

УДК 666.40.9

В.М. Гарнець, к.т.н., проф.;  
Я.С. Приходько, аспірант (КНУБА, Київ)

## МЕХАНІЗМ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПРИ РОЛИКО-ЕКСТРУЗІЙНОМУ ФОРМУВАННІ БАГАТОПОРОЖНИННИХ ВИРОБІВ

**АНОТАЦІЯ:** У статті аналітично описано процес ролико-екструзійного формування та розглянуто взаємодію робочих органів із оброблюваною сумішшю в умовах виробництва багатопорожнинних виробів.

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

**АННОТАЦИЯ:** В статье аналитически описан процесс ролико-экструзионного формирования и рассмотрено взаимодействие рабочих органов с обрабатываемой смесью в условиях производства многопустотных изделий.

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

**SUMMARY:** This paper describes the analytical process roller-extrusion forming and examined the interaction of working with fabric in a mixture of multihollow products.

**Key words:** betonoformuyuchyuy unit, bezvibratsiyne seals, roller, screw-extruder.

### Вступ

Вирішення проблеми енергозаощадження та підвищення ефективності при виготовленні залізобетонних виробів на сучасному етапі може бути забезпечено шляхом впровадження новітніх методів та технологій [1, 2]. У теперешній час найбільш досконалими є технології безопалубного формування на довгих (120-200 м) стендах. Бетоноформуючі агрегати (БФА) віброекструзійної дії таких фірм, як “Elematic” (Фінляндія), “Weiler” (Німеччина), “Nordimpianti” (Італія), “Spiroll” (Англія) та інші успішно працюють у багатьох країнах світу, а також в Україні.

Принцип роботи даних агрегатів полягає у поєднанні одночасної дії екструзії та вібрації на бетонну суміш. Якість залізобетонних панелей, що виготовляються за таких технологій, культура виробництва відповідає вимогам світових стандартів. Але суттєвим недоліком водночас залишається підвищений рівень шуму і вібрації, що створюються під час роботи віброзбуджувачів. Тому, незалежно від високого технічного рівня використовуваних машин, актуальним є покращення санітарних умов під час

виробництва залізобетонних виробів при збереженні високих показників їх якості.

Саме на це спрямовані розробки безвібраційних бетоноформуючих агрегатів, які запропоновані в роботах [2-4]. Протягом останніх 10...15 років на базі НДІБЗ (м. Москва), КНУБА (м.Київ), Черкаського ЗЗБВ (м.Черкаси) були випробувані в лабораторних умовах і на заводських технологічних лініях безвібраційні БФА на основі роликового формування [5, 6], які підтвердили достатньо високі показники щодо формування плоских, в тому числі 3-х шарових панелей з утеплювачем і плитковим облицюванням.

Разом з тим, виробництво порожнинних панелей за безвібраційною технологією має свої суттєві особливості. Відомо, що фірма Lohja Parma Engineering (LPE), використовувала технологію безвібраційного формування порожнинних панелей. Аналіз рекламних матеріалів цієї фірми не дозволяє зробити висновки щодо принципу дії і методики визначення робочих параметрів агрегату LPE, що не дає можливості використовувати ці матеріали як аналог розробки вітчизняних машин.

З огляду на це в Київському національному університеті будівництва та архітектури були розроблені нові технічні рішення агрегатів, що дозволяють використовувати в комплексі безвібраційні методи ущільнення [6].

### Виклад основного матеріалу

Особливістю безвібраційного роликоекструзійного ущільнення є поєднання двох виконавчих механізмів: роликів різноманітної форми і конфігурації та шнекекструдерів (рис.1). 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 зсередини. Виникаючі при цьому реактивні сили рухають БФА в напрямку, протилежному формуванню. За допомогою геометрії форми, стабілізуючої плити та порожнинноутворювачів досягаються потрібні конфігурація та розміри виробу.

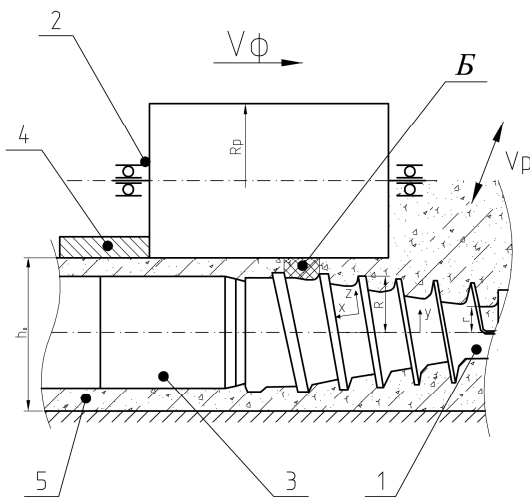


Рис. 1. Схема роликоекструзійного формування: 1 – шнек; 2 – ролик; 3 – порожнинноутворювач; 4 – стабілізуюча плита; 5 – виріб

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

Схема роликоекструзійного формування наведена на рис.1. Циліндричний жорсткий (або комбінований) ролик 2 виконує зворотньо-поступальні рухи на висоті виробу 5 зі швидкістю  $V_p$ . Шнекекструдер 1 нагнітає бетонну суміш у порожнину форми. При цьому попередньо утворюється форма отвору, який в подальшому калібрується порожнинноутворювачем 3. Весь агрегат завдяки рушійним силам реакції рухається в протилежному напрямку зі швидкістю формування  $V_f$ . Для усунення випору суміші з-під роликів передбачається стабілізуюча плита 4.

Гіпотетично, найбільші напруження виникають у зоні, коли елементарний об'єм знаходиться між роликом і серцевиною шнека. Розглянемо більш детально цей випадок (рис.2). В процесі формування виникає всебічне стискання елемента Б. Тому напруження в напрямку X між витками і Y між роликом та серцевиною шнека будуть відрізнятися від напружень в напрямку Z паралельному до витків шнека, на величину коефіцієнта бокового стискання  $k$  [7]:

$$\sigma_{xx} = k\sigma_{zz} \text{ та } \sigma_{yy} = k\sigma_{zz} . \quad (1)$$

Рівняння рівноваги сил діючих на елемент в напрямку осі Z (рис.2, a):

$$F_{\sigma 1} + F_p \cos \alpha - F_{\sigma 2} - F_g - 2F_\delta = 0 , \quad (2)$$

де  $F_{\sigma 1}$  та  $F_{\sigma 2}$  – сили, які виникають від дії нормальних напружень  $\sigma_{zz}$ , що діють у поперечному перетині каналу;  $F_p$  – дотична сила дії ролика на матеріал;  $F_g$  та  $F_\delta$  – сили тертя матеріалу з валом шнека та боковими поверхнями каналу.

Враховуючи те, що по висоті  $H$  витка зміна товщини витка шнека та розподіл напруг будуть неоднорідні, вирази для діючих сил і реакцій запишемо через середньоінтегральні значення  $\sigma_{zz}$  та  $\sigma_{xx}$ :

$$F_{\sigma 1} = \tilde{\sigma}_{zz} B_{cp} H; F_{\sigma 2} = (\tilde{\sigma}_{zz} + d\tilde{\sigma}_{zz}) B_{cp} H;$$

$$F_p = \tau_{zy} B_R d; F_\theta = (\tau_{zy} + d\tau_{zy}) B_r dz; \text{ та } (3)$$

$$F_\theta = \tau_{zy} H dz.$$

Величини, що входять до формули (3), визначаються із схеми, що показана на рис.2, б.

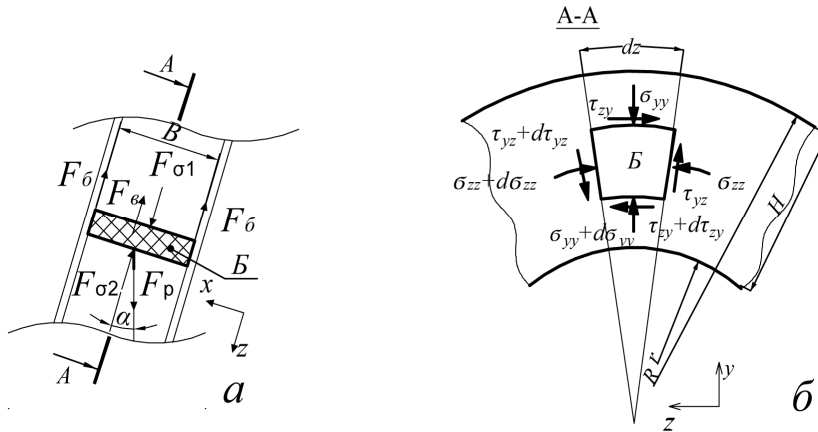


Рис.2. Схема напружень, діючих на елемент суміші Б:  
а – розгортка каналу шнека на площину; б – розріз А-А

Середньоінтегральні значення нормальних напружень по висоті витка записуються у вигляді:

$$\tilde{\sigma}_{zz} = \frac{1}{H} \int_0^H \tilde{\sigma}_{zz}(y) dy \text{ та}$$

$$\tilde{\sigma}_{xx} = \frac{1}{H} \int_0^H \tilde{\sigma}_{xx}(y) dy. \quad (4)$$

Величини ширини каналу:

$$B_{cp} = B - \text{ по середній лінії; } (5)$$

$$B_R = B + \frac{H}{2} \sin \delta - \text{ з радіусом витка } R; \quad (5a)$$

$$B_r = B - \frac{H}{2} \sin \delta - \text{ з радіусом вала } r. \quad (5b).$$

Дотичні напруження визначаються як добуток діючих відповідних нормальних на коефіцієнт зовнішнього тертя  $f$ :

$$\tau_{zy} = f \sigma_{yy} \text{ та } \tau_{xy} = f \sigma_{xx}. \quad (6)$$

Підставивши (3), (5...6) в (2) та виконавши певні спрощення, отримуємо:

$$-\frac{d\tilde{\sigma}_{zz}}{dz} + \frac{kf}{H} \tilde{\sigma}_{zz} (\cos \alpha - 1) +$$

$$+ \frac{kf}{2B} \tilde{\sigma}_{zz} (\sin \delta \cos \alpha + \sin \delta) - \frac{2kf}{B} \tilde{\sigma}_{zz} \cos \delta = 0 \quad (7)$$

Введемо позначення:  $F_{\alpha,\delta}$  – кутовий параметр, який залежить від кута транспортування  $\alpha$  та кута нахилу витків  $\delta$  і визначається за формулою:

$$F_{\alpha,\delta} = \frac{1}{H} (\cos \alpha - 1) + \frac{1}{2B} (\sin \delta \cos \alpha + \sin \delta) -$$

$$- \frac{2}{B} \cos \delta. \quad (8)$$

Вираз (7) буде мати кінцевий вигляд:

$$-\frac{d\tilde{\sigma}_{zz}}{dz} + \tilde{\sigma}_{zz} kf F_{\alpha,\delta} = 0. \quad (9)$$

Після розділення змінних у (9) отримаємо:

$$\frac{d\tilde{\sigma}_{zz}}{\tilde{\sigma}_{zz}} = kf F_{\alpha,\delta} dz = 0. \quad (10)$$

Якщо на початку ущільнення існує початкове напруження, яке створює стовп суміші, що знаходиться в бункері, то інтегрування (10) проводимо за умови  $\tilde{\sigma}_{zz} = \sigma_0$  при  $z=0$ , і отримуємо функцію:

$$\tilde{\sigma}_{zz}(z) = \sigma_0 \exp(kfF_{\alpha,\delta}z). \quad (11)$$

Розглядаючи умови формування в найбільш невідгядних положеннях, тобто коли суміш знаходиться між роликом та серцевиною шнека, сумарне напруження буде дорівнювати:

$$\tilde{\sigma}_{zz}(z) = (\sigma_0 + \sigma_p) \exp(kfF_{\alpha,\delta}z), \quad (12)$$

де  $\sigma_0 = pgh$  – початкове напруження, діюче на елемент суміші від сили ваги стовпа сумі-

$$\text{ші, } \sigma_p = g_x = g_{\max} \left( \frac{R_p h_0 + x^2}{R_p h_0 + x_k^2} \right)^{\beta-1} \exp(\pm\gamma) -$$

нормальні напруження, які створюються завдяки дії ролика при вдавлюванні підсипки [4];  $\rho$  – щільність бетонної суміші;  $g$  – 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;  $\beta$  – коефіцієнт, що залежить від властивостей бетонної суміші і визначається експериментально;  $\gamma$  – показник ступеня, який залежить від точки прикладення на дузі контакту та умов взаємодії ролика з бетонною сумішшю.

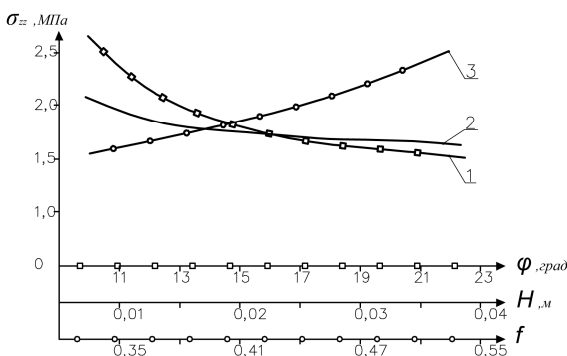


Рис. 3. Графіки залежності нормальних напружень від параметрів шнека: 1 - від кута нахилу витків  $\varphi$ ; 2 - від висоти каналу витків  $H$ ; 3 - від коефіцієнта тертя шнека із середовищем  $f$

На рис.3. графічно показано залежність нормальних напружень  $\sigma_{zz}$  від параметрів шнек-екструдера та умов формування. Як видно із рис.3 графік 1 зменшення кута нахилу витків  $\varphi$  призводить до збільшення напружень, що пояснюється геометрією гвинтової лінії шнеків. З практичної точки зору найбільш оптимальним є кут  $17^0 \dots 20^0$ . Але в нашому випадку таке припущення потребує експериментальної перевірки. Графік 2 (рис.3) показує залежність напруги  $\sigma_{zz}$  від висоти витка  $H$ . Із зменшенням висоти збільшується діюча напруга. На наш погляд, в цьому проявляється внесок напруг, які виникають від дії ролика: зі збільшенням радіуса ролика  $R_p$  до висоти шару суміші збільшується напруга та покращує їх розподіл по висоті. Але, з іншого боку, невеликі кут нахилу та висота витків зменшують продуктивність шнек-екструдерів і бетоноформуючого агрегату в цілому.

Залежність напруги  $\sigma_{zz}$  від умов формування, тобто від коефіцієнта тертя суміші із робочими органами, графічно відображає лінія 3 (рис.3), яка показує збільшення напруження практично за лінійною залежністю. Так, в розрахункових межах значення коефіцієнта  $f$  та його вплив на  $\sigma_{zz}$  досить суттєве і складає приблизно 60%.

### Висновки

В цій роботі зроблено аналіз взаємодії робочих органів при ролико-екструзійному формуванні багатопорожнинних виробів. Побудовано графічні залежності нормальних напруг від параметрів шнек-екструдера та умов формування, які показують, що найбільший вплив на процес формування має кут нахилу витків та коефіцієнт тертя суміші з робочими органами.

Для визначення оптимальних параметрів потрібно провести енергетичний розрахунок агрегатів ролико-екструзійного формування та експериментальне дослідження процесу ущільнення.

### Література

1. *Ли В. А.* Изготовление железобетонных изделий способом непрерывного формования. – М.: Наука, 1986. -98с.
2. *Гарнець В.М.* Прогресивні бетоноформуєчі агрегати і комплекси. - К.: Будівельник, 1991.—144 с.
3. *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.
4. *Гарнець В.М., Сосюра А.В.* Моделювання процесу роликово-екструзійного формування пустотних панелей// Техніка будівництва. – 2001. - №9.
5. *Рюшин В.Т.* Исследования рабочего процесса и методика расчета машин роликового формования бетонных смесей. - Автореферат дис. на соискание ученой степени к.т.н.. – Киев, 1986. - 20с.
6. *Патент 30776 А* Україна, МКВ В28В13/02/ Пристрій для формування виробів з бетонних сумішей/ Гарнець В.М., Зайченко С.В. - № 98062832 заявл. 01.06.98; опубл. 15.02.01, Бюл. №1.
7. *Басов Н.И.* Расчёт и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. - М.: Химия, 1986.—488с.

*Рецензент:* Л.Є. Пелевін, к.т.н., проф.  
(КНУБА, Київ)

*Отримано:* 04.05.2011р.