ния себестоимости продукции в производстве соды. – Харьков: Фонд НИОХИМ, 1978. – 111 с.
8. *Румшинский Л.З.* Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
9. *Ахназарова С.П., Кафаров В.В.* Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высшая школа, 1985. – 318 с.

Поступила в редколлегию 11.10.06

УДК 666.9.022.3+691.33

А.М. ІВАНОВ, докт. техн. наук; ***О.Г. САВЧЕНКО***, канд. техн. наук;
Г.Д. ФЕДОРОВ, канд. техн. наук; ***О.Ю. КРОТ***, канд. техн. наук;
Д.В. СУПРЯГА, інженер; ***В.О. БУЦЬКИЙ***, аспірант, ХДТУБА

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ СИРОВИННИХ СУМІШЕЙ В АГРЕГАТІ БАРАБАННО-ВАЛКОВОГО ТИПУ

Описано запропоновану конструкцію барабанно-валкового агрегату – машини для підвищення активності будівельних сумішей у виробництвах будівельних матеріалів та виробів. Описано аналітичну модель зміни тиску у матеріалі під валком, засновану на компресійних кривих – залежностях поточного тиску у суміші від її поточної густини. Адекватність моделі підтверджено експериментами на спеціальному стенді. Модель дозволяє вибирати раціональні розміри і силові характеристики активатора. З застосовуванням моделі проаналізовано вплив сил притискання валка, властивостей сумішей, розміру валка і величини шару матеріалу під валком на тиск переробки.

The design drum-type unit is described. It is the machine for increase of activity of building mixes in manufactures of building materials and products. The analytical model of change of pressure in a material under shaky is described. The model is based on compression dependencies. These dependencies of pressure in a mix from density of a mix. Adequacy of model is confirmed with experiments with the special adaptation. The model allows to choose the rational sizes and power characteristics of the activator. With application of model influence of forces of pressing is analyzed is shaky, properties of mixes, the sizes is shaky also sizes of a layer of a material under shaky on pressure of processing.

В даний час не викликає сумнівів доцільність використання активації в будіндустрії для більш повного розкриття потенційних можливостей будівельних сумішей. Розширення застосування цього ресурсозберігаючого прийому

стримується відсутністю відповідного обладнання для його реалізації.

Одним з ефективних і перевірених на практиці є метод активації, що полягає в багаторазовому поперемінному ущільненні і розпушуванні товстого шару зволоженого оброблюваного матеріалу. Ущільнення при цьому методі здійснюється прокатуванням шару матеріалу під валком чи котком. Традиційно метод реалізовувався з застосуванням бігунів – металоємної і великогабаритної машини, що вимагає для монтажу і ремонтів могутньої вантажопідйомної техніки [1].

Перспективним представляється використання замість бігунів агрегату барабанно-валкового типу (далі – БВА). Експериментально доведено, що в результаті обробки сировинних сумішей у такому активаторі підвищується міцність виробів із дрібнозернистого бетону і силікатної цегли, а також розширюються можливості використання металургійних шлаків у виробництві штучних стінових виробів [2].

Співробітниками кафедри механізації будівельних процесів Харківського державного технічного університету будівництва й архітектури запропоновані нові, захищені патентами конструкції БВА [3].

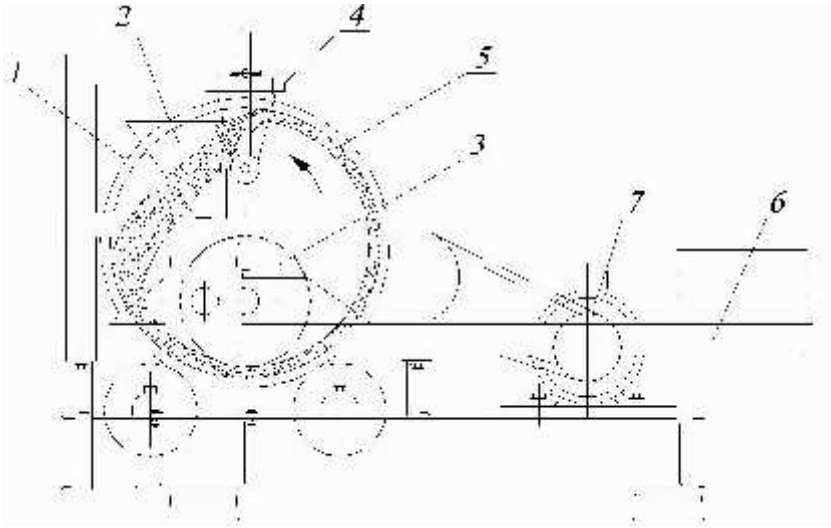

Рис. 1. Конструктивна схема барабанно-валкового активатора.
1 – барабан; 2 – завантажувальний лоток; 3 – валок; 4 – ніж для розпушування ущільненого шару; 5 – шар матеріалу; 6 – пристрій притиснення валка до шару; 7 – привод барабана.

В основу БВА (рис.1) покладено принцип взаємодії валка 3 з товстим шаром матеріалу, що розміщається на внутрішній поверхні барабана 1. При обертанні барабана 1 відбувається багаторазове ущільнення шару валком 3 і

наступне його розпушування ножем 4. Така обробка супроводжується інтенсивним взаємним тертям часток суміші й оголенням нових активних поверхонь заповнювачів і в'яжучого.

Для визначення характеру розподілу тиску під валком і рівня максимального тиску запропонована математична модель.

Математична модель базується на спільному розгляді так званих ***компресійних кривих*** (КК) матеріалу ***з рівняннями, що описують ущільнюючу здатність*** БВА.

Експериментальні компресійні криві подібні кривим пресування, традиційно використовуваним при розрахунку пресів, і характеризують здатність сумішей до ущільнення. Запропоновано описувати КК рівнянням виду:

$$q_i = q_0 \cdot e^{b(^\circ_i - ^\circ_0)}$$

де q_i $^\circ_i$ – тиск і густина шару в конкретній зоні під валком; $q_{0,}$ $^\circ_0$ – базові значення тиску і густини; b– емпіричний коефіцієнт, що характеризує крутість КК.

На рис. 2 наведено приклад КК шлакових сумішей і їхній математичний опис.

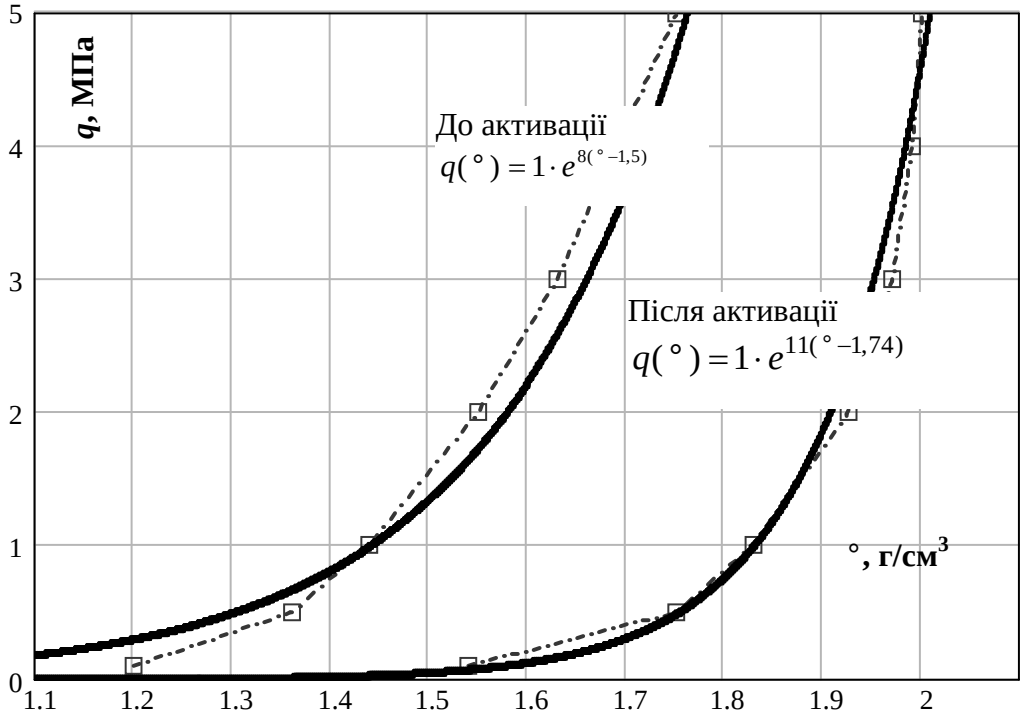

Рис. 2. Типові КК шлакових сумішей і їх математичний опис

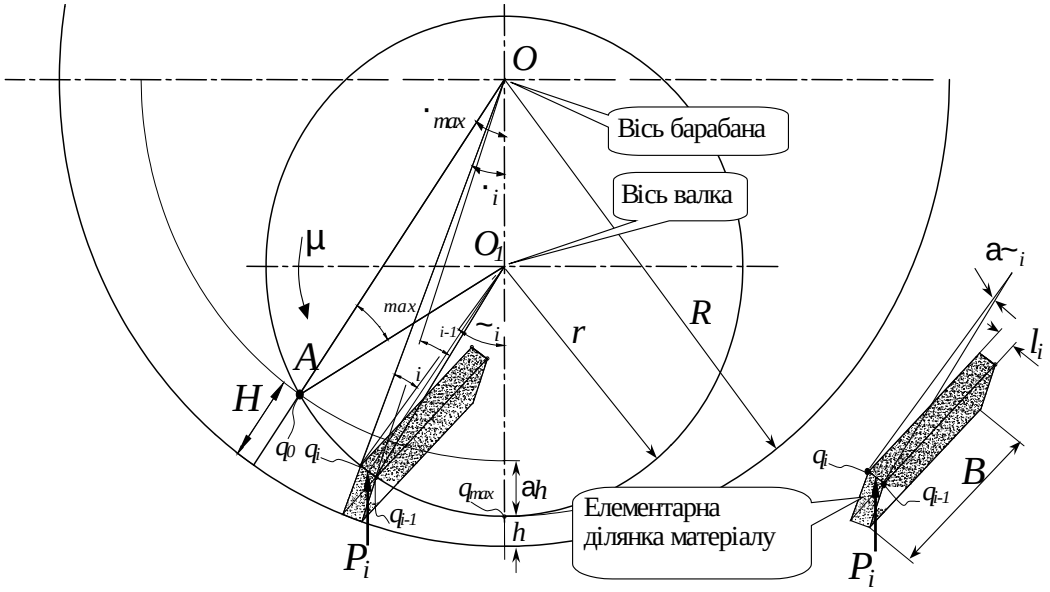

Рис. 3. Схема для оцінки тиску під валком БВА

Математична модель ґрунтується на визначенні елементарних зусиль P_i, що діють на валок з боку шару (рис. 3) і складається із системи рівнянь:

$$
\begin{cases}
\begin{cases}
k_{yi} = \dfrac{1}{k_h}\left(1 - k_r \dfrac{\sin \sim_i}{\sin \cdot_i}\right) \\
\sin \cdot_i = \dfrac{k_r}{(1 - k_r - k_h)} \cdot \sin(\ _i), \\
\sim_i = \ _i + \cdot_i \\
\circ_i = \dfrac{\circ_{поч}}{k_{yi}}
\end{cases} \\
\begin{cases}
q_i = q_0 \cdot e^{b(\circ_i - \circ_0)} \\
q_{ci} = \dfrac{q_i + q_{i-1}}{2}
\end{cases}
\end{cases}
$$

Визначення поточної густини $\circ_i$ на елементарній ділянці шару під валком за допомогою коефіцієнта ущільнення шару матеріалу k_y

Визначення елементарних тисків у шарі

$$
P_\Sigma = \int_{=0}^{=\max} q_{ci} \cdot B \cdot l_{i.} \cos \sim_i
$$

Визначення сумарного зусилля $P_\text{р}$ притискання валка інтегруванням проекцій елементарних зусиль P_i на вісь, що пов'язує центри валка і барабана

де: q_i – тиск на елементарній ділянці в шарі під валком; $l_i = r$ ě $\text{a}\sim_i$ – довжина дуги елементарного шару, де $\text{a}\sim_i = \sim_i - \sim_{i-1}$, $_{max}$ – найбільший кут, при якому зусилля P_i стає менше 10 % від максимального; $\circ_i$ і $\circ_{поч}$ – відповідна по-

точна густини і початкова густина матеріалу; *R*, *r* – радіуси барабана і валка (див. рис. 3); *H*, *h*, a*h* – товщина відповідно пухкого й ущільненого шарів, а також різниця в товщині; *O*, O_1 – вісь барабана і валка; *A* – точка контакту валка із шаром, через яку проведені радіуси барабана і валка; *β*, *ψ*, – кути Δ OO_1A. $k_y = \frac{H}{h} = \frac{H}{H - \Delta h} = \frac{h + \Delta h}{h} = \frac{1}{1 - \Delta h / H} = 1 + \frac{\Delta h}{h}$ – коефіцієнт ущільнення; $k_r = r/R$; $k_h = h/R$ – відносні величини, що характеризують розміри робочих органів.

Модель побудована таким чином, що тиск у кожному перерізі шару під валком знаходиться виходячи з щільності шару в цьому перерізі відповідно до компресійної кривої. Густина визначалася з урахуванням коефіцієнта ущільнення для розглянутого перерізу. Після розрахунку елементарних зусиль, що діють на валок з боку елементарних шарів, і їхніх проекцій на вісь, що з'єднує осі валка і барабана, сумарне зусилля P_p притискання валка визначається інтегруванням проекцій елементарних зусиль.

Для моделювання необхідні вихідні дані: показники КК конкретної суміші – q_0, *b*, $°_0$, $°_{поч}$; характеристики БВА – *R*, *r*, *h*; рівень максимального тиску q_{max} у шарі під валком; крок зміни кута a .

Для підтвердження адекватності моделі були проведені експерименти по визначенню тиску в суміші під валком на стенді. У стенді (рис. 4) реалізовано

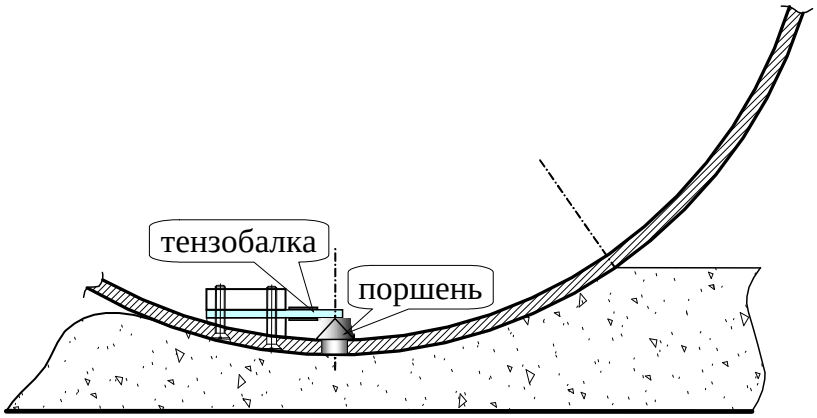

Рис. 4. Вимірювальна система з лінійним стендом

процес прокатування товстого шару матеріалу валком, закріпленим на шарнірному важелі. Зусилля притискання валка на матеріал варіювалося в широких межах. Для визначення тиску на валок з боку шару матеріалу застосовувалася тензовимірювальна апаратура, сигнал від якої реєструвався персональним

комп'ютером (ПК) за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП), розробленого і виготовленого безпосередньо авторами [4].

Адекватність моделі підтверджено зіставленням розрахункових і вимірюваних тисків, розбіжність між якими не перевищила 15 %.

Реалізація моделі дала можливість оцінити вплив розмірів БВА і властивостей оброблюваних сумішей, що враховуються показниками КК, як на рівень максимального тиску під валком, так і на величину зусилля притискання, необхідну для забезпечення заданого максимального тиску. На рис. 5 наведено результати моделювання: при різних зусиллях притискання валка (рис. 5а); сумішей з різними властивостями (рис. 5б); при різних діаметрах валка (рис. 5в) і висоті шару суміші (рис. 5г).

Результати моделювання свідчать про те, що нарощування товщини шару і співвідношення радіусів валка і барабана зменшують рівень максимального тиску в шарі, а зміна властивостей суміші в процесі переробки – нарощує зазначений рівень.

Висновки. *Запропонована модель дозволяє:*

– визначати зусилля притискання валка, необхідне для забезпечення потрібного максимального тиску в шарі оброблюваного матеріалу;

– оцінювати максимальний тиск у шарі під валком у залежності від зусилля притиснення валка і характеристик КК (рис. 5. а, б);

– вибирати раціональні розміри і силові характеристики БВА.

Звичайно зусилля притиснення валка характеризують силою, що припадає на одиницю ширини (Н/м) – так називаним погонним зусиллям. Однак цей показник не враховує радіуса валка. Можна використовувати показник ***умовного*** середнього тиску $q_{ум}$ валка на шар, що враховує і ширину валка B і його радіус r:

$$q_{ум} = \frac{P_{\Sigma}}{B \cdot r} \ .$$

Але цей показник, який легко визначити, не дає уявлення про максимальний тиск q_{max} під валком. У процесі досліджень звернув на себе увагу той факт, що відношення зазначеного ***умовного*** середнього тиску $q_{ум}$ до максимального змінюється в порівняно вузькому діапазоні

$$k_q = \frac{q_{ум}}{q_{\max}} = 0{,}2 - 0{,}3.$$

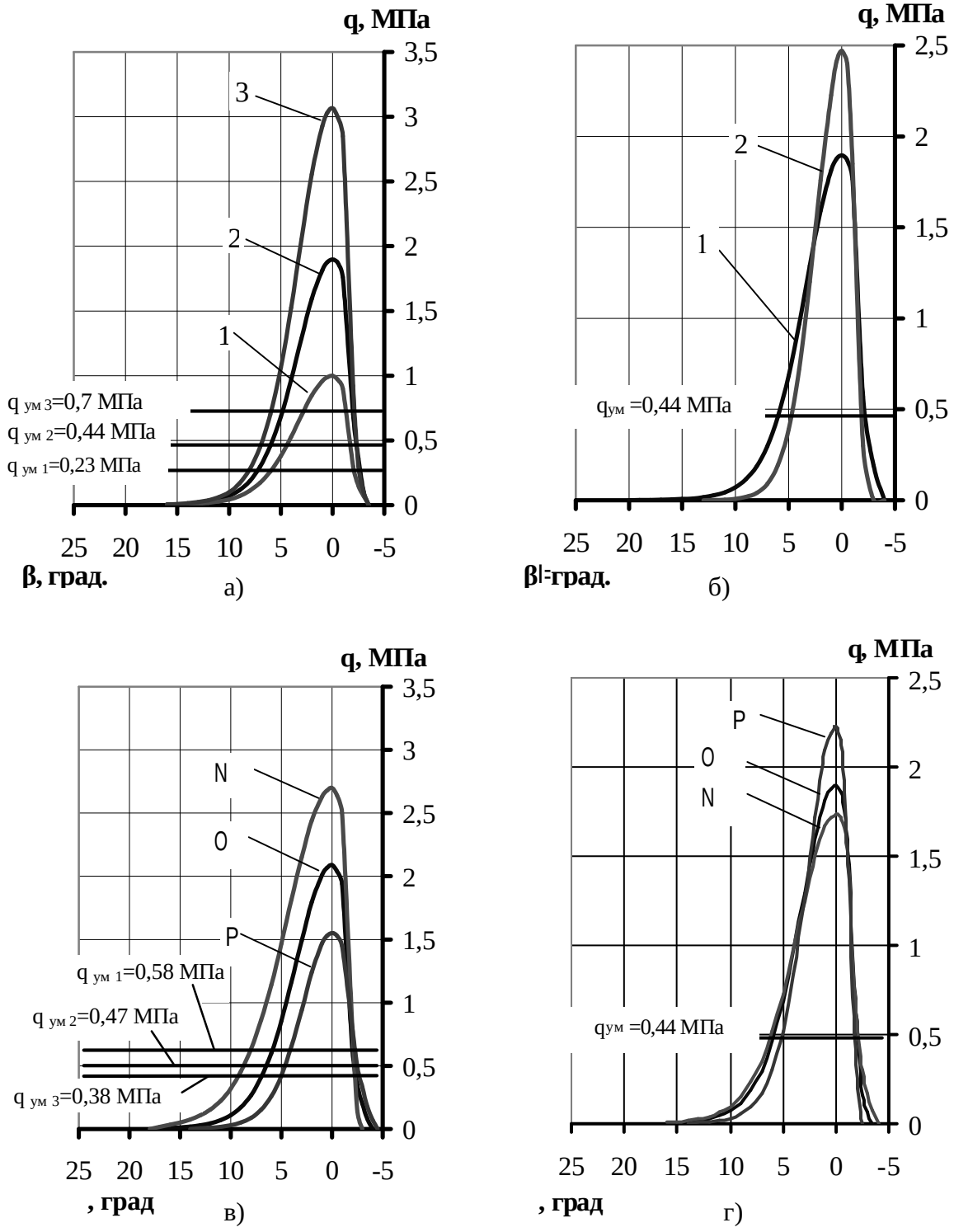

Рис. 5. Реалізація моделі розподілу тиску під валком БВА.
а) при різних зусиллях притиснення валка (1, 2, 3 – відповідно 3; 6,5; 10 кН);
б) на початку (1) і наприкінці (2) активації, при зусиллі притиснення валка 6,5кН;
в) при різних радіусах валка (1, 2, 3 – відповідно 115, 140 і 165 мм.) Радіус барабана прийнято 280 мм для всіх трьох варіантів, співвідношення товщини шару і радіуса валка прийнято постійним, який дорівнює 0,1); г) при різній товщині шару суміші під валком (1, 2, 3 – відповідно 18, 15 і 10 мм).

Варто акцентувати увагу на тому, що, як свідчать результати експериментів, саме величина максимального тиску q_{max} визначає ефективність процесу активації. Необхідний рівень максимального тиску може бути визначений для кожної запланованої до використання суміші вимірами на лабораторному обладнанні. Наприклад, для ефективної активації доменного гранульованого шлаку рівень максимального тиску q_{max} повинен бути в межах 1 ÷ 3 МПа. На підставі таких вимірів можна обчислити необхідне зусилля притиснення валка з заданими розмірами або застосуванням запропонованої математичної моделі, або орієнтовно, без моделювання, по спрощеній залежності:

$$P_{\Sigma} = q_{\max} \cdot B \cdot r \cdot k_q .$$

Таким чином, на базі моделі запропонована методика розрахунку необхідного зусилля притиснення валка по заданому максимальному тиску.

Список літератури: 1. *Ковтун И.П.* Активизированные растворы, бетоны и изделия из доменных шлаков. Под ред. *М.Я. Латаша*. К., Госстройиздат УССР, 1962.–326с. **2.** *Болотских Н.С., Федоров Г.Д., Савченко А.Г., Крот А.Ю., Волков В.И.* Производство кирпича из шлака с использованием барабанно-валкового активатора // Строительные материалы и изделия. Всеукраинский научно-технический и производственный журнал. №4, 2001. **3.** Пат. № 51794 UA, B02C 15/06, B28C 1/10. Барабанно-валковый активатор: *Болотських М.С., Федоров Г.Д., Савченко О.Г., Крот О.Ю., Волков В.І.* - №2000010381; Заявл. 24.01.2000; Опубл. 16.12.2002:–6 с. **4.** *Крот О.Ю., Савченко О.Г., Праведніков В.І., Тимощенко А.М., Супряга Д.В.* Вимірювальна система для визначення тиску прокатування матеріалу під валком з застосуванням аналого-цифрового перетворювача // Науковий вісник будівництва. – Харків. ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2003. – Вип. №24. – С. 168 – 175.

Надійшла до редколегії 03.10.06