

ВЗАЄМОУЗГОДЖЕНІСТЬ РОБОТИ МЕХАНІЗМІВ ПРИ РОЛИКО-ЕКСТРУЗІЙНОМУ ФОРМУВАННІ БАГАТОПУСТОТНИХ ВИРОБІВ

У статті аналітично описано процес ролико-екструзійного формування та розглянуто взаємоузгодженість режимів та параметрів в умовах виробництва багатопустотних виробів.

Ключові слова: бетоноформуєчий агрегат, безвібраційне ущільнення, ролик, шнек-екструдер.

Вступ. Високі вимоги до сучасного будівництва потребують впровадження високотехнологічного обладнання для виготовлення будівельних виробів, зокрема залізобетонних плит перекриття. Необхідно при зменшенні енергозатрат на виготовлення виробів отримувати високі показники надійності. Однією з таких технологій являється безопалубочне формування залізобетонних виробів на довгих (120-200 м) стендах. Якість залізобетонних панелей, що виготовляються за допомогою таких методів, культура виробництва відповідає вимогам світових стандартів.

Аналіз попередніх досліджень. Існуючі бетоноформуєчі агрегати (БФА) таких фірм, як “Elematic” (Фінляндія), “Weiler” (Німеччина), “Nordimpianti” (Італія), “Spiroll” (Англія) та інші, використовують при формуванні віброекструзію, тобто поєднання одночасно дії екструзії та вібрації на бетонну суміш. Але водночас суттєвим недоліком залишається підвищений рівень шуму і вібрації, що створюються під час роботи віброзбуджувачів. Альтернативою цьому, на думку авторів, є використання безвібраційних БФА на основі роликового формування.

Аналізуючи роботи, присвячені дослідженню роликового формування у лабораторних та заводських умовах [1-3], можна відмітити достатньо високі показники щодо формування плоских, в тому числі 3-х шарових панелей з утеплювачем і плитковим облицюванням, та пустотних панелей.

В роботах [2, 3] розглянуто контактну взаємодію робочих органів різної конфігурації при роликовому формуванні, запропоновано пошаровий метод формування пустотних виробів. Аналітичне дослідження ролико-екструзійного методу проведено в роботах [4, 5], де описано основні положення роботи таких безвібраційних агрегатів.

Мета дослідження. Дослідити для ролико-екструзійних БФА основні закономірності взаємодії робочих органів між собою та з оброблюваним середовищем, створити методіку розрахунку параметрів та режимів формування.

Матеріал і результат дослідження. Особливістю безвібраційного ролико-екструзійного ущільнення є поєднання двох виконавчих механізмів: роликів (можуть бути різноманітної форми і конфігурації) та шнек-екструдерів (рисунк1). Під час зворотно-поступального руху формуючих роликів відбувається перерозподіл напружень, активація та ущільнення бетонної суміші за рахунок поступового багаторазового насичення шарів виробу новими порціями суміші (підсипки). Шнеки безперервно подають та підпресовують суміш із середини. Виникаючі при цьому реактивні сили рухають БФА в напрямку, протилежному формуванню. Потрібні

конфігурація та розміри виробу досягаються за допомогою геометрії форми, стабілізуючої плити та пустотоутворювачів.

Створення таких складних агрегатів потребує всебічного теоретичного та експериментального дослідження системи, в якій взаємодіють різні механізми та формоутворюючі елементи з бетонною сумішшю.

Схема ролико-екструзійного формування наведена на рисунку 1. Циліндричний жорсткий (або комбінований) ролик 2 виконує зворотньо-поступальні рухи на висоті виробу 5 зі швидкістю v_p . Шнек-екструдер 1 нагнітає бетонну суміш у порожнину форми. При цьому попередньо утворюється форма отвору, який в подальшому калібрується пустотоутворювачем 3. Весь агрегат завдяки рушійним силам реакції рухається в протилежному напрямку зі швидкістю формування $v_{БФА}$. Для усунення випору суміші з-під роликів передбачається стабілізуюча плита 4.

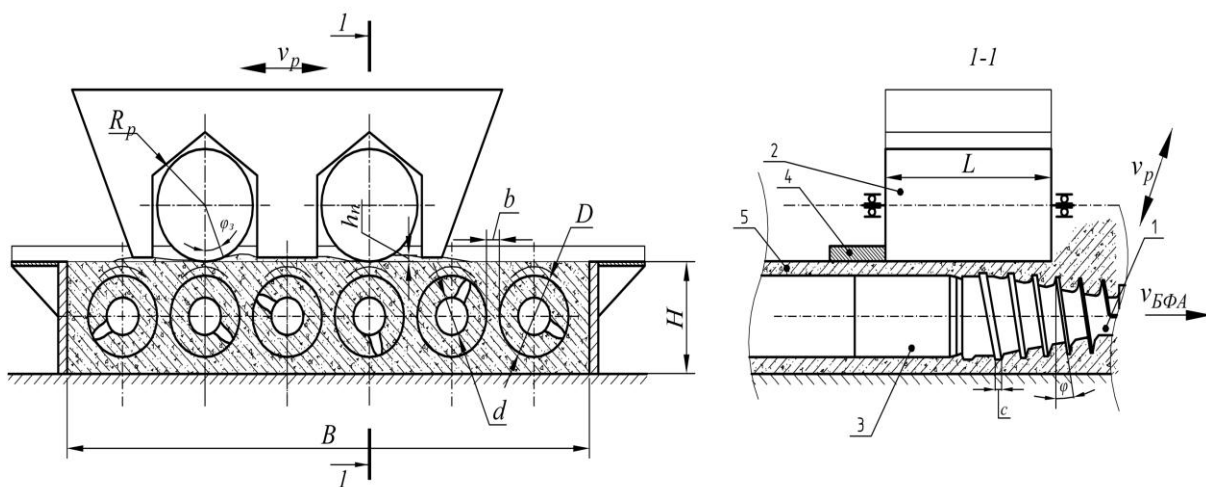


Рисунок 1 – Схема ролико-екструзійного формування: 1 – шнек; 2 – ролик; 3 – пустотоутворювач; 4 – стабілізуюча плита; 5 – виріб

В роботі [5] було розглянуто взаємодію робочих органів із ущільнюючим середовищем та отримано залежність зміни нормальних напружень по осі Z , яка розташована паралельно виткам шнека:

$$\tilde{\sigma}_{zz}(z) = (\sigma_0 + \sigma_p) \exp(kfF_{\alpha,\delta}z), \quad (1)$$

де $\sigma_0 = p_0gh$ – початкове напруження, діюче на елемент суміші від сили ваги

стовпа суміші; $\sigma_p = g_x = g_{\max} \left(\frac{R_p h_0 + x^2}{R_p h_0 + x_k^2} \right)^{\beta-1} \exp(\pm\gamma)$ – нормальні напруги, які

створюються завдяки дії ролика при вдавлюванні підсіпки [2, 3]; ρ_0 – щільність бетонної суміші в бункері; g – сила тяжіння; h – висота стовпа бетонної суміші в бункері; z – поточна координата; g_{\max} – максимальний тиск, що виникає під роликом; x та x_k – координати точок; β – коефіцієнт, що залежить від властивостей бетонної суміші і визначається експериментально; γ – показник ступеня, який залежить від точки прикладення на дузі контакту та умов взаємодії ролика з бетонною сумішшю; k – коефіцієнт бокового стискнення [7]; f – коефіцієнт зовнішнього тертя; $F_{\alpha,\delta}$ – кутовий параметр, який залежить від кута транспортування α та кута нахилу витків δ .

Одним з напрямів дослідження ролик-екструзійного методу є знаходження режимів роботи при заданій продуктивності процесу виготовлення залізобетонних виробів. Для цього розглянемо роботу БФА при формуванні готового виробу довжиною $l = 1\text{ м}$. В загальному випадку продуктивність може бути визначена по залежності приведеній в роботі [6]:

$$\Pi = v_{\text{БФА}} S_{\text{с}}, \quad (2)$$

де $v_{\text{БФА}} = \frac{l}{\Delta t}$ – швидкість БФА; Δt – час, за який формується даний виріб;

$S_{\text{с}} = BH - n_{\text{ш}} \frac{\pi D^2}{4}$ – площа поперечного перерізу виробу; B, H, D – відповідно ширина, висота виробу та діаметр пустотоутворювача; $n_{\text{ш}} = \frac{B-b}{D+b}$ – кількість шнеків.

Запишемо визначення продуктивності Π через об'єм готового виробу:

$$\Pi = \frac{l}{\Delta t} S_{\text{с}} = \frac{l \left(BH - n_{\text{ш}} \frac{\pi D^2}{4} \right)}{\Delta t} = \frac{V_{\text{с}}}{\Delta t}, \quad (3)$$

Знайдемо об'єм рихлої суміші, який потрібно подати та ущільнити, щоб виріб довжиною l з початкового значення щільності ρ_0 прийняв кінцеве $\rho_{\text{к}}$. Враховуючи це, об'єм рихлої суміші, який є необхідним для виготовлення готового виробу дорівнює:

$$V'_{\text{сум}} = V_{\text{с}} \frac{\rho_{\text{к}}}{\rho_0} \quad (4)$$

Об'єм рихлої суміші $V'_{\text{сум}}$ складається з об'єму суміші, що заповнюється без силового впливу робочих органів V'_0 , та ущільнюється під впливом роликів $-V'_p$, шнеків $-V'_{\text{ш}}$:

$$V'_{\text{сум}} = V'_0 + V'_p + V'_{\text{ш}}, \quad (5)$$

$$\text{де } V'_0 = V_{\text{с}} = l \left(BH - n_{\text{ш}} \frac{\pi D^2}{4} \right).$$

Об'єм суміші, який ущільнюється робочими органами:

$$V'_p + V'_{\text{ш}} = V'_{\text{сум}} - V'_0 = V_{\text{с}} \left(\frac{\rho_{\text{к}}}{\rho_0} - 1 \right). \quad (6)$$

Розглянемо окремо роботу шнеків. Суміш із бункера під власним тиском потрапляє на витки шнеків і цим самим безперервно та рівномірно розподіляється між робочими органами.

Об'єм рихлої суміші, яка подається шнекам:

$$V'_{\text{ш}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) (\pi D t g \varphi - c) n_{\text{ш}} K_3 N / 60, \quad (7)$$

де D, d – відповідно діаметри витка та вала шнека; φ – кут підйому гвинтової лінії; c – ширина витка шнека; K_3 – коефіцієнт, який враховує втрати суміші при подачі її шнеком; N – частота обертання шнеків.

Продуктивність шнека в процесі ущільнення БФА:

$$\Pi_{\text{ш}} = K_e V_{\text{с}} \left(\frac{\rho_{\text{к}}}{\rho_0} - 1 \right) / \Delta t, \quad (8)$$

де K_e – експериментальний коефіцієнт, який показує ущільнення суміші шнеками.

Прирівнявши залежності (7) та (8), отримаємо вираз для знаходження частоти обертання шнека N :

$$N = \frac{60K_e S_\epsilon \left(\frac{\rho_\kappa}{\rho_0} - 1 \right) v_{БФА}}{\pi/4 \left((D^2 - d^2) (\pi D t g \varphi - c) n_\kappa K_3 K_e \right)} \quad (9)$$

Розглянемо продуктивність роликів в процесі ролик-екструзійного формування пустотних виробів. Об'єм суміші, який ущільнюють ролики дорівнює:

$$V'_p = \sum_{i=1}^n 2h_i L l_p n_p w_p, \quad (10)$$

де h_i – висота підсипки, яку захоплює циліндричний ролик на i -му проході; L – довжина ролика, яка розглядається; l_p – хід ролик; n_p – кількість роликів; n, w_p – відповідно кількість та частота подвійних проходів.

Висота підсипки в залежності від номеру проходу згідно [6]: $h_i = h_0^n e^{-a(n-1)}$, де $h_0^n = R_p(1 - \cos \varphi_3)$ – висота підсипки на першому проході; R_p – радіус ролика; $\varphi_3 = \arctg \frac{\mu + f}{1 - \mu f}$ – кут захвату роликом суміші; f – кут внутрішнього тертя суміші; μ – кут тертя бетонної суміші об ролик; a – емпіричний коефіцієнт.

Вираз для V'_p можна представити:

$$\begin{aligned} V'_p &= \int_1^n 2(h_0^n e^{-a(n-1)} L l_p n_p w_p) dn = 2(e^{-a(n-1)} - 1) \frac{h_0^n}{-a} L l_p n_p w_p = \\ &= 2(e^{-a(n-1)} - 1) \frac{R_p(1 - \cos \varphi_3)}{-a} L l_p n_p w_p. \end{aligned} \quad (11)$$

Запишемо вираз для продуктивності роликів, враховуючи (6) та (8):

$$\Pi_p = V'_p \left(\frac{\rho_\kappa}{\rho_0} - 1 \right) (1 - K_e) / \Delta t \quad (12)$$

Прирівнявши (11) та (12) отримаємо залежність частоти подвійних ходів ролика від швидкості формування $v_{БФА}$:

$$w_p = \frac{v_{БФА} S_\epsilon \left(\frac{\rho_\kappa}{\rho_0} - 1 \right) (1 - K_e)}{2(e^{-a(n-1)} - 1) \frac{R_p(1 - \cos \varphi_3)}{-a} L l_p n_p} \quad (13)$$

Для режимів роботи шнеків та роликівого візка побудовано графічні залежності (рисунок 2). На графіку (рисунок 2,а) показано зміну частоти обертання шнеків N від кута нахилу витків φ при заданій продуктивності БФА, де видно, що із збільшенням φ частота N зменшується. На графіку (рисунок 2,б) зображена зміну частоти подвійних проходів роликів від кута захвату суміші.

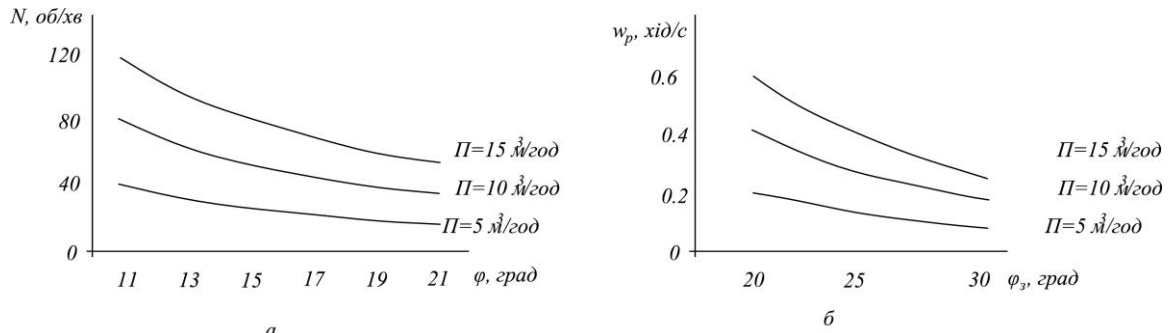


Рисунок 2 – залежності: а – частоти обертання шнеків від кута φ ; б – частоти ходу роликів від кута φ_3 .

Висновки. В даній роботі розроблено методику розрахунку режимів руху робочих органів при ролико-екструзійному формуванні. Приведено основні залежності для визначення частоти обертання шнеків та рух роликів. Оптимізація даних режимів та параметрів буде можливе при дослідженні силових та енергетичних затрат при формуванні даним методом. В подальшій роботі планується провести дані розрахунки та перевірити на експериментальному отриманні результати.

Література

1. Гарнець В.М., Зайченко С.В. Високоєфективне обладнання для виробництва пустотних панелей // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Республ. між від. наук.-техн. зб.-к.* – К.: Вид-во КНУБА, 1998. Вип.52– С.78 – 82.
2. Зайченко С.В. Контактна взаємодія робочих органів безвібраційних бетоноформуєчих агрегатів при виробництві пустотних панелей. – Автореферат дис. на здобуття наукового ступеню к.т.н. – Київ, 2001. – 20 с.
3. Рюшин В.Т. Исследования рабочего процесса и методика расчета машин роликового формирования бетонных смесей. – Автореферат дис. на соискание ученой степени к.т.н.. – Киев, 1986. – 20с.
4. Гарнець В.М., Сосюра А.В. Моделювання процесу ролико-екструзійного формування пустотних панелей// *Техніка будівництва.* – 2001. – №9.
5. Гарнець В.М., Приходько Я.С. Механізм взаємодії робочих органів при ролико-екструзійному формуванні багатопустотних виробів // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини* Вип.77 Київ:2011. – С.55 – 59.
6. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуєчі агрегати і комплекси. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
7. Басов Н.И. Расчёт и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. - М.: Химия, 1986. – 488с.

Надійшло до редакції 16.11.2011
© Я. С. Приходько, В. М. Гарнець

Я. С. Приходько, аспирант, В. Н. Гарнец, к.т.н., профессор

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ВЗАИМОСОГЛАСОВАННОСТЬ РАБОТЫ МЕХАНИЗМОВ ПРИ РОЛИКО-ЭКСТРУЗИОННОМ ФОРМОВАНИИ МНОГО-ПУСТОТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В статье аналитически описан процесс роliko-экструзионного формования и рассмотрена взаимосогласованность режимов и параметров в условиях производства многопустотных изделий.

Ключевые слова: бетоноформующий агрегат, безвибрационное уплотнение, ролик, шнек-экструдер.

Y. S. Prikhodko, Post graduate, V. N Garnets, Ph.D., professor

Kyiv National University of Building and Architecture

MECHANISMS WORK ARRANGEMENT AT ROLL-EXTRUSION MOLDING OF MULTI-CAVITATED PRODUCTS

The article describes the analytically process of roll-extrusion molding and discussed synergies between the modes and parameters in the production of cavitated products.

Key words: concrete-shaping unit, vibration-free seal, roller, screw-extruder.