

УДК 666.952.2

**ЗОЛА-ВИНОС ЯК ВАЖЛИВИЙ СИРОВИННИЙ РЕСУРС ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА  
НІЗДРЮВАТИХ БЕТОНІВ**

В. Р. Сердюк, Б. І. Августович

**ЗОЛА-ВЫНОС КАК ВАЖНЫЙ СЫРЬЕВОЙ РЕСУРС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ**

В. Р. Сердюк, Б. И. Августович

**FLY ASH TAKEAWAYS HOW IMPORTANT RAW RESOURCES  
TO PRODUCE CELLULAR CONCRETE**

V. Serduk, B. Avgustovich

*Наведено результати статистичних досліджень використання техногенних відходів промисловості в контексті виробництва енергоефективних ніздрюватих бетонів. Розглянуто підходи до вирішення проблем утилізації техногенних відходів ТЕС. Вивчено доцільність використання стінових матеріалів з ніздрюватих бетонів як таких, що не потребують додаткового утеплення. Обґрунтована економічна ефективність використання золи-виносу в технології виробництва енергоефективних ніздрюватих бетонів. Проведений порівняльний аналіз виробництва ніздрюватих бетонів в Україні та пострадянських країнах. Встановлено вплив фізико-хімічного складу золи як в'язучого при виробництві ніздрюватих бетонів. Наведено основні характеристики сучасного газозолобетону.*

**Ключові слова:** статистичні дослідження, техногенні відходи, виробництво бетонів, ніздрюватий бетон, енергоефективна технологія, стіновий матеріал, зола-винос, газозолобетон.

*Приведены результаты статистических исследований использования техногенных отходов промышленности в контексте производства энергоэффективных ячеистых бетонов. Рассмотрены подходы к решению проблем утилизации техногенных отходов ТЭС. Изучена целесообразность использования стеновых материалов из ячеистых бетонов как таковых, которые не требуют дополнительного утепления. Обоснована экономическая эффективность использования золы-выноса в технологии производства энергоэффективных ячеистых бетонов. Проведенный сравнительный анализ производства ячеистых бетонов в Украине и постсоветских странах. Установлено влияние физико-химического состава золы в качестве вяжущего при производстве ячеистых бетонов. Приведены основные характеристики современного газозолобетона.*

**Ключевые слова:** статистические исследования, техногенные отходы, производство бетонов, ячеистый бетон, энергоэффективная технология, стеновой материал, зола-вынос, газозолобетон.

*The results of statistical studies using man-made waste industry in the context of the production of energy efficient cellular concrete. The approaches to solving the problems of man-made waste disposal TPP. Studied the feasibility of using wall materials with cellular concrete as those that do not require additional insulation. The economic efficiency of fly ash removal in technology of energy efficient cellular concrete. A comparative analysis of the production of cellular concrete in Ukraine and former Soviet countries. The influence of physical and chemical composition of fly ash as a binder in the production of cellular concrete. The basic characteristics of modern gas-ash-concrete.*

**Keywords:** statistical studies, industrial waste, production of concrete, porous concrete, energy efficient technology, wall material, ash-removal, gas-ash-concrete.

**Вступ.** Будівництво неможливе без створення нових ефективних будівельних матеріалів з використанням техногенних відходів промисловості, малоенергоємних і екологічно чистих

виробництв. Частка сировини в собівартості продукції промисловості будівельних матеріалів досягає 50 % і більше. Зниження витрат на виробництво матеріалів пов'язано з широким залученням відходів інших галузей промисловості, що дозволяє досягти істотної економії природної сировини та поліпшити екологічну обстановку в регіонах накопичення техногенних відходів.

Використання промислових відходів, багато з яких за своїм складом і властивостями близькі до природного сировини, дозволяє покрити до 40 % потреби будівництва в сировинних ресурсах, на 10-30 % зменшити витрати на виготовлення будівельних матеріалів порівняно з їх виробництвом з природної сировини.

За показниками відносних обсягів будівництва житла на одну особу в рік Україна в 3-4 рази відстає від Білорусії, Росії, Казахстану і 8-10 раз від розвинених країн [1]. Зростання обсягів будівництва житла та питомої ваги малоповерхового індивідуального житла потребує відповідного зростання обсягів виробництва стінових будівельних матеріалів. В розвинених країнах питома вага ніздрюватих бетонів в загальному обсязі стінових матеріалів перевищує 50 % (Німеччина, Франція, Швеція, Фінляндія), таких же показників досягли і постсоціалістичні Польща, Білорусія і Естонія [2], а Білорусія планує в 2015 році вийти на рівень 95 %.

У зв'язку з суттєвим підвищенням вимог до термічного опору огорожуючих конструкцій єдиним стіновим матеріалом, який не потребує додаткового утеплення стін, є ніздрюватий бетон. З 1 липня 2013 року в Україні введені в дію Зміни до ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель» в яких передбачено зміна карти-схеми температурних зон України та підвищено мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будинків. Вирішення проблеми енергозбереження за рахунок розвитку виробництва і використання ніздрюватого бетону, як ефективного конструкційно-теплоізоляційного матеріалу є важливою проблемою не тільки для України, але і багатих на енергоносії Росії і Казахстану.

Залучення техногенних відходів промисловості в технологію виробництва будівельних матеріалів, і насамперед ніздрюватого бетону, забезпечує одночасно економію сировинних і енергетичних ресурсів на стадії виробництва матеріалів, покращує екологічний стан довкілля, забезпечує економію енергетичних ресурсів на стадії утримання та експлуатації будинків. Доречно зауважити, що на утримання житлового фонду в Україні витрачається 30-40 % всіх енергоносіїв, які споживаються в країні.

Зменшення обсягів використання природного газу в Україні неминуче приведе до зростання обсягів використання кам'яного вугілля. Саме тому особливо важлива роль відводиться використанню золи-виносу, та золошлакових відходів, які утворюються при спалюванні вугілля в технології виробництва будівельних матеріалів.

**Задачі досліджень.** Оцінювання сучасних підходів до зростання обсягів використання золи-виносу в технології виробництва ніздрюватих бетонів.

**Вирішення науково-дослідних завдань.** В наш час у всьому світі вугільна енергетика розвивається бурхливими темпами, набагато випереджаючи нафтову, газову і тим більше атомну. На вугільних теплових електричних станціях (ТЕС) в світі виробляється близько 40 % загального обсягу електроенергії, в США, Німеччині та деяких інших країнах - близько 70 %, в Китаї, Індії – більше 70 %, Австралії – понад 70 %.

Рівень утилізації золи в пострадянських країнах становив 4-5 %, в розвинених країнах – більше 50 %, у Франції, Німеччині – 70 %, в Фінляндії – біля 90 % їх текучого виходу. В основному використовуються сухі золи, розвинені країни на державному рівні стимулювали їх використання. Так в Польщі підвищена ціна під золовідвали, тому ТЕС доплачують споживачам золи з метою зменшення затрат на їх складування та упримання. В Китаї золи доставляються споживачам безкоштовно, в Болгарії сама зола безкоштовна, в Великобританії діє п'ять регіональних центрів із збуту золи [3].

Застосування золи і шлаку ТЕС в якості сировини для виробництва будівельних матеріалів давно отримало наукове обґрунтування та практичне підтверджується. Ще в часи існування СРСР були визначені раціональні області використання золи і шлаку ТЕС, розроблені прогресивні технологічні прийоми і процеси виробництва будівельних матеріалів з використанням золи-виносу і шлаку, розроблені нормативні документи, технологічні регламенти (рис. 1).

Дослідженням золошлакових відходів в технології виробництва ніздрюватих бетонів в 60-

70 роки займались радянські науковці Волженський А. В., Боженів П. І., Баранов А.Т., Розенфельд А. А., Галібіна О. А. та інші. Дослідження [4-9] показали високу ефективність використання зол.

Зола-винос це незгораючий залишок із зернами менше 0,16 мм, який утворюється з мінеральної складової кам'яного вугілля при його спалюванні і осаджується з димових газів на фільтрах зололовушках теплових станцій. В залежності від виду палива зола може бути кам'яновугільною, антрацитовою, буровугільною, сланцевою та інш. Відповідно до узагальнених даних оптимальний вміст золи ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), становить для бетону, що пропарується, близько 150 кг, бетонів нормального твердження – 100 кг. Згідно з відомими рекомендаціями застосування 150 кг золи-виносу на  $1 \text{ м}^3$  важкого бетону класів В7,5-В30 дозволяє заощадити 40-80 кг цементу, при тепловій обробці можна економити до 25 % цементу.

В районах, де відчувається дефіцит в природних заповнювачах для важкого бетону, важливим напрямком є використання золошлакової суміші замість крупного і дрібного заповнювача. На переважній більшості теплових електричних станцій України передбачено мокре видалення золи-виносу і золошлаків у відвали.

Дослідження, які проводились тривалий час у ВНТУ, щодо використання золошлаків Ладизинської ТЕС в технології будівельних матеріалів висвітлили ряд «скритих» проблем, пов'язаних саме з видаленням цих відходів. Довжина гідротранспортування золошлакової суміші становить 10 км і більше, а використана вода має повертатись для повторного використання, але це потребує додаткових затрат.

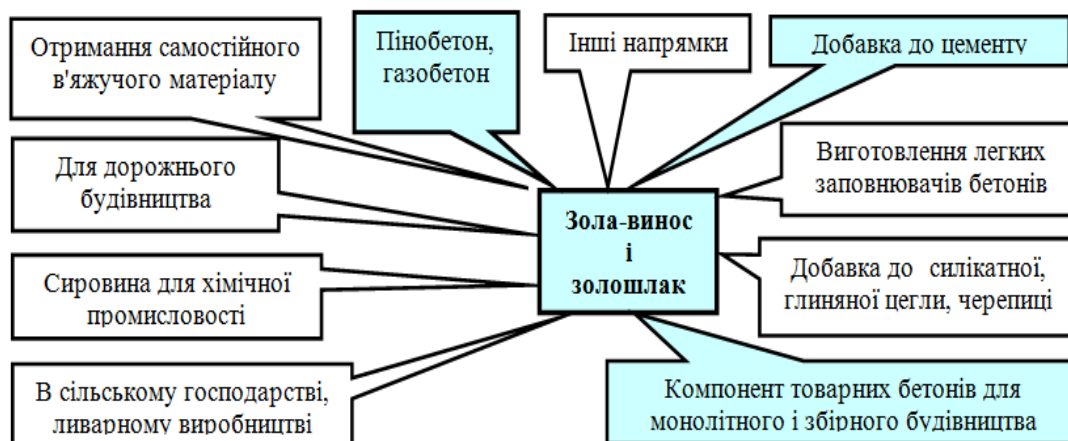


Рис. 1. Напрямки використання золи-виносу і золошлакових відходів

При транспортуванні золошлакова суміш виконую функцію абразиву, що приводить до «протирання» металевих труб і підтоплення сільськогосподарських угідь. Виникає необхідність періодичного повертання окремих ділянок трубопроводу для забезпечення рівномірного їх «протирання». Крім того, дослідження показали, що розробка екскаватором золошлакових відходів з відвалу Ладизинської ТЕС та їх погрузка в транспортні засоби для наступного їх використання на заводах бетонних виробів свідчить про значне розшарування цієї суміші при її складуванні. Золошлакові суміші із золовідвалу характеризуються мінливою гранулометриєю та потребують корекції.

Золошлакова суміш для важкого і легкого бетонів має відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-211:2009. «Будівельні матеріали. Суміші золошлакові теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови». З набранням чинності ДСТУ, втратив чинність на території України ГОСТ 25592-91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия».

Найбільше поширення отримала суха зола-винос, яка відпускається споживачам для використання як добавка до цементу, керамзиту, глиняної та силікатної цегли, та інших цілей. Вимоги до золи як компонента цементу наведені в ДСТУ Б В.2.7-128:2006 і зводяться в основному до обмежень щодо втрат при прожарюванні (<5 %) та за вмістом вільного  $\text{CaO}$  (<2,5 %) і лужних оксидів (<3%).

На сьогодні в Україні набуло неконтрольованих масштабів використання золи-виносу при таруванні цементу, що наносить шкоду споживачу і виробникам цементу. За даними Української

асоціації підприємств і організацій цементної промисловості «Укрцемент» продажі фальсифікованого цементу становлять близько 26 %, Мінрегіонбуд називає цифру 10-15 %, окремі експерти озвучують цифру фальсифікату цементу до 50 % від загального об'єму його продажу. Посередницькі фірми закупають пакетувальне обладнання та цемент за оптовими цінами, пакують його в зручні 25 кг мішки та продають в найзручніших для забудовника місцях. При цьому вартість такого цементу зростає майже в 2 рази. З мовчазної згоди Мінрегіонбуду не створено жодних дієвих механізмів захисту споживача українського цементу від фальсифіката.

Основним споживачем цементу є малі фірми та індивідуальні забудовники, для яких існує складність оцінювання марочності цементу. При фасуванні цементу до його складу вводяться неконтрольовані та не перевірені в лабораторних умовах добавки золи, мінеральних порошоків для виробництва асфальтобетону, старого коткованого і заново розмеленого цементу.

Пріоритетним перспективним напрямком для промисловості будівельних матеріалів України є залучення у виробництво газобетону золи-виносу, обсяги якої будуть і далі зростати у зв'язку зі скороченням експорту природного газу та збільшенням питомої ваги вугілля в енергетичному секторі.

### Ніздрюваті золобетони

Обсяги виробництва ніздрюватих бетонів будуть все більше зростати, адже з підвищенням вимог до термічного опору огорожуючих конструкцій стін цей бетон на сьогодні залишається єдиним будівельним матеріалом з якого можуть бути виготовлені одношарові стіни, які не потребують додаткового утеплення.

Аморфні продукти термічної обробки зольної частинки, як правило, не мають гідравлічної активності. Продукти термічної обробки кристалічних алюмосилікатів, дегідратованої глинистої речовини типу метаколіну, зберігаючи часткову упорядкованість кристалічної решітки, аморфних  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , алюмосилікатного скла забезпечують високу пуцоланову активність при наявності добавок цементу, вапна. Густина золи – виносу від спалювання різних видів палива коливається в межах від 1800 до 2400  $\text{кг}/\text{м}^3$ , середня густина частинок в різних пробах коливається – від 2140 до 2200  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; середня пористість золи складає 4,8-7,4 %; насипна густина від 600 до 1100  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Висококальцієві (високоосновні) золи Прибалтійських, Приволзьких сланців і золи Кансько-Ачинського бурого вугілля мають самостійні в'язучі властивості через присутність в їх складі по суті клінкерних мінералів,  $\text{CaO}$ , гіпсу, і можуть використовуватися як заміна частини цементу в піно- та газобетоні.

При спалюванні низькокалорійних горючих сланців (Естонія) утворюється велика кількість високоосновних зол. В високоосновній золі міститься не менше 30 %  $\text{CaO}$  (в тому числі вільного  $\text{CaO}$  15-25 %), що дає змогу використовувати цю золу як в'язуче при виробництві ніздрюватих бетонів автоклавного тверднення. Протягом доби утилізується біля 120 тонн золи. Підприємство «Silbet» випускає до 60 тис. куб. м дрібних стінових блоків зі сланцево-золяного ніздрюватого бетону, в якому міститься сланцева зола домелена з кварцевим піском і кварцевий пісок [10].

Наявність у складі золи силікатів і алюмінатів кальцію і вільних оксидів кремнезему і глинозему з високим ступенем дефектності кристалічної решітки, обумовлюють активність золи, тобто здатність при затворенні водою взаємодіяти з гідроксидом кальцію з утворенням гідросилікатів, гідроалюмінатів і гідросилікатоалюмінатів кальцію різного складу. Особливо різко зростає активність золи при тепловологісній обробці. Переваги використання золи-виносу в технології виробництва ніздрюватих бетонів наведені на рис. 2.

Автоклавний і неавтоклавний газобетон на відходах виробництва, безцементний або малоцементний (не більше 100  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) може конкурувати з таким ефективним теплоізоляційним матеріалом, як мінеральна вата, є значно ефективнішим матеріалом для малоповерхового та каркасного будівництва житла ніж цегла. Його густина становить від 200 до 1200  $\text{кг}/\text{м}^3$ , а максимальна міцність перевищує 20 МПа.

Статистичні дані свідчать, що в Росії обсяги виробництва автоклавного і безавтоклавного газобетону приблизно однакові. Проте в останні роки в Росії, як і в Україні, побудовані нові заводи із виробництва автоклавного газобетону на імпортному обладнанні. Основні характеристики сучасного газозолобетону наведені в табл. 1.



Рис. 2. Основні позитивні фактори використання золи-виносу в технології виробництва ніздрюватих бетонів

Таблиця 1

**Основні характеристики сучасного газозобетону**

Показник	Густина, кг/м <sup>3</sup>		
	400	500	600
Клас міцності	B2,5	B3,5	B5,0
Марка морозостійкості	>F50	F100	F100
Теплопровідність, Вт/м <sup>0</sup> ·С	0,08	0,1	0,13
Усадка при висиханні, мм/м	0,59	0,56	0,57
Паропроникність, мг/(м·г·Па)	0,25	0,2	0,18

Номенклатура газобетонних виробів автоклавного тверднення достатньо широка. Це і елементи теплоізоляції, великі і малі стінові блоки, панелі, плити покриттів і перекриттів. В принципі можливий ще один вид номенклатури – найбільш повнозбірні індивідуальні будинки [11]. Економія цементу при виробництві ніздрюватих бетонів автоклавного і неавтоклавного ніздрюватого бетону досягається введенням золи-виносу замість частини цементу, або використання вапняно-зольних або золотужних в'язучих, а також шлакових в'язучих композицій, для одержання яких використовуються побічні продукти металургійної та хімічної промисловості [13-17].

На сьогодні наукові дослідження зосереджені на підвищенні значення коефіцієнта конструктивної якості ніздрюватого бетону та зменшення його щільності до 100-200 кг/м<sup>3</sup> і заміни ним пінополістиролу при утепленні фасадів через горючість пінополістиролу. Для цього використовуються хімічні і мінеральні добавки, різноманітні методи механічної, хімічної активації компонентів ніздрюватого бетону, вібраційна та ударна технології формування газобетонної суміші [18-20].

Крім того, вдосконалюються технології спалювання вугілля. В останні роки для покращення екології в розвинених країнах використовуються «чисті» технології спалювання вугілля і найбільш перспективним є флюїдальне спалювання палива. Технологія горіння тонкоподрібненого вугілля разом з вапняком, діючим як асорбент діоксину сірки, проходить при температурі 850 °С. Діоксид сірки в процесі горіння реагує з введеним сорбентом і в додатковій очистці газу не виникає проблеми. Впровадження таких технологій спалювання дозволяє додатково отримати і мінеральне в'язуче. За запасами вугілля Україна займає 6 місце в світі і їх вистачить приблизно на 400 років.

На кінець 2012 року виробництво ніздрюватого бетону на 1 тис. жителів України зросло до 45-50 м<sup>3</sup>, Росії – до 100 (50 м<sup>3</sup> автоклавного і 50 м<sup>3</sup> неавтоклавного), Білорусі – 300 м<sup>3</sup>, в європейських країнах виробляється 200 м<sup>3</sup> і більше. Найбільшим європейським виробником ніздрюватих бетонів є Польща, яка виробляє щорічно 4,3-5 млн. м<sup>3</sup> автоклавного газобетону, але маючи 31 завод загальною потужністю 7,0 млн. м<sup>3</sup>, може швидко відреагувати на потреби внутрішнього і зовнішнього ринків. Досить тривалий час вона залишалась основним експортером газобетону в Росію і Україну.

### Висновки

- зола-винос є важливим сировинним компонентом для виробництва енергоефективних ніздрюватих бетонів. Сучасні тенденції розвитку електроенергетики України та світові тенденції країн Європейського Союзу щодо обмеження використання атомної енергетики приведуть до зростання обсягів золошлакових відходів;
- залучення техногенних відходів ТЕС в технологію виробництва ніздрюватого бетону, забезпечує одночасно економію сировинних і енергетичних ресурсів на стадії виробництва матеріалів, покращує екологічний стан довкілля, забезпечує економію енергетичних ресурсів на стадії утримання та експлуатації будинків;
- ніздрюваті бетони різної щільності дозволяють одержати оптимальну за теплопором і ціною, довговічну та безпечну конструкцію стіни. Зростання виробництва ніздрюватих бетонів дозволить наблизити відносні обсяги будівництва житла до європейських стандартів та скороти енергоспоживання житловим фондом.

### Використана література

1. Рудченко Д. Г. Строительство жилья в Украине в контексте увеличения производства ячеистого бетона / Д. Г. Рудченко // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. Наук.техн. збірник . Випуск 41. – 2011. – С. 46-54.
2. Кухленко О. В. Промисловість будівельних матеріалів як складова проблеми доступності житла / О. В. Кухленко, Ю. М. Червяков // Строительные материалы и изделия. № 5-6. – 2009. – С. 4-7.
3. Путилин Е. И. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ЕЭС / Е. И. Путилин, В. С. Цветков // СоюзДорНИИ. М. – 2003. – 60 с.
4. Баранов А. Т. Золобетон / А. Т. Баранов, Г. А. Бужевич – М.: 1960. – 224 с.
5. Волженский А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А. В. Волженский, И. А. Иванов, А. А. Виноградов – М.: Стройиздат. 1984. – 256 с.
6. Розенфельд Л. М. Автоклавный безцементный газшлакобетон / Л. М. Розенфельд, А. Г. Нейман – М.: изд. Лит-ры по стр-ву. – 1968. – 186 с.
7. Галибина Е. А. Автоклавные строительные материалы из побочных отходов ТЭЦ / Е. А. Галибина – Л.: Стройиздат. 1986. – 128 с.
8. Голдштейн Л. Я. Использование топливных зол и шлаков при производстве цемента / Л. Я. Голдштейн, Н. П. Штейерт – Л.: Стройиздат, 1977. – 152 с.
9. Сергеев А. М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности / А. М. Сергеев. – К.: Будівельник. 1984. – 120 с.
10. Производство сланцезольного газобетона а АО «Силбет» / Н. Я. Киселева // Строительные материалы и изделия. – 2004. – № 5. – С. 28-31.
11. Сай В. Розвиток виробництва ніздрюватобетонних виробів – складова енергетичної незалежності держави / В. І. Сай // Будівельні матеріали та вироби. – 2006. – № 4. – С. 12 .
12. Опекунов В. В. Эффективное применение пористых бетонов / В. В. Опекунов // Строительные материалы. – 2005. – № 12. – С. 13-16.
13. Вишневский А. А. Специфика производства и применения автоклавного газобетона на кислой золе-уносе / А. А. Вишневский, В. Н. Левченко // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. Наук.техн. збірник . Випуск 32. – 2009. – С. 12-16.
14. Вишневский А. А. Эксплуатационные свойства современного автоклавного газозолобетона. Сб. тр. II Всероссийской НТК «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование

- ограждающих конструкций зданий. 10.11.2009. Санкт-Петербург. – С.19-25.
15. Дворкин Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие / Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 363 с.
16. Овчаренко Г. И. Анализ продуктов гидратации зол углей КАТЭКа методами ДТА и ДСК / Г. И. Овчаренко, Ю. В. Щукина, Е. Ю. Хижинкова // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2. – С. 210-212.
17. Панибратов Ю. П. К вопросу применения зол ТЭС в бетонах / Ю. П. Панибратов, В. Д. Староверов // Технологии бетонов. 2011. № 1-2. – С. 43-47.
18. Запоточна-Сытэк Геновефа, Ласкавец К., Гембаровски П., Малолепши Я. Нестандартная летучая зола, применяемая для производства автоклавного ячеистого бетона. Наук.техн. збірник. Випуск 32. – 2009 р. – С. 40-49.
19. Сердюк В. Р. Пінобетон з хімічно активованою золою-винос / В. Р. Сердюк, П. С. Боднар // Вісник ВПІ. – 2005. – № 4. – С. 9-12.
20. Кривенко П. В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков: [Монография] / Кривенко П. В., Пушкарева Е. К, Гоц В. И., Ковальчук Г. Ю. – Киев: издательство ООО «ИПК Экспресс-Полиграф», 2012. – 258 с.

**Сердюк Василь Романович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри менеджменту будівництва та цивільної оборони Вінницького національного технічного університету.

**Августович Богдан Іванович** – аспірант кафедри Менеджменту будівництва та цивільної оборони Вінницького національного технічного університету

**Сердюк Василь Романович** – д.т.н., професор, заведуючий кафедрой менеджмента строительства и гражданской обороны Винницкого национального технического университета.

**Августович Богдан Іванович** – аспирант кафедры менеджмента строительства и гражданской обороны Винницкого национального технического университета

**Serduk Vasil** – Professor, Head of Department of Construction Management and Civil Defence Vinnytsia National Technical University.

**Avgustovich Bogdan** – PhD student of the Department of Construction Management and Civil Defence Vinnytsia National Technical University