

Андреев Ігор Анатолійович

кандидат технічних наук, доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Андреев Игорь Анатольевич

кандидат технических наук, доцент

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Andreiev Igor

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Пригорницький Тарас Миколайович

магістрант

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пригорницький Тарас Николаевич

магистрант

Национального технического университета Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Pryhornytskyi Taras

Graduate Student of the

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДИСПЕРСНОГО АРМУВАННЯ
ПРИ ВІБРОЕКСТРУЗІЇ ФІБРОБЕТОННИХ ВИРОБІВ КРУГЛОГО
ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ
ПРИ ВИБРОЭКСТРУЗИИ ФИБРОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ КРУГЛОГО
ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

**ENHANCING THE EFFICIENCY OF DISPERSION ARMATURE
AT VIBRATION EXTRUSION OF FIBER-REINFORCE CONCRETE PRODUCTS
OF CIRCULAR CROSS-SECTION**

Анотація. Запропоновано конструкцію віброекструдера для формування виробів круглого поперечного перерізу з по-
здовжньою орієнтацією дисперсної арматури, подана методика розрахунку орієнтування фібр в процесі віброекструзії.

Результати роботи передбачається використовувати при проектуванні нового віброекструзійного обладнання для
виготовлення дисперсноармованих виробів.

Ключові слова: віброекструзія, фібробетон, орієнтація фібр, круглий переріз.

Аннотация. Предложена конструкция виброэкструдера для формироования изделий круглого поперечного сечения
с продольной ориентацией дисперсной арматуры, приведена методика расчета ориентирования фибр в процессе ви-
броэкструзии.

Результаты работы планируется использовать при проектировании нового виброэкструзионного оборудования для
изготовления дисперсноармированных изделий.

Ключевые слова: виброэкструзия, фибробетон, ориентация фибр, круглое сечение.

Summary. The construction of the vibrating extruder is offered for forming of wares of circular cross-section with the longitudinal orientation of dispersion armature, the method of calculation of orientation of fibres is given in the process of vibration extrusion.

The results of the work are supposed to be used when designing a new vibration extrusion equipment for the manufacture of disperse reinforced products.

Key words: vibration extrusion, fiber-reinforced concrete, the orientation of the fibers, a round cross-section.

Вступ. Ефективність дисперсного армування збільшується, коли при навантаженні композиційного матеріалу у роботу включається якнайбільше фібр, а цього можна досягти при направлєній орієнтації фібр уздовж діючих зусиль у виробі.

В процесі віброекструзії фібробетону здійснюється природна орієнтація фібр за рахунок деформацій зсуву, які виникають при плинї композиційного матеріалу у каналах бункера віброекструдера. Ступень орієнтації фібр можна регулювати геометрією і розмірами каналів, а також за рахунок застосування спеціальних орієнтуючих пристроїв [1–4].

Для виготовлення якісних фібробетонних виробів круглого поперечного перерізу авторами була запропонована нова конструкція віброекструдера, яка дозволяє використовувати фібробетонні суміші різних складів, досягаючи при цьому переважно поздовжньої орієнтації фібр у всьому виробі [5]. Направляючий пристрій 1 запропонованого апарата має вигляд подвійного конуса, в результаті чого між ним і стінками бункера віброекструдера 2 утворюються кільцеві канали 3 (рис. 1). Така конструкція віброекструдера, на відміну від традиційних апаратів, забезпечує переважно поздовжнє орієнтування фібр в центральній частині виробу за рахунок

направленого зсувного руху фібробетонної суміші поблизу нижньої частини направляючого пристрою, а отже і більш ефективно використання армуючих властивостей фібр.

Постановка задачі. Задачею статті є представлення основних результатів теоретичних досліджень процесу орієнтування фібр при віброекструзії фібробетонних виробів круглого поперечного перерізу в удосконаленому віброекструдері.

Математичний опис процесу орієнтування фібр при віброекструзії. При розгляді процесу використовується феноменологічний підхід, який приймає фібробетонну суміш, як однорідне ізотропне середовище, а про структуру суміші робляться лише загальні застереження. Враховується, що вібруючі фібробетонні суміші при віброекструзії являють собою псевдоньютонівські системи [6].

В процесі віброекструзійного формування виробів фібробетонна суміш послідовно проходить чотири зони, де канали відрізняються за своєю формою (рис. 2).

Для спрощення вирішення задачі процес плинї суміші у віброекструдері розглядається, як послідовний плин у конусному каналі, який звужується (перша зона), у кільцевих каналах (друга і третя зони) і знову у конусному каналі, який звужується (четверта зона). За напрямком плинї суміші у 1, 2 і 4 каналах приймаються прямі, які проходять через точки перетину продовжень похилих стінок каналів. Конструктивно приймаємо для 3 зони нахил нижньої частини направляючого пристрою таким же, як і нахил стінок бункера віброекструдера. Висота шару суміші у бункері при віброекструзії підтримується постійною. Вважається, що на вході у бункер фібри розташовані горизонтально.

Для розрахунку орієнтування фібр при плинї суміші у конічному каналі (1 і 4 зони) скористаємось отриманою раніше формулою для визначення середньої по довжині каналу деформації зсуву $\bar{\gamma}(\varphi)$ [7]:

$$\bar{\gamma}(\varphi_i) = \frac{(L_{2i}^2 - L_{1i}^2) \sin \varphi_i \cos^3 \varphi_i}{L_{1i} L_{2i} (\cos^2 \varphi_i - \cos^2 \varphi_0)},$$

де $L_i = L_{2i} - L_{1i}$ — довжина конічного каналу, м; φ_0 — кут нахилу стінки конічного бункера віброекструдера до вертикалі, рад; φ_i — поточний кут, рад; i — номер каналу.

Звідки, кут нахилу фібр β_i відносно напрямку руху в результаті проходження сумішшю конічного каналу, що звужується:

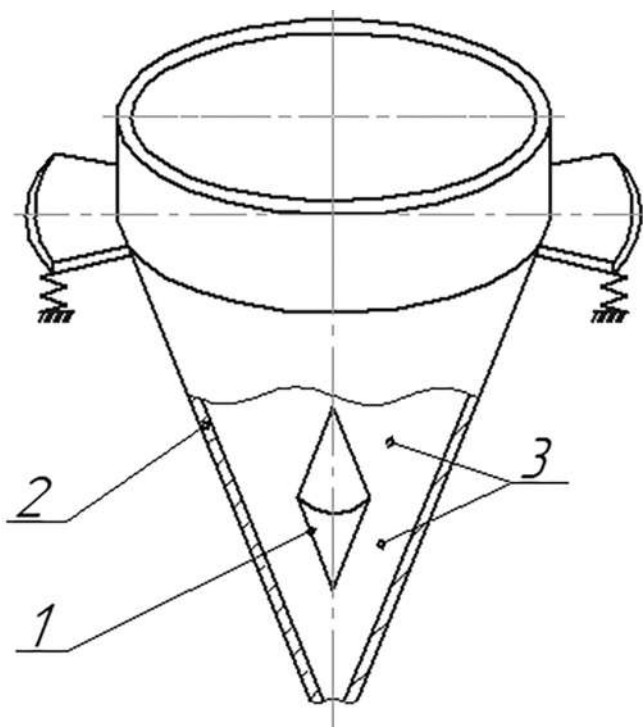


Рис. 1. Конструкція запропонованого віброекструдера

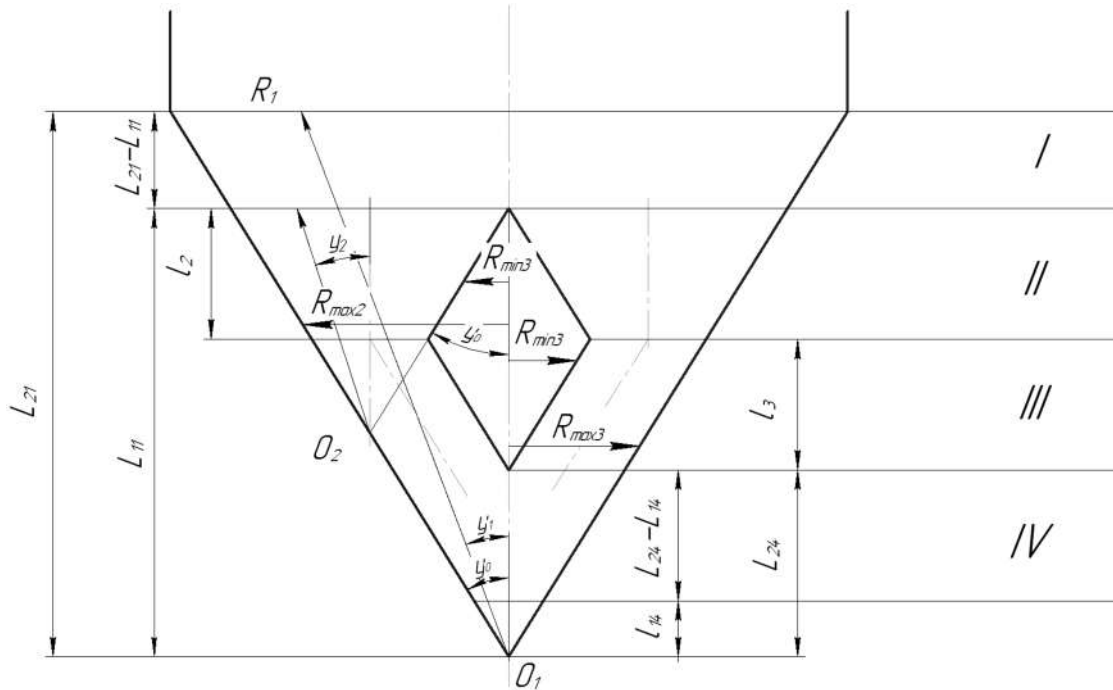


Рис. 2. Розрахункова схема процесу плин суміші у каналах бункера віброекструдера

$$\beta_i = \text{arctg}[\bar{\gamma}(\varphi_i)] = \text{arctg} \left[\frac{(L_{2i}^2 - L_{1i}^2) \sin \varphi \cos^3 \varphi_i}{L_{1i} L_{2i} (\cos^2 \varphi_i - \cos^2 \varphi_0)} \right]$$

Кут нахилу фібр α відносно осі формування в результаті проходження сумішню конічного каналу, що звужується (рис. 3):

$$\alpha_i = \beta_i + \varphi_i$$

При розрахунку орієнтації фібр в кільцевих каналах 2 і 3 скористаємось методикою, яка була викладена в роботах [1, 8]. Кут нахилу фібр α відносно осі формування в результаті проходження сумішню кільцевого каналу:

$$\alpha_i = \text{arctg} \left[\frac{\left(\frac{R_{\max i}^2 - R_{\min i}^2}{R_i \ln \frac{R_{\max i}}{R_{\min i}}} - 2R_i \right) l_i}{\left(R_{\max i}^2 - R_{\min i}^2 \right) \frac{\ln \frac{R_i}{R_{\min i}}}{\ln \frac{R_{\max i}}{R_{\min i}}} - (R_i^2 - R_{\min i}^2)} \right],$$

де $R_{\max i}$ — більший радіус i -го кільцевого каналу, м;
 $R_{\min i}$ — менший радіус i -го кільцевого каналу, м;
 R_i — поточний радіус i -го кільцевого каналу, м;
 l_i — довжина i -го кільцевого каналу.

Слід зауважити, що у кільцевому каналі максимальна швидкість плин суміші (при $R_i = R_{oi}$) зміщена від середньої лінії каналу в бік його осі і залежить від значень $R_{\min i}$ і $R_{\max i}$. Величину R_{oi} можна розрахувати за формулою [1, 8]:

$$R_{oi} = \sqrt{\frac{R_{\max i}^2 - R_{\min i}^2}{2 \ln \frac{R_{\max i}}{R_{\min i}}}}$$

Розглянемо праву частину симетричного бункера віброекструдера.

При проходженні сумішню 1 зони фібри будуть розвертатися проти годинникової стрілки на кут β_1 відносно напрямку плин, і найбільший розворот буде біля стінки бункера, де деформація зсуву γ дорівнює ∞ — $\alpha_1 = \varphi_0 = 30^\circ$. По осі бункера віброекструдера ($\varphi_1 = 0^\circ$) деформація зсуву $\varphi_1 = 0$, фібри розвертатися не будуть і тому кут $\alpha_1 = 90^\circ$. На виході з конічного каналу при $0^\circ < \varphi_1 < \varphi_0$ кут нахилу фібр до осі формування $\alpha_1 = \beta_1 + \varphi_1$.

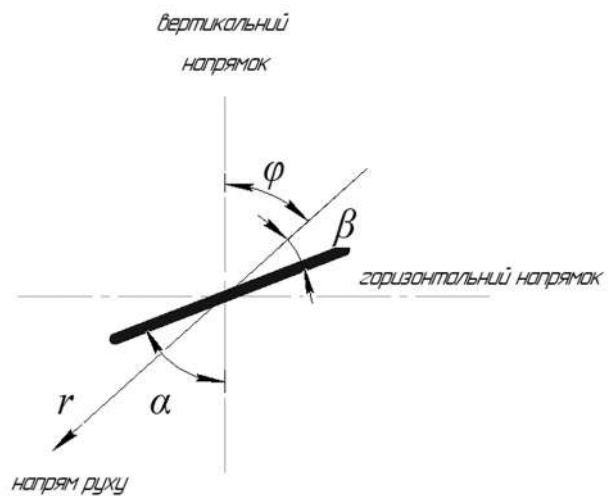


Рис. 3. Положення фібр після проходження першої зони ($0^\circ < \varphi_1 < \varphi_0$)

У 2 зоні здійснюється плин суміші у кільцевому каналі, який звужується. Біля стінок направляючого пристрою і бункера віброекструдера кут нахилу фібр до осі формування $\alpha_2 = \varphi_0 = 30^0$ (див. рис. 4). На відстані $R_2 = R_{02}$, де швидкість плину максимальна, а деформація зсуву $\gamma = 0$, розворот фібр здійснюватися не буде і тому $\alpha_2 = \alpha_1$. На ділянці $R_{\min 2} < R_2 < R_{02}$ фібри будуть розвертатися за годинниковою стрілкою і в результаті проходження другої зони $\alpha_2 = \alpha_1 + \beta_2$, але α_2 буде не менше кута $\varphi_2 = \arctg \frac{R_{02} - R_2}{(R_{02} - R_{\min 2}) \text{ctg} \varphi_0}$ (рис. 4а). На ділянці $R_{02} < R_2 < R_{\max 2}$ фібри будуть розвертатися проти годинникової стрілки і на виході з цього каналу $\alpha_2 = \alpha_1 - \beta_2$, але α_2 буде не менше кута $\varphi_2 = \arctg \frac{R_2 - R_{02}}{(R_{\max 2} - R_{02}) \text{ctg} \varphi_0}$ (рис. 4б).

У 3 зоні плин суміші здійснюється у кільцевому каналі однакової ширини, радіуси якого $R_{\min 3}, R_{03}, R_{\max 3}$ зменшуються у напрямку плину і на виході з цього каналу $R_{\min 3} = 0$. Біля стінок направляючого пристрою і бункера кут нахилу фібр до осі формування $\alpha_3 = \varphi_0 = 30^0$. На відстані $R_3 = R_{03}$, де швидкість плину максимальна, а деформація зсуву $\gamma = 0$, розворот фібр здійснюватися не буде. На ділянці $R_{\min 3} < R_3 < R_{03}$ фібри будуть розвертатися за годинниковою стрілкою, а на ділянці $R_{03} < R_3 < R_{\max 3}$ — проти годинникової стрілки, якщо фібри не зорієнтовані уздовж лінії плину.

В 4 зоні плин суміші здійснюється в конічному каналі. При $0^0 < \varphi_4 < \varphi_0$ фібри розвертаються проти годинникової стрілки на кут β_4 , якщо вони не зорієнтовані уздовж лінії плину. Біля стінки бункера, де деформація зсуву γ дорівнює ∞ , кут $\alpha_4 = \varphi_0 = 30^0$. По осі бункера віброекструдера ($\varphi_4 = 0^0$) деформація зсуву $\gamma = 0$ і фібри розвертатися не будуть.

Використання запропонованої конструкції віброекструдера, аналіз виконаних розрахунків і рекомендації. Запропонована конструкція віброекструдера дозволяє, на відміну від традиційних, здійснити переважно поздовжню орієнтацію дисперсної арматури у виробі круглого поперечного перерізу.

Ступінь орієнтування фібр необхідно задавати окремо для різних виробів залежно від їх призначення, а зміна ступеня орієнтування здійснюється зміною геометрії каналів бункера віброекструдера.

За наведеною вище методикою була розроблена програма розрахунку, яка дозволяє спостерігати розворот фібр при плинні суміші в віброекструдері залежно від геометрії його каналів.

Для випадку формування виробу діаметром 0,08 мм був спроектований віброекструдер, який забезпечує орієнтацію фібр у виробі близьку до поздовжньої (середній по діаметру кут відхилення від поздовжнього положення складає близько 8°). Розташування фібр всередині і на виході з віброекструдера подано на рисунку 5.

Результати роботи передбачається використовувати при проектуванні нового віброекструзійного обладнання для формування дисперсноармованих виробів.

У подальших дослідженнях за цією темою планується розглянути особливості протікання віброекструзійного процесу при формуванні виробів іншої конфігурації.

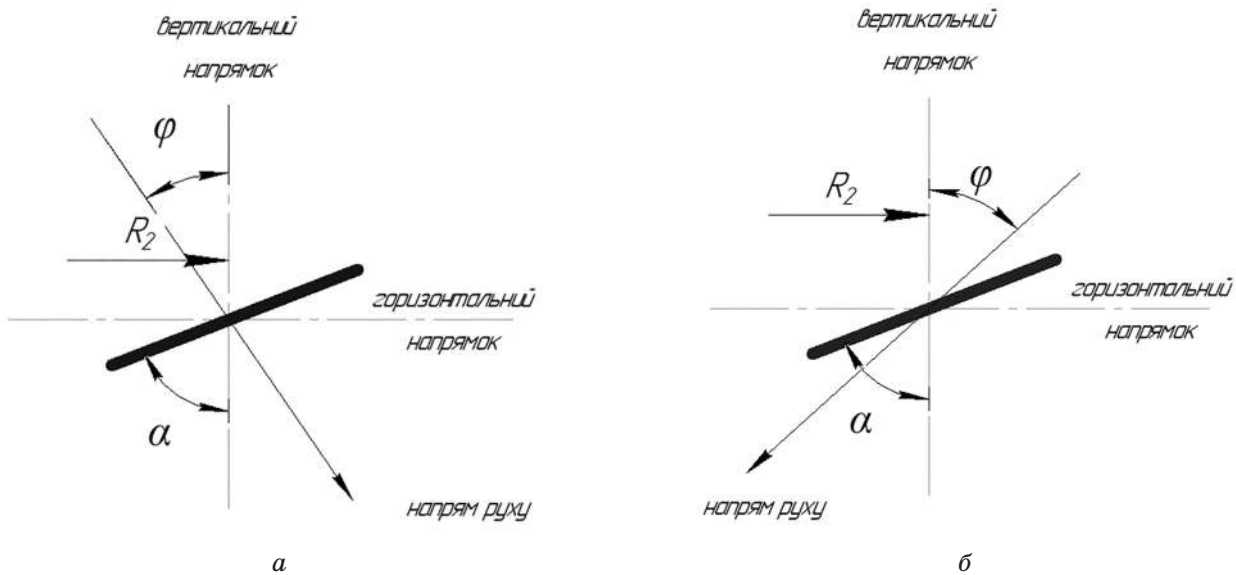


Рис. 4. Положення фібр після проходження першої зони у випадках, якщо $R_{\min 2} < R_2 < R_{02}$ (а) і $R_{02} < R_2 < R_{\max 2}$ (б)

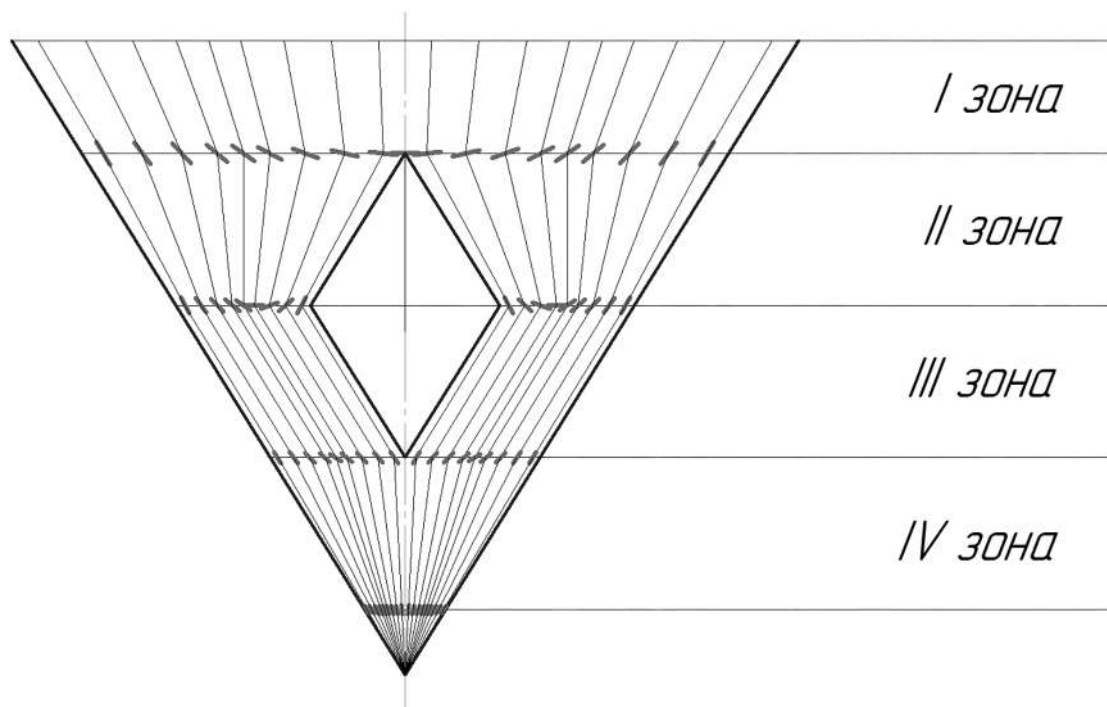


Рис. 5. Розташування фібр в процесі формування виробу у спроектованому віброекструдері

Література

1. Андреев І. А. Орієнтування дисперсної арматури при віброекструзії фібробетону у круглому кільцевому каналі / І. А. Андреев, Н. В. Комкіна // *Керамика: наука и жизнь*. — 2011. — № 3 (13). — С. 43–49.
2. Андреев І. А. Розрахунок ступеня орієнтування фібр при віброекструзії плоских фібробетонних виробів / І. А. Андреев, Н. В. Полторацька // *Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження»*. — 2011. — № 1 — С. 11–14.
3. Андреев І. А. Шляхи підвищення ефективності процесу віброекструзії фібробетону / І. А. Андреев, М. Т. Довжик // *Керамика: наука и жизнь*. — 2010. — № 2 (8). — С. 57–63.
4. Андреев І. А. Процес формування плоских фібробетонних виробів / І. А. Андреев, І. С. Гончарова // *Керамика: наука и жизнь*. — 2013. — № 2 (20). — С. 43–49.
5. Патент України на корисну модель № 117267. Віброекструдер для змішування і формування фібробетонних виробів круглого поперечного перерізу / авт. винах. Андреев І. А., Пригорницький Т. М. — опубл. у бюл. 26.06.2017, № 12, МПК (2017) B28B 13/00.
6. Андреев И. А. Вискозиметр для ви́броэкструдированого фибробетона / И. А. Андреев, П. Н. Магазий // *Хим. машиностроение: Респ. межвед. науч.-техн. сб.* — 1987. — Вып. 45. — С. 95–99.
7. Андреев І. А. Особливості процесу ламінарного конвективного змішування при віброекструзії фібробетону у конічному каналі / І. А. Андреев, В. М. Столінець // *Керамика: наука и жизнь*. — 2009. — № 2 (4). — С. 4–10.
8. Воронін Л. Г. Фібробетонні труби. Процес віброекструзійного формування / Л. Г. Воронін, І. А. Андреев, Н. В. Комкіна // *«Хімічна промисловість України»*. — 2011. — № 6 (107). — С. 38–40.