

**ГАРНЕЦЬ Володимир Миколайович, кандидат технічних наук, професор**

Народився 11 листопада 1941 р.

Закінчив Київський інженерно-будівельний інститут в 1970 р. Працював на проектно-конструкторській роботі. З 1971 р. працює викладачем в КНУБА, професор кафедри "Основ професійного навчання"

*Основні напрямки наукової діяльності:* безвібраційні бетоноформуючі агрегати для безперервного формування будівельних виробів

## **ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО ФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Технологічні процеси формування залізобетонних виробів є найбільш трудомістким, металоємким і такими, що складно піддаються автоматизації. В цій області, особливо в технології формування плит перекриття і покриття, ригельних балок, паль і т.п., фактори підвищення ефективності виробництва в значній мірі використані. В Україні використовується практично на всіх підприємствах будівельної індустрії морально застаріле обладнання, експлуатація якого створює соціально-непривабливі умови для праці. Тому задачі удосконалення і інтенсифікації виробництва повинні вирішуватись на основі докорінних змін в технології виробництва залізобетону.

Цікавими з цієї точки зору є нові технологічні принципи, закладені цілою низкою ведучих закордонних фірм Канади, США, Великобританії, ФРН, Фінляндії, Данії і ін. Вже понад 35-40 років тому за кордоном широке розповсюдження отримав метод безперервного формування на довгих (100-200 м) стендах, для реалізації якого запропоновано бетоноформуючі агрегати (БФА) [1,2,3], які забезпечують поетапно процеси розкладки, ущільнення і формоутворення суміші. Особливістю цих агрегатів є те, що при безперервному формуванні окремі зони, де здійснюються ці процеси, безперервно переміщуються разом з робочими органами агрегату відносно основи, на якій залишається бетонний виріб постійного перерізу. Таким чином силовий і вібраційний вплив на бетонну суміш здійснюється в обмеженому рухомому просторі.

Технологія безперервного формування застосовується для широкого спектру виробів промислового, цивільного і житлового будівництва таких як суцільні плити, плити з круглими і фігурними отворами, таврові балки, ребристі плити, ригельні балки і ін. Випуск бетоноформуючих агрегатів здійснюють фірми "Spirol Corp." "Vinnipeg" (Канада), "Dynaspan" (США), "Holodec" (США), "Tennessee Aircraft" (США) "Dodd", "Spancrete" (США), "Dina Follum" (Норвегія), "Elematik" (Фінляндія), "Roht" (ФРН), Allcons (ФРН), Dansk-Spaebeton (Данія) і ін.

Технологічний і конструктивний аналіз роботи цих агрегатів показує, що вплив на бетонну суміш здійснюється за рахунок поверхневої або внутрішньої вібрації (в т.ч. поверхневе вібротрамбування), статичної силової дії або екструзії. В основу дії агрегатів покладено ті чи інші комбінації перерахованих силових факторів на різних етапах обробки бетонної суміші, але завжди з використанням вібраційної дії. Разом з тим відомо, що для наджорстких дрібнозернистих сумішей ефективним є використання без вібраційних



методів ущільнення за допомогою роликів робочих органів. Досвід використання цього методу в НДІЗБ (м. Москва), Київського університету будівництва і архітектури на протязі 1980-2000 років, дозволив створити на основі технології безвібраційного формування нові конструктивні рішення бетоноформуючих агрегатів [4,5,6,7,8], які пройшли випробування на підприємствах будіндустрії Києва, Москви, Рязані, Черкас і ін. В напрямку безвібраційного формування проводились розробки також фірмою "Londa Parma Engineering" (Фінляндія). Тобто сучасний світовий досвід створення бетоноформуючих агрегатів дозволяє стверджувати, що для забезпечення їх роботи ефективним є використання комбінованої дії на суміш статичних і динамічних сил. При цьому механізми агрегатів в певній послідовності оброблюють суміш як з середини, так і з поверхні. Природно, що в умовах ринкових відносин ніяких повідомлень щодо конструктивних особливостей БФА і методики розрахунку їх параметрів не публікується. Функціонально-структурна побудова бетоноформуючих агрегатів узгоджується з виконанням необхідних операцій на певному етапі обробки суміші (Рис.1)

Виходячи з аналізу всієї множини конструктивних рішень БФА всі операції – взаємодії можливо звести до трьох переважних [1,2,10,11] :

- вібраційна обробка суміші в бункері, розподілення її по ширині і укладання в форму;
- ущільнення суміші - об'ємне або пошарове; вібраційне або безвібраційне;
- заглажування поверхні виробу і стабілізація, стану суміші.

Природно, що в подібних складних системах задача моделювання не може зводитись до однієї з операцій, оскільки характер взаємодії і стан середовища при виконанні різних операцій суттєво різні. Для визначення реальної картини взаємодії на різних етапах їх слід роздивляти окремо, забезпечуючи їх стиковку ("сшивання") по показникам продуктивності. Тобто, для стійкої роботи агрегату необхідно витримувати баланс продуктивності окремих механізмів що визначає і продуктивність агрегату в цілому:

$$P_1 \equiv P_2 \equiv P_3 \equiv \dots \equiv P_{БФА} \quad (1)$$

В зв'язку з цим моделювання проводиться на базі загального енергетичного принципу [11,12,13] суть якого полягає в отриманні максимальної продуктивності кожної з операцій при мінімізації енергетичних витрат. Реалізація принципу здійснюється шляхом введення в умови рівності необхідної і виконаної роботи енергопоглинаючих властивостей суміші відповідно до етапу обробки. Для кожної операції повинно виконуватись оптимальне рівняння необхідної і виконаної робіт

$$\int_0^m \left( W_i \frac{m_i}{V} \right) dV_i = \int_0^t k_i P_i dt_i \quad (2)$$

де  $W_i$  - енергопоглинаючі властивості середовища при використанні  $i$ -ої операції;  $m_i$  і  $V_i$  - відповідно, маса і об'єм суміші в зоні обробки;  $k_i$  - коефіцієнт корисної дії  $i$ -го механізму під час передачі енергії від механізму до суміші;  $t_i$  - час виконання  $i$ -ої операції;  $P_i$  - необхідна потужність  $i$ -го робочого органу;

По мірі проходження різних етапів обробки величина енергопоглинання знижується за рахунок переходу кількості накопичених сумішшю деформацій в її новий якісний стан:

$$\left( W_i \frac{m_i}{V_i} \right) dV_i = m_i dW \quad (3)$$

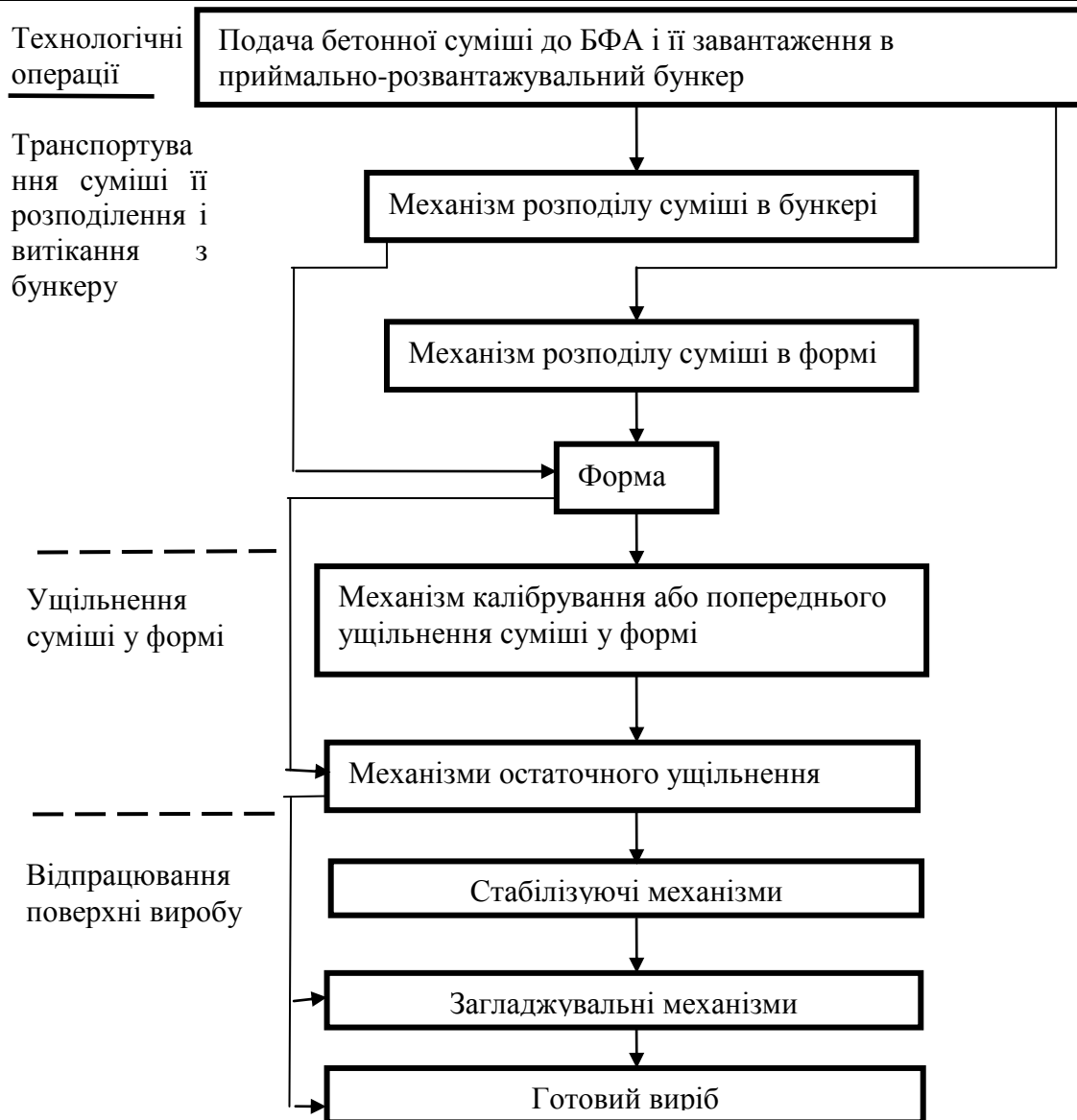


Рис.1. Функціонально-структурна схема компонування бетоноформуючих агрегатів і послідовність відповідних операцій

Умови (2) і (3) по суті показують нерозривний зв'язок між величинами, які характеризують параметри машини, суміші і режимом протікання процесу, являючись аналітичною моделлю передачі енергії від джерела до оброблюваного середовища. Для основних операцій процесу формування отримані аналітичні залежності, які дозволяють оцінити необхідні витрати енергії.

На етапі витікання суміші з бункеру при коливанні однієї його стінки енергопоглинання суміші -  $\varepsilon_0$  визначається витратами на зміну кінетичної енергії центра мас елементарного шару  $dx$  на елементарному переміщенні, його деформацію і на подолання сил тертя [12, 14]:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{2HT_0} \int_0^H \int_0^{T_0} V_x^2(x_1t) dx dt + \frac{\bar{n}}{H} \int_0^H dx \int_0^{T_0} \frac{\sigma_x(x_1t)}{\rho(x)} \left[ \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} V_x + \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right] dt + \bar{f}_1 m_0 [\varepsilon_{01}] \quad (4)$$

де:  $H$  - висота бункеру ;  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega}$  - кутова частота коливань ;  $V$  - швидкість руху суміші ;  $\sigma_i$  і  $\varepsilon$  - відповідно напруження і відносна деформація шару суміші під дією коливань,



$\bar{n} = \frac{T_{np}}{T_0}$ ; - час проходження суміші;  $\bar{f}_1$  - середнє значення співвідношення сил тяжіння і

суми усіх зовнішніх і внутрішніх сил, які діють на шар суміші;  $m_0$  - маса елементарного шару,  $[\varepsilon_{01}]$  - питоме енергопоглинання суміші.

Визначення складових енергопоглинання дозволяє розрахувати потужність для операцій спонукання суміші до витікання і оцінювати раціональність конструкції бункерного механізму по величині питомої енергії, що поглинається на одиницю маси суміші в процесі її витікання.

Енергопоглинання на етапі ущільнення суміші слід аналізувати розділяючи, перш за все, методи ущільнення (вібраційний або безвібраційний) і стадії ущільнення (попереднє або остаточне в сталому режимі). З точки зору навантажень, діючих на механізми агрегату, найбільш цікавим є сталий режим ущільнення як при вібраційному так і безвібраційному процесах. Для випадку вібраційного ущільнення в сталому режимі рішення хвильового рівняння коливань згідно методу Фур'є може бути представлено комплексною хвильовою функцією: [15,16] :

$$u(x_1 t) = (u_1 e^{ikx} + u_2 e^{-ikx}) e^{i\omega t}$$

де сталі  $u_1$  і  $u_2$  визначаються виходячи з межових умов:

$$u_1 = -x_\delta \cdot e^{-ikh} / 2Sh(ikh);$$

$$u_2 = x_\delta \cdot e^{ikh} / 2Sh(ikh);$$

$k = (\alpha + i\beta)$  - комплексне хвильове число ;  $\alpha$  і  $\beta$  - коефіцієнти, отримані в результаті рішення хвильового рівняння;  $h$  - висота шару суміші;  $x$  - поточна координата для шару суміші висотою  $h$ ;  $t$  - час збудження;

Для випадку, коли  $x=0$  рішення має вигляд :

$$u_1 + u_2 = x_\delta \tag{7}$$

Для контактного тиску одержано:

$$\sigma(a_1 t) = x_\delta \omega^2 \tilde{\rho} h \sqrt{a^2 + d^2}; \tag{8}$$

де  $a_2$  і  $d_2$  - хвильові коефіцієнти впливу суміші.

Напруга на поверхні при безвідривних коливаннях через сталу енергопоглинання суміші запишеться таким чином:

$$\sigma = \frac{\tilde{\rho} A}{\varepsilon} \tag{9}$$

де  $\tilde{\rho} = \frac{\rho_0 + \rho_{\max}}{2}$  - середня щільність шару суміші;  $A$  - стала енергопоглинання суміші при віброущільненні, яка показує кількість енергії, вкладеної в одиницю маси суміші.

Дійсна частина деформації:

$$\varepsilon(0, t) = x_\delta \sqrt{\left[ \frac{dSh(2\rho h) - \beta \sin(2dh)}{ch(2\beta h) - \cos(2dh)} \right]^2 + \left[ \frac{\rho Sh(2\rho h) + \alpha \sin(2dh)}{ch(2\rho h) - \cos(2dh)} \right]^2}. \tag{10}$$

Тоді для константи енергопоглинання маємо:

$$A = \frac{\sigma(0, t) \xi(0, t)}{\bar{\rho}} = \frac{x_\delta^2}{\tilde{\rho}} \sqrt{\left[ \frac{dSh(2\beta h) - \beta \sin(2dh)}{ch(2\rho h) - \cos(2dh)} \right]^2 + \left[ \frac{\rho Sh(2\beta h) + d \sin(2dh)}{ch(2\beta h) - \cos(2dh)} \right]^2}. \tag{11}$$

Визначення питомого енергопоглинання дозволяє перейти до визначення необхідної потужності ущільнення.

При визначенні енергопоглинання при роликовому безвібраційному формуванні для наджорстких сумішей використана гіпотеза пропорційності енергії ущільнення об'єму матеріалу, який деформується [17,18]:

$$A = \frac{Pl_x(h_0 + k_1h_n)}{l_p} \cdot \ln \frac{h_0 + k_1h_n}{h_0 + k_1h_n - h_3}; \quad (12)$$

де  $P$ - сумарне зусилля деформування;  $h_0; h_n; l_n; l_x; h_3$  - характерні параметри зони контакту і оброблюваного об'єму;  $k_1$ - коефіцієнт нерівномірності властивостей суміші ;

$$P = Lk_2 \int_0^l g_{\max} \left[ \frac{(Rh_0 + x^2)}{(Rh_0 + x_k^2)} \right]^{\beta-1} (1 + tgy_x) + l^{-\gamma} dx; \quad (13)$$

де  $k_2$  - коефіцієнт нерівномірності розподілу тиску по довжині ролика;  $L$  і  $R$ - довжина і радіус ролика;  $x, x_k$  - координати по дузі контакту ;  $\beta$  - функція властивостей середовища;  $g_{\max}$  - максимальний тиск під робочим органом;  $y_x$  - кут захвату;  $\gamma$  - показник, який залежить від умов взаємодії ролика і суміші.

Для умов взаємодії при роликово-екструзійному формуванні напруги в зоні формування створюються комбінацією зусиль від дії шнек-екструдера і роликового тиску:

$$\sigma = g_{\max} \left[ \frac{Rh_0 + x^2}{Rh_0 + x_k^2} \right]^{\beta-1} e(F_{\alpha;\delta}, Z + \gamma); \quad (14)$$

де  $F_{\alpha;\delta}$  - кутовий параметр, який залежить від кута транспортування  $\alpha$  та кута нахилу витків шнека  $\beta$ ;  $Z$  - координата в напрямку, паралельному до витків шнека.

Завершуваним станом обробки виробу практично для всіх робочих органів БФА є операції загладжування, які здійснюються дисковими, брусковими, валковими або комбінованими механізмами. Ефективність дії цих механізмів оцінюється "загладувальною здатністю" - довжиною лінії, на протязі якої робочий орган взаємодіє з оброблюваною поверхнею:

$$S_{p.o.} = \vartheta(V_{p.o.}; V_3; B); \quad (15)$$

де  $V_{p.o.}$  і  $V_3$ - відповідна швидкість робочого органу і швидкість руху агрегату;  $B$  – ширина робочого органу.

При цьому на поверхню свіжевідформованого виробу повинен забезпечуватись питомий тиск -  $P_n$ , який залежить від жорсткості бетонної суміші і вимог до кінцевої шорсткості поверхні. Виходячи з цього енергопоглинання на стані загладжування :

$$P_{\text{зар}} = \sigma_n F_{\text{кон}} \vartheta \sqrt{V_{p.o.}^2 + V_3^2}; \quad (16)$$

Таким чином, для практичних умов взаємодії робочих органів БФА з оброблюваним середовищем розроблені основні аналітичні залежності, які лягли в основу інженерних методик по розрахунку режимів формування і параметрів машин. Лабораторні дослідження методів вібраційного і безвібраційного формування підтвердили їх високу ефективність. На базі теоретичних і лабораторних досліджень запропоновані нові конструктивні рішення робочих органів і агрегатів в цілому [8,20,21]. Бетоноформуєчі агрегати пройшли виробничі випробування на підприємствах України і Російської федерації.

Промисловий агрегат роликового формування на Черкаському ДБК для легких керамзитобетонних зовнішніх панелей (рис.2, а) забезпечувала продуктивність 12,500 м<sup>3</sup>/рік і дозволила вивільнити 7 робочих, зменшити витрати цементу на 40-50 кг/м<sup>3</sup> і скоротити час термовологісної обробки на 4,5 години.

Промисловий агрегат вібраційної поверхневої дії в умовах Каховського заводу ЗБВ дозволив відмовитись від використання двох машин: бетонороздавача і віброплощадки, збільшити знімання продукції з 1 м<sup>2</sup> виробничої площі практично в два рази, знизити загальну вагу формувального обладнання на  $\approx$  40%.

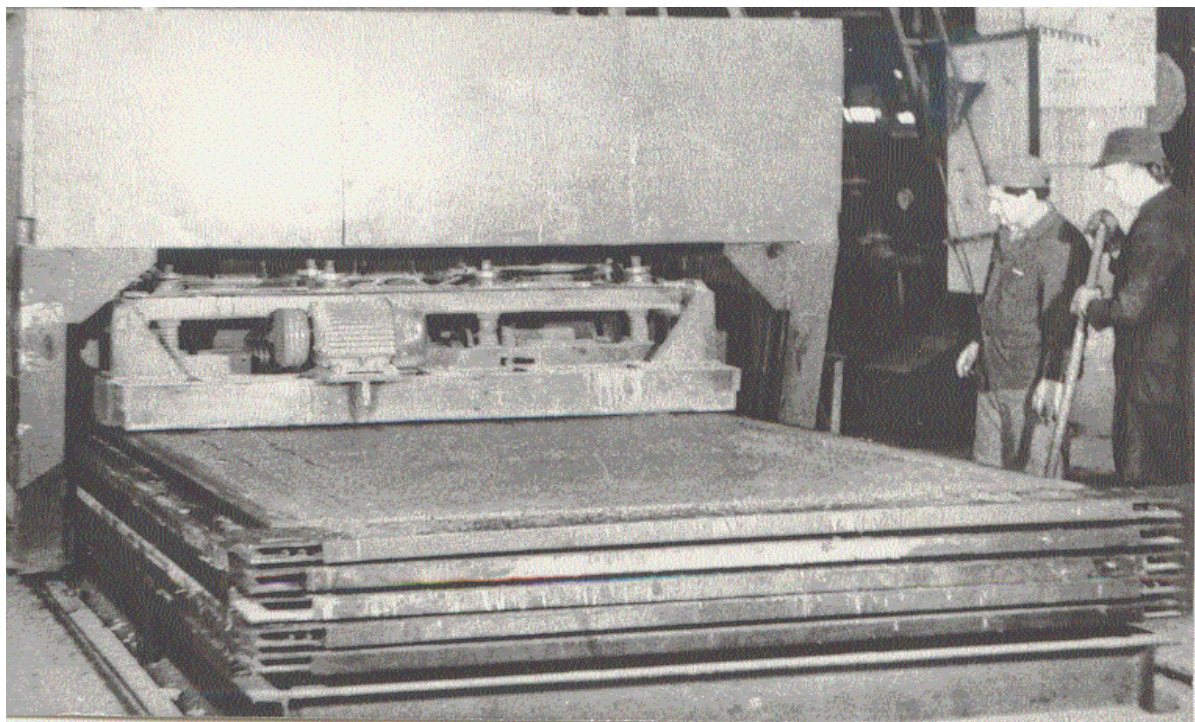
Бетоноформуєчі агрегати вібраційної і безвібраційної дії працювали на заводах ЗБК в містах Рязані, Голіцино, Новомосковськ (Росія), Старому Осколі, Києві.

Досвід проведених теоретичних і лабораторно-виробничих досліджень, аналіз ситуації, яка складається в умовах сучасних ринкових відносин дозволяє стверджувати,

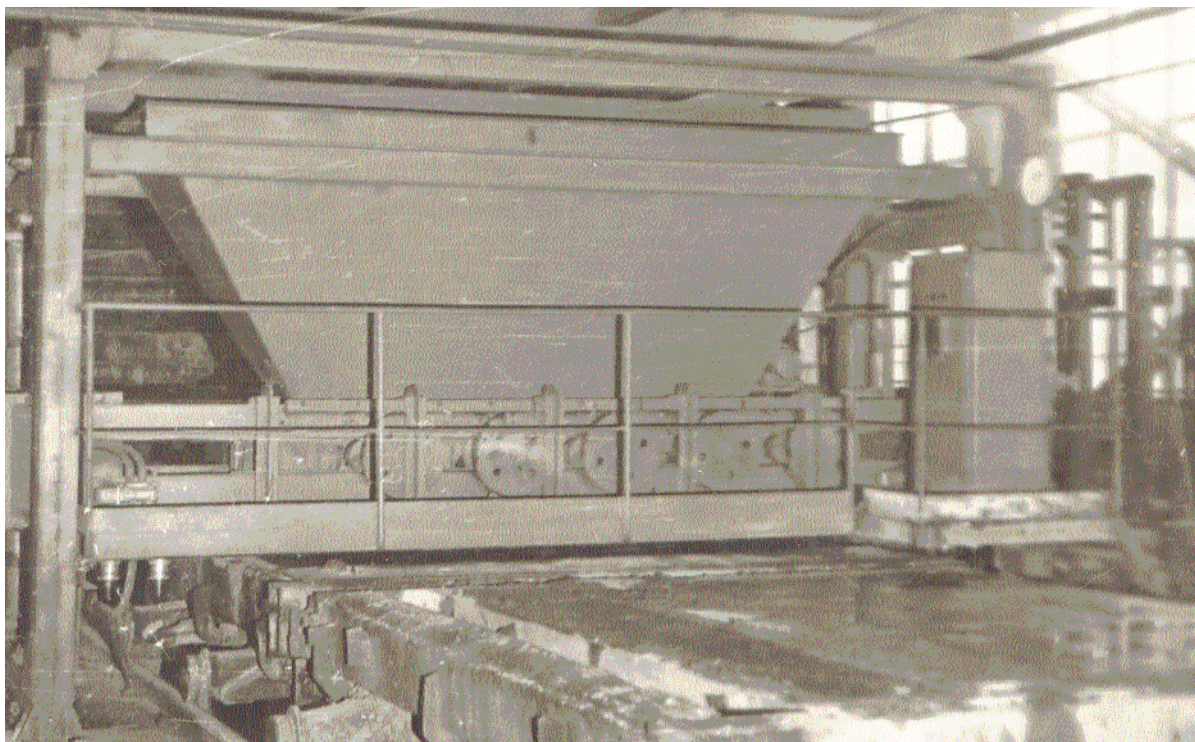




що в Україні створилась ситуація, яка дозволяє перейти до самостійного створення сучасних бетоноформуючих агрегатів. Це безумовно потребує концентрації науково-технічних і матеріальних ресурсів, але в майбутньому дасть значні економічні прибутки.



а)



б)

Рис.2. Промислові бетоноформуючі агрегати розроблені на базі досліджень, проведених в КНУБА:  
а – роликівий БФА на Черкаському ДБК; б – поверхневий БФА на Каховському заводі ЗБВ

*Основні праці:*

1. Ли В.А. Зарубежное оборудование для непрерывного формования железобетонных конструкций // Обзорная информация ЦНИИТЭСтроймаш; 21-78-11. - М.,1978. -53с.
2. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси.- К.: Будівельник, 1991. - 145с.
3. Назаренко И.И., Гарнец В.Н.Перспективные направления создания и совершенствования уплотняющих машин в строительстве// Общество Знание, -К., 1987. - 16 с.
4. Гарнец В.Н. Перспективы и технологические возможности метода роликового формования ЖБИ// Ш-я международная конференция. "Материалы для строительных конструкций".-УСМВ.94.- Днепропетровск, 1994. - С.268-270.
5. Руководство по проектированию и организации производства сборных железобетонных плоских изделий способом греющих пакетов. ВТР -С.-К.: 1980. - 66 с.
6. А.С.№1479277- МКИ В28В13/02.Бетоноукладчик.
7. А.С.№1719201 МКИ В28В5/02 Устройство для изготовления строительных изделий с пустотами.
8. А.С.№1713812 МКИ В28В13/02 Устройство для формования строительных изделий с пустотами.
9. Гарнец В.Н. Особенности процесса поверхностного формования бетоноформуемыми агрегатами// Реология бетонных смесей и ее технологические задачи. - Рига: РПИ, 1988. – С.169-170.
10. Технология и организация производства сборных железобетонных плит пакетным способом// Пособие к СНИП 3.09. «Производство строительных изделий, конструкций и материалов». - К., 1985. – 68 с.
11. Гарнец В.Н. Обобщенная модель взаимодействия многокомпонентных рабочих органов БФА со средой// II международная конференция "Материалы для строительства". - Днепропетровск, 1993. –С.235-236.
12. Гарнець В.М.,Головач А.І. Моделювання процесу витікання бетонної суміші з бункерних пристроїв БФА// ГБДММ. - № 56. - 2000. -С.36-39.
13. Гарнець В.М., Зайченко С.В. Високоєфективне обладнання для виробництва пустотних панелей.- К.: ГБДММ. - №52. - 1998. -С.78-82.
14. Гарнец В.М. Методология проектирования и конструирования машин . Учебное пособие.- К.: УМК ВО, 1988. - 158 с.
15. Чубук Ю.Ф., Назаренко И.И., Гарнец В.Н. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей.- К.: Вища школа, 1985. - 168с.
16. Назаренко И.И., Пенчук В.А., Гарнец В.Н. и др. Механизация и автоматизация трудоемких процессов на предприятиях сборного железобетона. – К.: Будівельник, 1988. - 192с.
17. Гарнец В.Н., Рюшин В.Т. Аналитическое определение контактного давления при роликовом формовании.- К.: ГСДМ. – № 36. – 1983. – С.58-62.
18. Гарнець В.М., Зайченко С.В. Визначення опору перекошуванню безвібраційного робочого органу для виробництва пустотних виробів.-К.: ГБДММ. – № 53. – 1999. - С.49-55.
19. Гарнець В.М., Сосюра А.В. Моделювання процесу ролико-екструзійного формування пустотних панелей// Техніка будівництва. - 2001. - №9. - С.65-68.
20. Патент № 30776 А., Україна МКИ В28В13/02 Пристрій для формування виробів з бетонних сумішей.
21. Патент № 33971 А., Україна МКИ В28В13/02 Пристрій для формування виробів з бетонних сумішей.