

- веке. – М.:2000. – №5. – С. 16-17. – №6. – С.26-27.
13. Розенталь Н.К. Коррозионные процессы в модифицированных бетонах // Зб. «Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж».- Донецьк.2003.-С.129-133.
  14. Чернявский В.Л. Оценка остаточного ресурса по мере функционального состояния эксплуатирующихся железобетонных конструкций /В.Л.Чернявский, Ю.Б.Гиль // Зб. наук. пр. Луганського нац. ун-ту. №40 (52).-Луганськ: Вид-во ЛНАУ. 2004.-С.279-285.
  15. Більченко А.В. Проблема довговічності залізобетонних конструкцій/ А.В.Більченко, О.Г.Кіслов, О.В.Синьковська // Збірник. Науковий вісник будівництва т.92.-№2, 2018.-с.163-166.

**Бильченко А.В., Кислов А.Г., Синьковская Е.В., Игнатенко А.В. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЯВЛЯЕТСЯ ОСНОВОЮ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ.**

Проблема долговечности железобетонных конструкций мостовых сооружений всегда актуальна при определении жизненного цикла мостов. При решении вопроса долговечности мостовых сооружений они рассматриваются как сложные технические системы, имеющие «слабые места», которые начинают разрушаться в первую очередь. Рассматривается вопрос влияния процесса разрушения защитного слоя железобетонных конструкций на последующие их разрушения. Выдвигаются гипотезы разрушения защитного слоя на основе методов механики разрушения материала в микрообъемах

при минимальных нагрузках в условиях появления неустойчивых трещин. Целью данной работы является отразить возможность возникновения трещин и разрушения защитного слоя бетона железобетонных конструкций с последующей коррозией арматуры при воздействии агрессивной среды в открытом пространстве.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, мостовые сооружения, защитный слой, неустойчивые трещины, механика разрушения, пластические деформации.

**Bilchenko AV, Kislov O.G., Sinkovskaya O.V., Ignatenko A.V. DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IS THE BASIS OF THE LIFE CYCLE OF BRIDGE STRUCTURES.**

The problem of durability of reinforced concrete structures of bridges is always relevant in determining the life cycle of bridges. When addressing the question of the durability of bridges, they are considered as complex technical systems that have “weak points” that begin to collapse in the first place. The question of the influence of the process of destruction of the protective layer of reinforced concrete structures on their subsequent destruction is considered. Hypotheses are put forward for the destruction of the protective layer on the basis of the methods of mechanics of the destruction of the material in microvolumes with minimal loads under the conditions of the appearance of unstable cracks. The aim of this work is to reflect the possibility of cracking and destruction of the protective layer of concrete in reinforced concrete structures with subsequent corrosion of reinforcement when exposed to a corrosive environment in an open space.

**Keywords:** reinforced concrete structures, bridge structures, protective layer, unstable cracks, destructive mechanics, plastic deformations.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-94-4-144-149

УДК 66.023

**Вінниченко В.І., Крот О.Ю., Савченко О.Г., Крот О.П.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

*(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [my\\_motherland@ukr.net](mailto:my_motherland@ukr.net); orcid.org/0000-0003-3700-5414, orcid.org/0000-0003-0291-9865, orcid.org/0000-0003-4210-5890, orcid.org/0000-0002-2376-4981)*

### ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОЛИКОВОГО МЛИНА-СУШАРКИ

Проаналізовано існуючі залежності, які відображають продуктивність роликів млинів. Показано, що вони не повністю ураховують основні фактори, від яких залежить процес у випадках використання млинів при одночасному помелу та висушуванні матеріалів. Внесено уточнення до формули, що дає змогу теоретичного визначення продуктивності роликів млина-сушарки з урахуванням не тільки механічних, але і теплотехнічних параметрів.

*НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА, Т. 94, №4, 2018*

**Ключові слова:** помел, сушка, роликівий млин, тепловий к.к.д., кратність циркуляції, ентальпія пароутворення, питома теплоємність, продуктивність.

**Вступ.** В останні десятиліття одержують усе більше поширення машини, у яких протікають сумісні стадії технологічного процесу. Це стосується й сушильно-помольних агрегатів. Їхнє застосування дозволяє зменшити площу, використану обладнанням, а також кількість одиниць обладнання, знизити енергоємність і металоємність технологічної лінії. Зниження енергоємності технологічних процесів є за теперішнім часом однією з найприоритетніших завдань в Україні [1]. У Харківському національному університеті будівництва та архітектури проводяться дослідження, присвячені створенню пневматичної роликівий сушильно-помольної установки, призначеної для одночасного сушіння й помелу матеріалів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Обладнання для сумісного помелу і сушки матеріалу широко застосовується у промисловості у всьому світі. Найбільше поширення воно набуло у виробництві цементу [2]. Це виробництва високої продуктивності, що обумовлює особливості обладнання. Зокрема, великі розміри та вага цілком припустимі [3]. Притискання роликів (котків) до розмельної поверхні в такому обладнанні здійснюється за допомогою власної ваги або з додаванням зусилля пружин, або з застосуванням зусилля гідроциліндра притискання (рис. 1) [3]. Узагальнена назва такого типу машин – тарілчасто-роликівий млини або роликівий млини.

Основною перевагою роликівий у порівнянні з кульовими барабанними млинами є знижені питомі витрати енергії (на 30-40%). Це стає одним з вирішальних факторів при виборі типу помольного агрегату. Однак, роликівий млинин мають і недоліки, головними з яких є: більш складна й багатокомпонентна конструкція агрегату, більша металоємність і габарити, більші експлуатаційні витрати, на порядок більш висока потрібна кваліфікація обслуговування.

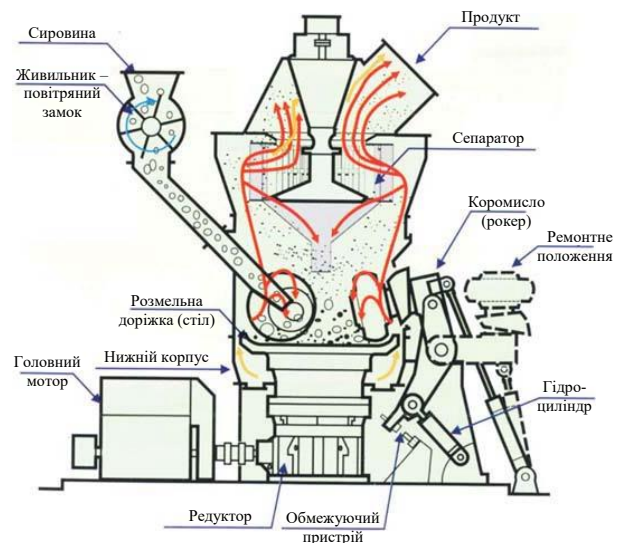


Рис. 1. Високоєфективний роликівий млин, приклад конструкції

Більшість існуючих методик розрахунку продуктивності роликівий млинів базується на їх спроможності подрібнювати матеріал [4]. Для ефективного ж використання такого обладнання у технології помелу та сушки необхідним є співставлення швидкості подрібнення матеріалу зі швидкістю зміни його вологості в процесі переробки.

Аналіз роботи роликівий млинів [3] дозволив також виявити й недоліки самого принципу ведення процесу подрібнення, які полягають у наступному:

- матеріали, схильні до налипання й утворення «коржів» при прокатуванні їх котками, не можуть перероблятися в роликівий млинах;
- у зв'язку із прискореним рухом матеріалу по столу, час контакту його з роликівий на розмельній доріжці дуже малий;
- значна частина матеріалу, який переміщається від центру до периферії стола відцентровими силами, проскакує повз котків й скидається зі стола, не піддаючись подрібненню;
- процес формування помольного шару матеріалу на столі і швидкість його просування погано керується;
- для переміщення матеріалу по столу використовуються відцентрові сили, у зв'язку із чим частота обертання стола має обмеження;

- роликові млини, по суті, є тихохідною машиною, чим й обумовлюється їхня висока металоемність.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Вказані особливості роликових млинів традиційної конструкції (рис. 2) роблять майже неможливим застосування описаного принципу роликового прокатування при розробці роликових млинів невеликої продуктивності для переробки липких матеріалів, якими є гіпс та фосфогіпс. Перспективним для притискання вважаємо застосування відцентрових сил, що діють на ролики. Застосування цього обладнання. Необхідним також є визначення продуктивності машини на основі співставлення швидкості подрібнення матеріалу зі швидкістю зміни його вологості в процесі переробки.

**Матеріали і методи досліджень.** Вищевказана проблема успішно розв'язана при використанні нової пневматичної сушильно-помольної установки. Сушильно-помольна установка створена на базі роликово-маятникового активатора, авторами якого є Федоров Г.Д., Савченко О.Г., Крот О.Ю., Буцький В.О. Супряга Д.В. Зусилля притискання роликів у запропонованій конструкції створюється відцентровими силами, тому доцільно створення швидкохідної машини. Очищення ж налишлого на розмельній доріжці матеріалу та запобігання агрегуванню здійснюють розпушувачі.

Сушильно-помольна установка працює так. Матеріал, який необхідно помолоти і висушити, подається за допомогою живильника на тарілчастий розкидач 10 (рис. 2), далі потрапляє на похилу розмельну доріжку 3. В процесі прокочування роликів по шару матеріалу, що розташований на доріжці, відбувається подрібнення. Матеріал поступово опускається до низу доріжки, де встановлено обмежувальний бортик. Змінюючи висоту бортика, можна регулювати час перебування матеріалу на робочій доріжці, тобто кількість циклів стискання-розпушення. У бортика рухається потік теплоносія, який підхоплює здрібнені частинки матеріалу. В установку для забезпечення транспортування матеріалу подають теплоносій з такими параметрами, які забезпечують сушіння тільки тієї

кількості матеріалу для помелу. Переміщення матеріалу відбувається за рахунок енергії руху газового потоку (рис. 3).

У помольний вузол сушильно-помольної установки 1 подається теплоносій з теплогенератора 2. Вихідний матеріал потрапляє в установку за допомогою живильника 3. Газовий потік (теплоносій) підхоплює частинки матеріалу, які помелені у млину та по вертикальній шахті виносить їх в циклон 4. В циклоні частинки матеріалу відокремлюються від теплоносія. Матеріал вивантажується з циклону, а теплоносій направляється на очищення від пилу в пилоосаджувальний пристрій 5. Рух теплоносія та частинок матеріалу забезпечується димососом 6.

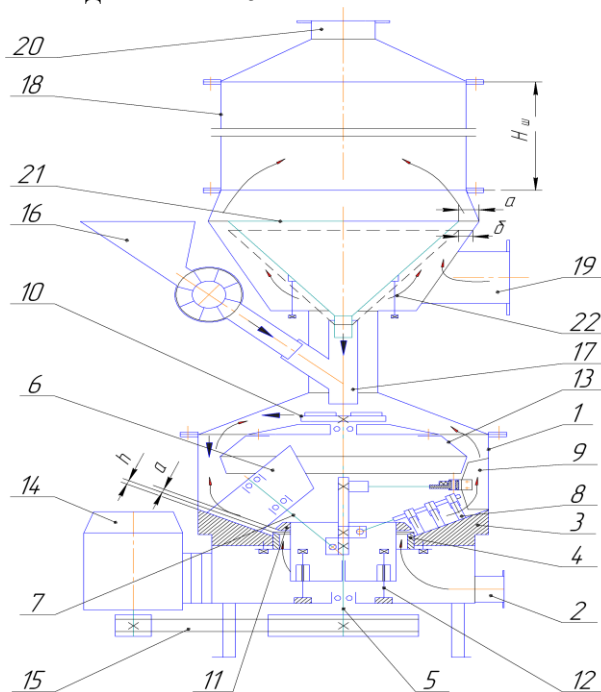


Рис. 2. Помольний вузол запропонованої сушильно-помольної установки

1 – корпус млина; 2 – патрубок подачі теплоносія; 3 – розмельна доріжка; 4 – кільце регулювання шару матеріалу; 5 – вал; 6 – ролик; 7 – вісь; 8 – розпушувачі; 9 – скидальний ніж; 10 – тарілчастий розкидач; 11 – стакан з напрямним кільцем; 12 – пристрій регулювання положення стакана; 13 – зонт; 14 – електродвигун; 15 – клинопасова передача; 16 – живильник; 17 – завантажувальний пристрій; 18 – шахта сушки; 19 – патрубок подачі теплоносія; 20 – вихідний отвір шахти сушки; 21 – лійка; 22 – пристрій регулювання положення лійки; 23 – вісь.



Витрата теплоносія визначається з рівняння теплового балансу процесу сушіння, а швидкість теплоносія повинна незначно перевищувати швидкість витання найбільш великих частинок, щоб тривалість перебування частинок у потоці теплоносія була найбільшою. Висушування матеріалу в таких установках відбувається у 5-7 разів інтенсивніше, ніж у барабанних сушарках.

При переміщенні газоматеріального потоку теплоносії передає своє тепло матеріалу, а матеріал, у свою чергу, втрачає вологу, тобто висушується. При цьому помольна й сушильна продуктивності установки повинні бути узгоджені. Помольна продуктивність визначається енергетичними параметрами процесу помелу. Під *сушильною продуктивністю* млина розуміють кількість вихідного матеріалу, в якому зменшена вологість в процесі помелу від початкової вологості матеріалу до вологості пилу [5].

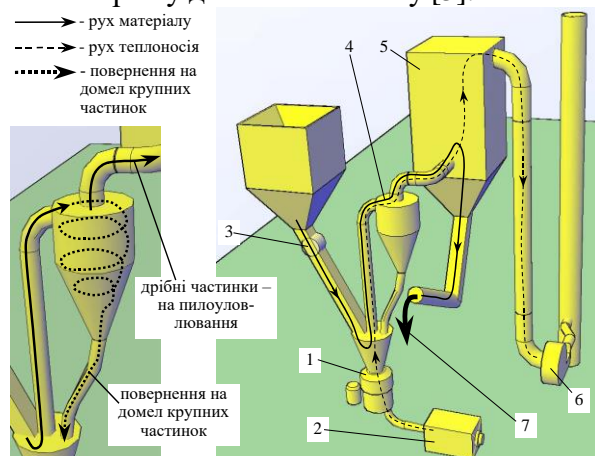


Рис. 3. Принципова схема роботи сушильно-помольної установки:

1 - помольний вузол, 2 - теплогенератор, 3 - живильник, 4 - циклон осадження матеріалу, 5 - пилоосаджувальний пристрій, 6 - димосос, 7 - сухий помелений матеріал

Звичайно в таких випадках за основу вважають той процес, який лімітує продуктивність. Тобто, помольна продуктивність повинна дорівнювати сушильній. Якщо прийняти, що робота помольної частини установки нагадує роботу бігунів, то для визначення теоретичної продуктивності можна розглянути існуючі залежності продуктивності бігунів [6]. Їхня продуктивність залежить від сукупного впливу ряду факторів: властивос-

тей матеріалу, що подрібнюється, його вологості, ступеня подрібнювання, від розміру, ваги й форми роликів, діаметра бігової доріжки, частоти обертання валу, на якому укріплені ролики.

Так автори [6-8], пропонують емпіричну формулу, яка враховує тільки масу ролика  $m$ , діаметр бігової доріжки  $D$  і частоту обертання вертикального валу  $n$

$$P = 2,15m \cdot D \cdot n.$$

На думку Сиденка П.М. [9] за кожним роликом при його русі залишається шар матеріалу товщиною, рівною розміру часток продукту. У пропонованій їм емпіричній формулі врахована відстань між осями роликів  $D$ , коефіцієнт розпушення шару матеріалу після роликів  $\mu$ , ширина ролика  $b$ , розмір часток продукту  $d$ , частота обертання ролика щодо вертикального вала  $n$ , насипна густина матеріалу  $\rho$ , кількість роликів  $z$

$$P = 188,4 \cdot \mu \cdot D \cdot b \cdot d \cdot n \cdot \rho \cdot z.$$

Касаткін А.Г., роблячи припущення, що всі частинки матеріалу мають форму, пропонує визначити помольну продуктивність [10] млина у такому вигляді

$$P = 4 \cdot i \cdot d \cdot b \cdot n \cdot r \cdot \rho,$$

де  $i$ -число роликів,  $d$ -діаметр шматків матеріалу, м;  $b$ -ширина ролика, м;  $n$ -частота обертання роликів, об/хв,  $r$ -середній радіус обертання роликів, м;  $\rho$ -питома вага матеріалу, кгс/м<sup>3</sup>. При використанні ролико-маятникової конструкції млина товщина шару матеріалу регулюється висотою кільця 4 (рис. 1), тобто подрібнення здійснюється в товстому шарі матеріалу, де частинки подрібнюються не тільки від зіткнення з мелючими органами й доріжкою, але й завдяки тертю їх між собою.

У машині, де на ролики діє ще й відцентрова сила, можна врахувати її вплив на продуктивність, підставивши замість швидкості руху ролика її вираз з формули відцентрової сили.

$$P = \frac{1}{k_{ц} m^{0,5}} F^{0,5} r^{0,5} B h \nu z$$

де  $m$  – маса ролика, кг;  $F$  – відцентрова сила, Н;  $r$  – радіус руху центру маси ролика, м.

Найбільше поширення одержала відома формула визначення продуктивності відцентрового ролико-маятникового млина.

У даній формулі враховується й товщина шару матеріалу під роликом:

$$P = \frac{1}{k_{ц}} v_p B h \gamma z \quad (1)$$

де  $k_{ц}$  – кратність циркуляції (кількість циклів «підйом частинки вгору – падіння часті під ролик» до того, як частинка не буде унесена газовим потоком);  $v_p$  – швидкість руху ролика (валка), м/с;  $B$  – ширина ролика (валка), м;  $h$  – товщина шару матеріалу під роликом (валком), м;  $\gamma$  – густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $z$  – кількість роликів (валків), шт.

Загальним недоліком усіх вищенаведених залежностей є та обставина, що не враховані фактори, які пов'язані з вологістю матеріалу і впливають на продуктивність.

Сушильна продуктивність найбільшою мірою залежить від кількості вологи в матеріалі й визначається по формулі [11]:

$$P_c = Q/q_v, \quad (2)$$

де  $Q$  – кількість випарованої вологи за одиницю часу, кг/с;  $q_v$  – питома витрата випарованої вологи на одиницю висушеного матеріалу, кг/кг (наприклад, 0,15 кг/кг).

Тепловий к.к.д. млина-сушарки визначається як відношення теоретичної питомої витрати тепла до фактичної витрати тепла на випаровування вологи на кілограм висушеного матеріалу

$$\eta = \frac{q_v I_p}{v_{ca} c_{ca} t_{ca}}, \quad (3)$$

де  $I_p$  – ентальпія пароутворення (чи питома теплота випаровування вологи, кДж/кг (2258 кДж/кг));  $v_{ca}$ ,  $c_{ca}$ ,  $t_{ca}$  – відповідно питома витрата сушильного агента (теплоносія) на одиницю висушеного матеріалу (кг/кг (наприклад, 10 кг/кг)), питома теплоємність (кДж/(кг·К); наприклад, 1,1 кДж/(кг·К) для димових газів при температурі 200<sup>0</sup>С (473К)) і температура теплоносія (К, наприклад 473К).

$$\eta = \frac{0,15 \text{ кг} / \text{кг} \cdot 2258 \text{ кДж} / \text{кг}}{1 \text{ кг} / \text{кг} \cdot 1,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 473 \text{ К}} = 0,65.$$

Тут в чисельнику – ідеальні витрати тепла на кг, в заміннику – реальні витрати.

Тоді сушильна продуктивність:

$$P_c = \frac{Q I_p}{\eta v_{ca} c_{ca} t_{ca}}. \quad (4)$$

Оскільки для забезпечення стабільної роботи млина-сушарки необхідною умовою

є рівність помольної й сушильної продуктивності, то, підставивши вираз питомої витрати випарованої вологи на одиницю висушеного матеріалу, кг/кг з формули (3) у формулу (2) отримуємо рівняння:

$$\frac{Q I_p}{\eta v_{ca} c_{ca} t_{ca}} = \frac{1}{k_{ц}} v_p B h \gamma z. \quad (5)$$

Але кінцева продуктивність млина сушарки при здійсненні одночасно двох процесів змінюється. Для визначення кінцевої продуктивності в рівняння (5) замість кількості випарованої вологи за одиницю часу ставимо його вираз [8]:

$$Q = \frac{P(W_1 - W_2)}{100 - W_1}, \quad (6)$$

де  $W_1$ ,  $W_2$  – відносна вологість матеріалу, початкова і кінцева, %;  $P$  – продуктивність установки, кг/с.

Виконавши перетворення з (5) і (6), одержимо:

$$P \frac{(W_1 - W_2) \cdot I_p}{\eta \cdot v_{ca} \cdot c_{ca} \cdot t_{ca} \cdot (100 - W_1)} = \frac{1}{k_{ц}} \cdot v_p \cdot B \cdot h \cdot \gamma \cdot z. \quad (7)$$

Тоді кінцева продуктивність млина – сушарки з урахуванням впливу параметрів сушки на помел матеріалу:

$$P = \frac{\eta \cdot v_{ca} \cdot c_{ca} \cdot t_{ca} \cdot (100 - W_1)}{(W_1 - W_2) \cdot I_p} \cdot \frac{1}{k_{ц}} \cdot v_p \cdot B \cdot h \cdot \gamma \cdot z. \quad (8)$$

Отже, на продуктивність агрегату, що здійснює одночасно сушіння й помел матеріалу впливають не тільки механічні параметри, але й параметри процесу висушування: початкова й кінцева вологість матеріалу, кількість, теплоємність та температура теплоносія, ентальпія пароутворення й тепловий к.к.д. процесу сушки.

Позначимо через коефіцієнт « $d$ » вплив параметрів сушки на кінцеву помольну продуктивність млина-сушарки:

$$d = \frac{\eta \cdot v_{ca} \cdot c_{ca} \cdot t_{ca} \cdot (100 - W_1)}{(W_1 - W_2) \cdot I_p}. \quad (9)$$

Тоді продуктивність млина-сушарки:

$$P = d \frac{1}{k_{ц}} \cdot v_p \cdot B \cdot h \cdot \gamma \cdot z. \quad (10)$$

**Висновки.** Виконано аналіз існуючих залежностей для визначення продуктивності роликів млинів. Запропоновано уточнену залежність для визначення продуктивності роликів млина-сушарки з урахуванням параметрів процесу висушування матеріалу.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” <http://195.78.68.67/minugol/docscatalog/document?id=245234103>
2. The Industrial Efficiency Technology Database «high-efficiency roller mills» <http://ietd.iipnetwork.org/content/high-efficiency-roller-mills>.
3. Огляд і аналіз сучасних конструкцій тарілчасто-коткових млинів. / Крот О.Ю., Федоров Г.Д., Супряга А.В., Супряга Д.В. // Матеріали Міжнародної научно-практичної конференції «Ефективні технологічні рішення в будівництві з використанням бетонів нового покоління» Харків, ХНУСА, 2015. – С. 213–230.
4. Reichert M. Research of iron ore grinding in a vertical-roller-mill / M. Reichert, C. Gerold, A. Fredriksson, G. Adolfsson, H. Lieberwirth. // Minerals Engineering, Volume 73, 15 March 2015, P. 109-115.
5. Кисельгоф М.Л., Соколов Н.В. Нормы расчета и проектирования пылеприготовительных установок М., Л.: Госэнергоиздат, 1958, - 158 с. Режим доступа: <http://chem21.info/info/336360>.
6. Дамдинова Д.Р. Бегуны для переработки кусковых, порошкообразных и волокнистых материалов. Улан-Удэ: ВСГТУ.-2002.-С.22.
7. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. М.: Машиностроение, 1975, 351 с.
8. Сапожников М. Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Высш. шк., 1971. 382с.
9. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. Изд. 2-е, перераб. М., «Химия», 1977 г. 368 с., 63 табл., 279 рис.
10. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 9 изд., пер. и доп. / А.Г. Касаткин. М.: Химия, 1973. 754с.
11. Роговой М.И., Кондакова М.Н., Сагановский. Расчеты и задачи по теплотехническому оборудованию предприятий промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат. – 1975. - С.83.

**Винниченко В.І., Крот А.Ю., Савченко А.Г., Крот О.П. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОЛИКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ-СУШИЛКИ.** Проанализированы существующие зависимости, отражающие производительность роликовых мельниц. Показано, что они не полностью учитывают основные факторы, от которых зависит процесс, в случае использования мельниц при одновременном помоле и высушивании материалов. Внесены уточнения в формулы, которые позволяет теоретически определять производительность роликовой мельницы-сушилки с учетом не только механических, но и теплотехнических параметров.

**Ключевые слова:** помол, сушка, роликовая мельница, тепловой КПД, кратность циркуляции, энтальпия парообразования, удельная теплостойкость, производительность.

**Vinnichenko V.I., Krot O.Yu., Savchenko O.G., Krot O.P. DETERMINATION OF THE PRODUCTIVITY OF A ROLLER MILL-DRYER.** The existing relationships reflecting the performance of roller mills are analyzed. It is shown that they do not fully take into account the main factors on which the process depends, in the case of the use of mills with simultaneous grinding and drying of materials. Refinements have been made to the formulas that allow theoretically to determine the performance of a roller mill dryer, taking into account not only mechanical, but also thermal parameters.

**Keywords:** grind, drying, roller mill, thermal efficiency coefficient, multiplicity of circulation, enthalpy of steam generation, specific heat capacity, productivity.