

Технічні науки

УДК 532.137: 666.97

Андреев Игорь 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»

Пригорницкий Тарас Николаевич

магистрант

Национального технического университета Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Pryhornytskyi Taras

Master of the

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**ОРИЄНТУВАННЯ ДИСПЕРСНОЇ АРМАТУРИ ПРИ
ВІБРОЕКСТРУЗІЙНОМУ ФОРМУВАННІ КРУГЛИХ У
ПОПЕРЕЧНОМУ ПЕРЕРІЗІ ФІБРОБЕТОННИХ ВИРОБІВ
ОРИЕНТАЦИЯ ДИСПЕРСНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ
ВИБРОЭКСТРУЗИОННОМ ФОРМИРОВАНИИ КРУГЛЫХ У
ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ ФИБРОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ
THE ORIENTATION OF DISPERSIVE ARMATURES AT VIBRATION
EXTRUSION OF FIBER-REINFORCE CONCRETE PRODUCTS OF
CIRCULAR CROSS-SECTION**

Анотація. Був розглянутий процес плин у конічному каналі бункера віброекструдера у сферичних координатах. Отримані аналітичні формули для розрахунку степені орієнтування фібр при плинні фібробетонної суміші в каналі бункера віброекструдера і у виробі круглого поперечного перерізу. Визначено вплив геометрії формуючого каналу на розташування дисперсної арматури у круглому виробі.

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

Аннотация. Был рассмотрен процесс течения смеси в коническом канале бункера виброекструдера в сферических координатах. Полученные аналитические формулы для расчета степени ориентирования фибр при течении фибробетонных смеси в канале бункера виброекструдера и в изделии круглого сечения. Определено влияние геометрии формирующего канала на расположение дисперсной арматуры в круглом изделии.

Ключевые слова: виброекструзия, фибробетон, ориентация фибр, круглое сечение, конический канал.

Summary. The process of the mixture flow in the conical channel of the vibration extrusion bunker in spherical coordinates was considered. The

analytical formulas for calculating the degree of orientation of the fibers during the flow of fibro concrete mix in the channel of the bunker vibration extrusion and in the product of the circular cross section are obtained. The influence of the geometry of the forming channel on the location of the disperse reinforcement in the round product is determined.

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

Вступ. Дисперсне армування бетону є сучасним напрямком покращення практично всіх його основних фізико-механічних характеристик за рахунок залучання фібр у спільну роботу з бетоном при виникненні напружень. Фібробетонні вироби в наш час широко використовуються замість їх бетонних і залізобетонних аналогів. Застосування традиційного обладнання заводів збірного залізобетону для змішування фібр з розчином або бетоном і для подальшого формування з цієї суміші виробів безперспективно через особливості армованого фібрами матеріалу. Спеціально розроблені способи також мають свої недоліки і не завжди забезпечують ефективне використання дисперсної арматури. Через це, в результаті виконаних в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» пошукових робіт, був запропонований спосіб віброекструзійного формування, який дозволяє формувати вироби без руйнування і грудкування дисперсної арматури і з забезпеченням необхідної орієнтації фібр. За цією технологією можна здійснювати виробництво будівельних виробів з повною або частковою заміною металевої арматури на будь-яку фіброву (у тому числі і відходи виробництва).

Ефективність дисперсного армування збільшується, коли при навантаженні композиційного матеріалу у роботу включається

якнайбільше фібр. Тому на стадії формування профілю треба прагнути розташовувати фібри уздовж зусиль, які будуть виникати при експлуатації виробу.

В процесі віброекструзії фібробетону здійснюється природна орієнтація фібр за рахунок деформацій зсуву, які виникають при плинні композиційного матеріалу у каналі бункера віброекструдера. Степінь орієнтування фібр змінюється залежно від геометрії каналу, де здійснюється формування виробу. Раніше були отримані формули для розрахунку процесу ламінарного конвективного змішування фібробетонної суміші у конічному каналі бункера віброекструдера [1], але при цьому формування круглого у поперечному перерізі виробу не розглядалось і орієнтування фібр не визначалась.

Постановка задачі. Метою цієї статті є представлення результатів теоретичних досліджень орієнтування дисперсної арматури в процесі віброекструзійного формування фібробетонних виробів круглого поперечного перерізу.

Процес орієнтування фібр у конічному каналі при віброекструзії. Розглянемо процес орієнтування фібр в умовах ламінарного плин у відсутності дифузії, який здійснюється у конічному каналі. 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 [2].

Розрахункова схема процесу подана на рис. 1. (r, φ – поточні радіус і кут). Початок координат вибраний у вершині конуса, який утворюється при подовженні бічної поверхні зрізаного конуса. Передбачається, що всі прямі лінії, які радіально виходять через початок координат, є лініями

плину, а перепад тиску Δp у каналі довжиною $L=L_2-L_1$ підтримується постійним.

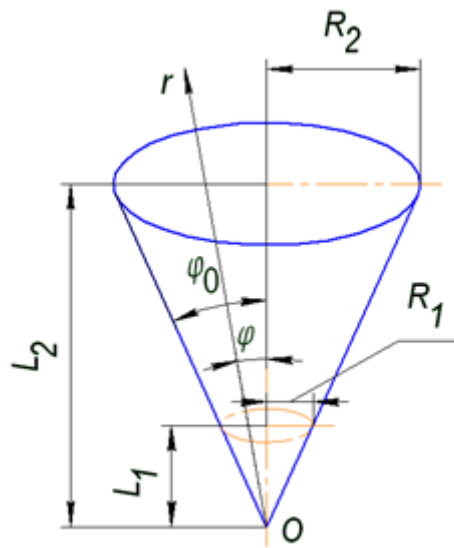


Рис. 1. Розрахункова схема процесу

У випадку ізотермічного плину ньютонівської рідини за рахунок перепаду тиску Δp у конічному каналі довжиною $L=L_2-L_1$ формули для розрахунку радіальної швидкості u_r [3] і витрати q [4] мають вигляд:

$$u_r = \frac{3q}{2\pi r^2} \cdot \frac{\xi^2 - \xi_0^2}{(1+2\xi_0)(1-\xi_0)^2}, \quad (1)$$

$$q = \frac{3\pi\Delta p}{8\mu L} \cdot \frac{R_1^3 R_2^3}{R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2}, \quad (2)$$

де $\xi = \cos\phi$, $\xi_0 = \cos\phi_0$; ϕ_0 – кут нахилу стінки каналу до вертикалі, рад; μ – в'язкість суміші, Па·с; R_1 і R_2 – внутрішні радіуси, відповідно, на виході з конусу і на вході у конус, м.

Формулу (1) можна записати у вигляді:

$$u_r = \frac{c(\cos^2\phi - \cos^2\phi_0)}{r^2}. \quad (3)$$

де $c = \frac{3q}{2\pi(1+2\cos\phi_0)(1-\cos\phi_0)^2}$.

Швидкість зсуву $\dot{\gamma}$ визначимо з виразу (3):

$$\dot{\gamma} = \frac{c}{r^3} \sin 2\varphi. \quad (4)$$

Середня швидкість по довжині каналу:

$$u_{r,cp} = \frac{1}{(L_2 - L_1)/\cos \phi} \int_{L_1/\cos \phi}^{L_2/\cos \phi} u_r dr = \frac{c(\cos^2 \phi - \cos^2 \phi_0)}{L_1 L_2}. \quad (5)$$

Час перебування суміші у кінцічному каналі визначимо за допомогою виразу (5):

$$t = \frac{L_2 - L_1}{u_{r,cp} \cos \phi} = \frac{(L_2 - L_1) L_1 L_2}{c(\cos^2 \phi - \cos^2 \phi_0) \cos \phi}. \quad (6)$$

З формули (4) можна знайти середню швидкість зсуву по довжині кінцічного каналу:

$$\dot{\gamma}_{cp} = \frac{1}{(L_2 - L_1)/\cos \phi} \int_{L_1/\cos \phi}^{L_2/\cos \phi} \dot{\gamma} dr = \frac{c(L_1 + L_2) \sin \phi \cos^4 \phi}{L_1^2 L_2^2}. \quad (7)$$

Використовуючи рівняння (6) і (7) запишемо вираз для середньої по довжині каналу деформації зсуву $\bar{\gamma}(\varphi)$:

$$\bar{\gamma}(\varphi) = \dot{\gamma}_{cp} t = \frac{(L_2^2 - L_1^2) \sin \varphi \cos^3 \varphi}{L_1 L_2 (\cos^2 \varphi - \cos^2 \varphi_0)}. \quad (8)$$

Кут нахилу фібр β відносно осі r в результаті проходження сумішню каналу, що звужується, можна визначити наступним чином:

$$\beta = \text{arcctg} [\bar{\gamma}(\varphi)] = \text{arcctg} \left[\frac{(L_2^2 - L_1^2) \sin \varphi \cos^3 \varphi}{L_1 L_2 (\cos^2 \varphi - \cos^2 \varphi_0)} \right]. \quad (9)$$

Кут нахилу фібр α в перерізі круглого виробу відносно осі формування:

$$\alpha = \beta + \phi. \quad (10)$$

Розрахунок орієнтації фібр при виготовленні круглого виробу.

Розглянемо приклад формування круглого фібробетонного стовпчика діаметром 0,08 м, якщо висота шару суміші в бункері віброекструдера L_2 - L_1 дорівнює 0,5 м а кут нахилу стінок бункера до вертикалі $\varphi_0 = 30^\circ$. Кут нахилу фібр β в перерізі круглого виробу відносно напрямку плину суміші у віброекструдері, розрахуємо за допомогою формули (9). Результати розрахунків наведені на рисунку 2.

З рисунку 2 бачимо, що зі збільшенням кута φ кут нахилу фібр відносно напрямку плину суміші у віброекструдері β зменшується. Найгірше орієнтування фібр буде спостерігатися у центральній частині виробу.

За допомогою рівняння (10) побудуємо графік залежності кута нахилу фібр α по товщині круглого виробу з радіусом R (Рис. 3).

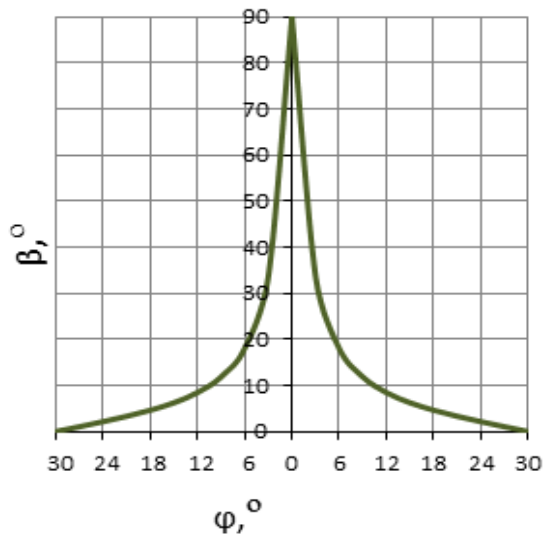


Рис. 2. Кут нахилу фібр β в перерізі круглого виробу відносно напрямку плину суміші у віброекструдері

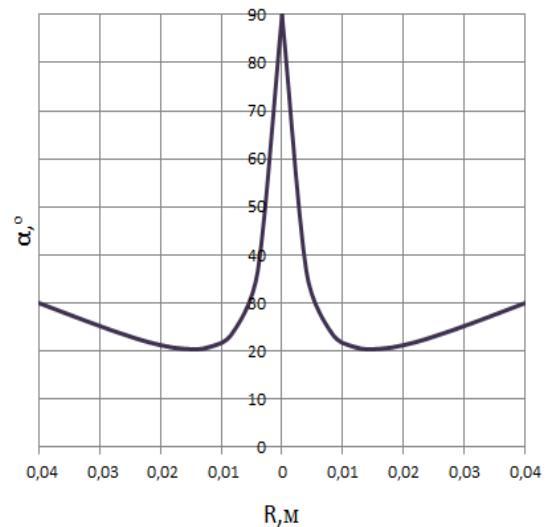


Рис. 3. Кут нахилу фібр α по товщині круглого виробу відносно напрямку формування

На краю виробу кут нахилу фібр α відносно напрямку формування дорівнює куту нахилу стінок бункера віброекструдера до вертикалі φ_0 . При наближенні до центральної частини виробу кут α спочатку зменшується (див. Рис. 3), проте у центральній частині орієнтація фібр буде найгіршою.

Висновок. Отримані формули для розрахунку орієнтування фібр в процесі віброекструзійного формування виробів у конічному каналі бункера віброекструдера. Визначений кінцевий характер розташування дисперсної арматури у круглому виробі залежно від геометрії формуючого каналу.

Через те, що розташування дисперсної арматури у виробі впливає на властивості фібробетону, при конструювання віброекструзійного обладнання це необхідно враховувати, а для певної орієнтації фібр в екструдаті – вживати необхідні заходи.

У подальшому планується провести експериментальну перевірку отриманих аналітичних формул в процесі віброекструзійного формування виробів круглого поперечного перерізу.

Література

1. Андреев И.А. Особенности процесса ламинарного конвективного смешивания при виброекструзии фибробетону у коническом канале / И.А. Андреев, В.М. Столинец // *Керамика: наука и жизнь*. – 2009. – №2(4). – С. 4-10.
2. Андреев И.А. Процесс смешения при виброекструзии фибробетона / И.А. Андреев, Ю.Е. Лукач, П.Н. Магазий // *Хим. машиностроение: Респ. межвед. науч.-техн. сб.* – 1989. – Вып. 49. – С. 34-37.
3. Хаппель Дж. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса / Дж. Хаппель, Г. Бренер. – М.: Мир, 1976. – 632 с.
4. Тадмор З. Теоретические основы переработки полимеров / З. Тадмор, К. Гогос. – М.: Химия, 1984. – 632 с.