.Г., Топорков А.А. Шахтные стационарные установки. – М.: Недра, 1978. – 263 с.
9. Данильчук Г.И. Автоматизация электропотребления водоотливных установок / Г.И. Данильчук, С.П. Шевчук, П.К. Василенко. – К.: Техника, 1981. – 102 с.

10. Антонов Э.И. Схема и оценка параметров шахтной водоотливной установки с насосоструйной подкачивающей системой организации подпора / Э.И. Антонов // Горная механика: Сб. науч. тр. НИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1991. – С. 126-148.
11. Галанин А.Н. Совершенствование насосно - струйной системы создания подпора на входе насосов водоотлива / А.Н. Галанин // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок. Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – 2007. – Вып. 101. – С. 227-236.
12. Малеев В.Б. Эффективность центробежно-струйных систем в составе шахтного водоотлива / В.Б. Малеев, Э.И. Антонов, В.А. Романов // Уголь Украины. – 1995. – №3. – С. 47-48.
13. Червинская Н.В. Моделирование процессов динамики комплекса шахтного водоотлива в базе Max-plus алгебры / Н.В. Червинская, В.И. Бессараб, В.В. Червинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Вип. 147 (30). – Донецьк :ДонНТУ, 2009. – 248 с. – С. 51–58.
14. Червинская Н.В. Использование аппарата Max-plus алгебры при описании объектов дискретно– непрерывного класса / Н.В. Червинская // Bulletin d'Eurotalent-Fidjip, 2009. – Volume 4. – France, Romilly sur Seine: Editions du Jipto, 2009. – ISSN 2101–5317. – 74 p. – P. 51–56.
15. Моделирование задач в среде LabVIEW - <http://automationlab.ru/index.php/2014-08-25-13-20-03/449-24----labview->
16. Пейч Л.И., Точилин Д.А., Поллак Б.П. LabVIEW для новичков и специалистов. М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 268 с.

Рукопис подано до редакції 19.03.17

УДК 624.012.454

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
М.О. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ БАЛОК АРМОВАНИХ БАЗАЛЬТОВОЮ АРМАТУРОЮ

Мета. Метою даної роботи є порівняння напружено-деформованого стану балок армованих базальтовою арматурою (BFRP) з аналогічними залізобетонними балками. Базальтова арматура є, відносно, новим матеріалом і особливості її роботи, у складі тих чи інших будівельних конструкцій, досліджені не в повній мірі. Існує обмежена кількість відомостей про характер впливу специфічних, притаманних композитним матеріалам, фізико-механічних властивостей базальтової арматури на загальну несучу здатність та деформативність конструкцій.

Методи дослідження. Вивчення, аналіз та систематизації результатів новітніх експериментальних досліджень поведінки базальтової арматури у складі будівельних конструкцій. Проведення оцінки характеру руйнування, тріщиноутворення, показників міцності та жорсткості за результатами випробувань експериментальних балок.

Наукова новизна. З'ясовані відмінності в характері руйнування, тріщиноутворення, прогинах та показниках міцності балок армованих базальтовою арматурою порівняно з балками армованими металевою арматурою. Встановлено потребу в удосконаленні методів оцінки прогинів балок армованих базальтовою арматурою зважаючи на показники жорсткості цієї арматури.

Практична значимість. Розглянуті відомості про особливості роботи балок армованих базальтовою арматурою порівняно з балками армованими металевою арматурою дають підстави стверджувати про ефективність використання базальтової арматури у складі бетонних конструкцій. Розширення бази експериментальних відомостей дасть змогу підвищити надійність конструкцій армованих базальтовою арматурою, вдосконалити існуючу нормативну базу з розрахунку та проектування таких конструкцій.

Результати. Встановлено, що балки ідентичних розмірів, виготовлені з бетону одного класу, армовані базальтовою та металевою арматурою одного діаметру показали приріст міцності при випробуваннях на згин, до 210% для випадку використання базальтової арматури порівняно зі зразками армованими металевою арматурою. В той же час прогини при руйнуванні балок з базальтовою арматурою більше ніж у 2.5 рази перевищували прогини балок армованих металевою арматурою. Прогини обох зразків балок при рівні навантажень, яке відповідає руйнівному для балок армованих металевою арматурою, були однаковими.

Ключові слова: композит, базальтова арматура, балка, бетон, міцність, прогин, тріщиностійкість.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Фіброармовані полімерні матеріали (FRP) все більше використовуються в будівництві, як для підсилення існуючих конструкцій, так і при виготовленні нових, в якості альтернативи металевої арматури. Вони характеризуються низькою питомою вагою, підвищеними показниками міцності на розтяг, втомної міцності. Однією з причин використання FRP матеріалів є те, що вони стійкі до впливу більшості агресивних середовищ і не зазнають корозії на відміну від металевої арматури [1]. Таким чином використання композитної арматури дозволить забезпечити нові функціональні переваги, підвищити надійність та довговічність конструкцій.