

**Мовчанюк О.М.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ТЕХНОЛОГІЯ БАШМАЧНОГО ПРЕСУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ

*Стаття присвячена розвитку технології башмачного пресування у світовій целюлозно-паперовій галузі. Технологія башмачного пресування стала однією з головних інновацій у виробництві паперу в 20 столітті. Сьогодні вона набула широкого розповсюдження як у виробництві картону, для якого власне і розроблялася, так і багатьох видів паперу, включаючи тисью. Розробником першої конструкції башмачного преса відкритого типу стала компанія Beloit, після чого, впродовж десяти років й інші провідні виробники картоноробних машин – Voith, Escher Wyss, Valmet – розробили і впровадили свої конструкції башмачних пресів. Всі вони були закритими. Нерухомий сердечник з башмаком і опорними елементами були поміщені в гнучку синтетичну оболонку, в результаті вся конструкція зовні стала нагадувати звичайний пресовий вал. Завдяки герметичному з'єднанню еластичної оболонки з бічними фланцями вдалося запобігти втраті мастила і забрудненню паперу, сукон, валів та станіни. Конструкція преса закритого типу компанії Beloit вперше була встановлена у середині 1990-х.*

*Підвищення сухості паперу (картону) під час мокрого пресування є прямо пропорційним питомому тиску і часу пресування і обернено пропорційним квадрату маси  $1 \text{ м}^2$  паперу, квадрату питомої поверхні волокон і в'язкості води за певної температури. Отже подовження зони пресування є одним з найважливіших напрямків підвищення сухості полотна. Модернізація пресової частини із встановленням башмачного преса замість звичайного валкового дозволяє збільшити продуктивність машини на 10–20%, заощадити до 2 ГДж на тонну готової продукції, покращити її характеристики. Встановлення такого преса на новій машині дозволить скоротити сушильну частину, зменшуючи капітальні витрати.*

**Ключові слова:** пресування, подовжена зона пресування, башмачний прес, розроблення конструкції, підвищення сухості картону.

**Постановка проблеми.** Однією з важливих світових тенденцій сучасності можна вважати постійний розвиток інноваційних технологій, що спрямовані на зменшення парникового ефекту [1, 2]. Процес сушіння паперу та картону має негативний вплив на навколишнє середовище. Враховуючи це, а також високу вартість та енергоємність цього процесу, скорочення витрат енергії на сушіння шляхом посиленого пресування є критичною метою промисловості [2, 3]. Тому підвищення ефективності процесу пресування залишається актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При виробленні більшості видів паперу та картону головним шляхом підвищення сухості після преса є збільшення тривалості пресування. Спочатку для цієї мети почали застосовувати преси з валами великого діаметра [3–6]. Застосування валів діаметром 1,5–1,8 м, м'якого покриття і двох сукон подовжує зону пресування до 100 мм (у звичайних валкових пресах вона складає 40–60 мм). Але велика маса валів вимагає додаткових витрат на створення потужних стійких фундаментів, ускладнює транспортування та заміну валів. Значно більш ефектив-

ними є преси з подовженою зоною пресування башмачного типу [4, 7, 8].

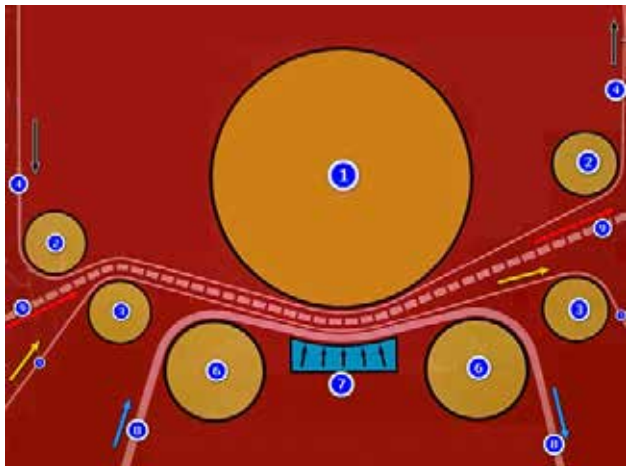
**Метою роботи** є аналіз розвитку технології башмачного пресування у світовій целюлозно-паперовій промисловості та огляд конструкцій башмачних пресів.

**Виклад основного матеріалу.** Основним аргументом для розробки технології башмачного пресування була можливість збільшення продуктивності існуючих і зниження капіталомісткості нових картоноробних машин. Хоча не одна провідна компанія проводила роботи у цьому напрямку, першим розробником башмачного преса стала американська компанія Beloit. Для цього їй знадобилося близько 13 років (1967–1980) [2].

Перший прес Extended Nip Press (ENP) з подовженою зоною пресування башмачного типу, що був розроблений компанією Beloit [4, 9–11] (рис. 1), складається з верхнього приводного вала 1 з регульованим прогином і нижнього опорного башмака 7 шириною 250 мм, що притискається до верхнього вала за допомогою гідроциліндрів. Між валом і башмаком, поверхня якого оброблена з відповідною кривизною, рухається нескінченна стрічка 8, що є синтетичною сіткою, пори якої методом напилення

заповнені поліуретаном. Пресування здійснюється між двома сукнами 4 і 5. Для зниження тертя між башмаком та стрічкою подається мастило. Спеціальна система мастила забезпечує створення на поверхні стрічки плівки масла товщиною 0,1 мм. За ширини башмака 250 мм середній тиск у зоні пресування досягає 4 МПа, а лінійний – 1000 кН/м [4].

У таблиці 1 наведено, коли конкурентам Beloit, компаніям Voith, Escher Wyss і Valmet, вдалося реалізувати свої перші башмачні преси [2]. Всі конструкції башмачних пресів, що були розроблені конкурентами Beloit, були закритими. Нерухомий сердечник з башмаком і опорними елементами були поміщені в гнучку синтетичну оболонку, в результаті вся конструкція зовні стала нагадувати звичайний пресовий вал. Завдяки герметичному з'єднанню еластичної оболонки з бічними фланцями вдалося запобігти втраті мастила і забруднення паперу, сукон, валів та станини [4].



**Рис. 1. Схема башмачного преса ENP [4]:**  
 1 – верхній пресовий вал; 2 і 3 – сукноведучі валики верхнього і нижнього сукна відповідно; 4 і 5 – верхнє і нижнє пресові сукна; 6 – сітковедучі валики; 7 – башмак; 8 – синтетична стрічка; 9 – паперове полотно

Таблиця 1

**Перші башмачні преси, що впроваджені конкуруючими компаніями [2]**

Рік	Компанія-виробник	Модель	Компанія-замовник
1980	Белойт, США	ENP-O	Weyerhaeuser, Спрінгфілд, США
1984	Фойт, Німеччина	Flexonip	Nettingsdorfer Papierfabrik, Нетінгсдорф, Австрія
1986	Ешер Вісс, Німеччина	Intensa-S	Model AG, Вайнфельден, Швейцарія
1990	Валмет, Фінляндія	Symbelt	Billerud Paper, Грувьон, Швеція

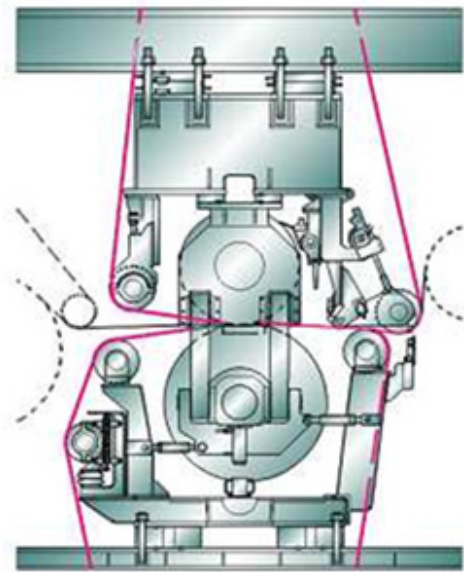
Beloit розпочав розробку закритого ENP (ENP-C) у 1985 році. Перший прес ENP-C був встановлений у середині 1990-х [2]. Сучасну конструкцію преса ENP-C представлено в інформаційних джерелах компанії Valmet, що пізніше придбала Beloit (рис. 2) [12].

Підвищення сухості паперу під час мокрого пресування є прямо пропорційним питомому тиску і часу пресування і обернено пропорційним квадрату маси 1 м<sup>2</sup> паперу, квадрату питомої поверхні волокон і в'язкості води за певної температури [4, с. 9]:

$$\Delta C = \frac{Pt}{q^2 s^2 \eta},$$

де  $P$  – питомий тиск пресування;  $t$  – час пресування;  $q$  – маса 1 м<sup>2</sup> паперу;  $s$  – питома поверхня волокон;  $\eta$  – в'язкість води за температури пресування.

З огляду на це, подовження зони пресування є одним з найважливіших напрямків підвищення сухості полотна [3, 4].



**Рис. 2. Конструкція преса ENP-C [12]**

З часом конструкцію відкритого преса ENP було удосконалено (рис. 3). Це підвищило його ефективність і дозволило зменшити знос захисного покриття та втрату мастила, покращити змащування, подовжити термін служби покриття і поршневого блоку. Додавання мастильного сплиску та щіткових ущільнювачів є двома основними оновленнями конструкції, що допомагають збільшити термін служби стрічки. Шар мастила, який запобігає контакту стрічки з поверхнею башмака, перешкоджає зношенню стрічки внаслідок тертя та тепла. Щіткові ущільнювачі, що оточують башмачний модуль і зони нанесення масла,

є бар'єром для потрапляння сміття. Оскільки масло стає чистішим, його можна використовувати довше. Крім того, ущільнювачі значно зменшують втрати масла, утримуючи його. Втрату масла та масляне запотівання ще більше зменшено додаванням серветок для стрічки [12].

Інші конструктивні зміни стосуються завантажувального поршневого блоку та радіуса башмака, що забезпечують рівномірне навантаження преса. Радіус башмака має великий вплив на профіль тиску в зоні пресування. Якщо радіус занадто великий, прес працює як валковий із високим піком на профілі тиску. Якщо радіус башмака занадто малий, прес працює як два валкові преси з двома профілями високого тиску. В обох випадках властивості паперу і термін служби одягу погіршуються, що призводить до низької продуктивності. Правильний аналіз геометрії радіуса та модифікації башмака значно покращують властивості аркуша і термін служби одягу [12].

Злиття Voith і Escher Wyss у 1994 р. призвело до симбіозу двох успішних конструкцій башмачних пресів. В результаті чого найкращі характеристики преса Flexonip та преса Nipco-Intensa-S були інтегровані в новий башмачний прес – NipcoFlex (рис. 4, 5) [2]. Перший башмачний прес для машини з виробництва паперу для друку став доступним у 1994 році. Він був встановлений Voith. А у 1999 році вперше башмачний прес Voith почав використовувати для виробництва санітарно-гігієнічного паперу [2, 14].

NipcoFlex вирізняється своєю нескладною, але надійною конструкцією. Башмак змащується гідродинамічно, забезпечуючи оптимальний профіль силового зусилля (див. рис. 4), що характеризується швидким початковим підвищенням тиску, потім дуже плавним його зростанням упродовж процесу зневоднення і різким спадом на виході із зони пресування. Такий різкий кінцевий перепад тиску запобігає повторному зволоженню полотна.

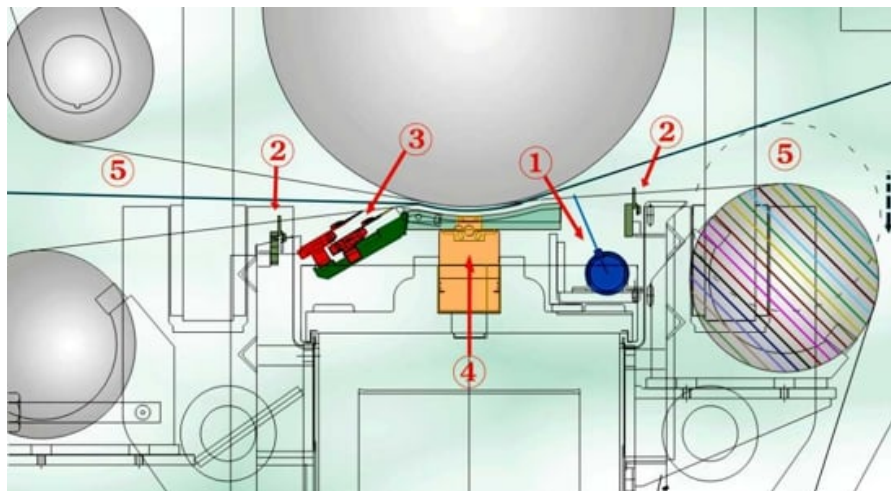


Рис. 3. Удосконалена відкрита конструкція ENP [12]: 1 – сприск мастила; 2 – щітки стрічки; 3 – серветки для стрічки; 4 – навантажувальний поршневий блок; 5 – оптимізація геометрії

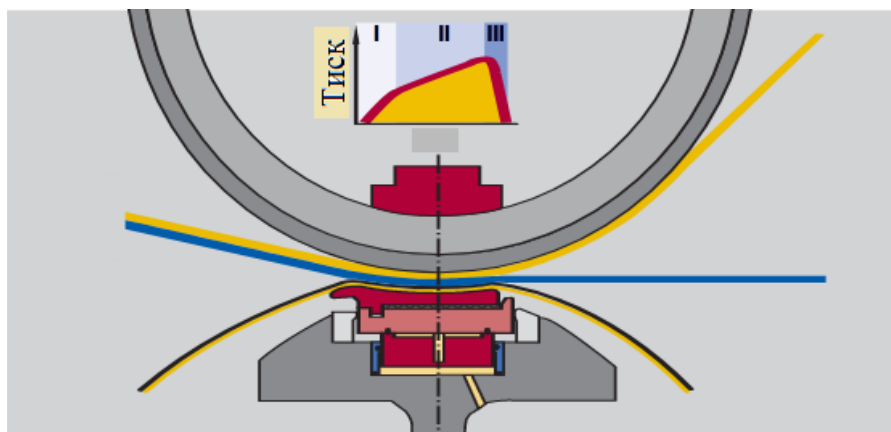


Рис. 4. Схема роботи преса NipcoFlex і розподіл тиску у зоні пресування [13]

Башмак притискається до валика за допомогою одного ряду гідростатичних елементів і зміщується у напрямку входу полотна в зону пресування. Виникає ідеально рівномірне зусилля на ширині зони пресування. Результатом є абсолютно рівномірний профіль вологості полотна у поперечному напрямку. Практичний досвід показав, що для пресів NipcoFlex зональна корекція не потрібна [13].

Основною перевагою технології башмачного пресування є підвищення сухості на виході з пресової частини. Залежно від виду паперу приріст сухості становить 5–10% порівняно зі звичайним валковим пресом, що призводить до збільшення продуктивності приблизно на 10–20%, коли башмачний прес встановлюється на існуючу машину. Коли ж такий прес встановлюється на нову папероробну машину, сушильна частина може бути

скорочена, таким чином зменшуються капітальні витрати [2].

За даними компанії Voith [13] результатом використання башмачних пресів NipcoFlex останніми у пресових частинах папероробних машин з виготовлення пакувального паперу є збільшення сухості полотна до 15% або навіть в деяких випадках і вище. А використання таких пресів на картоноробних машинах забезпечує кінцеву сухість 51–54%, при цьому значно підвищується щільність, міцність на розрив та жорсткість картону. Тому для виробництва крафтлайнера та тестлайнера була спеціально розроблена пресова частина Tandem-NipcoFlex (рис. 6), яка, окрім збільшення сухості, також забезпечує перевагу закритого та надзвичайно надійного руху полотна від формувальної частини машини до сушильної [13]. Пресові частини для виробництва картону, що складаються з двох башмачних пресів, пропонують й інші компанії [4, с. 63, 12].

Другою перевагою башмачних пресів є зниження потреби пари в секції сушіння. Башмачний прес дозволяє заощадити від 0,5 до 2,0 ГДж на тону паперу. Це може призвести до підвищення енергоефективності, незважаючи на збільшення споживання електроенергії на додаткову потужність привода та підвищену потужність насоса для очищення сукна [2].

Третя перевага – покращені характеристики готової продукції. Пресування є важливим для формування її властивостей, оскільки більшість фізичних і поверхневих характеристик певним чином пов'язані з щільністю аркуша. А пресування ущільнює папір та картон. Встановлення башмачного преса на картоноробну машину підвищує міцнісні властивості картону. Це дозволяє економити на рафінуванні та обробленні, використовувати меншу кількість добавок для зміцнення [2].

У звичайних валкових пресах імпульс пресування (добуток тиску та часу перебування в зоні тиску) є обмеженим. Тиск не можна збільшувати необмежено, оскільки папір може бути пошкоджений, особливо на високих швидкостях. Час перебування в зоні тиску зменшується зі збільшенням швидкості машини. Ці обмеження були подолані технологією башмачного пресування (табл. 2) [2].

**Висновки.** Таким чином, технологія башмачного пресування стала однією з головних інновацій у виробництві паперу в 20 столітті [2] і сьогодні широко використовується не лише у виробництві картону, для якого спочатку розроблялася, а й для багатьох видів паперу, включаючи тисью.

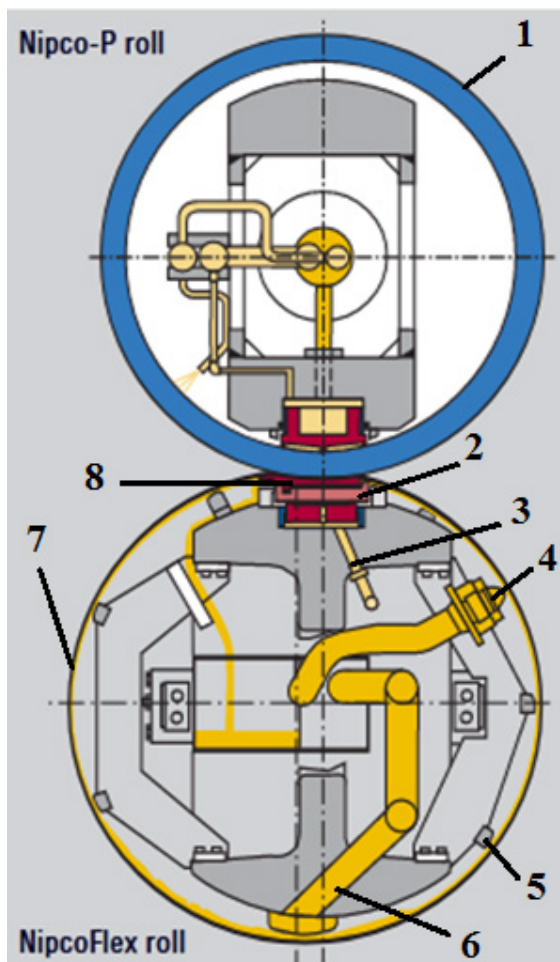


Рис. 5. Поперечний переріз NipcoFlex [13]:  
 1 – вал з регульованим прогином; 2 – притискний елемент; 3 – подача масла під тиском;  
 4 – розподільвач масла; 5 – направляючі планки сорочки; 6 – зворотний злив; 7 – гнучка оболонка;  
 8 – башмак

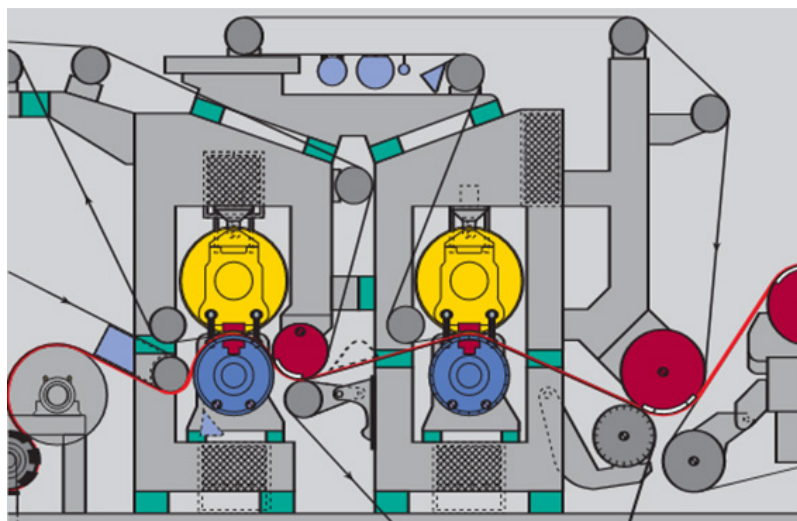


Рис. 6. Пресова частина Tandem-NipcoFlex для картоноробної машини [13]

Таблиця 2

Порівняння параметрів звичайного валкового та башмачного пресів [2]

Найменування параметра	Валковий прес	Башмачний прес
Довжина зони пресування, см	4–7	25–30
Лінійний тиск (кН/м)	150–450	1000–1500
Імпульс пресування (кН·с/м <sup>2</sup> )	3,0–5,0	15–21

Розробником першої конструкції башмачного преса стала компанія Beloit, після чого, впродовж десяти років й інші провідні виробники картоноробних машин – Voith, Escher Wyss, Valmet – розробили і впровадили свої конструкції башмачних пресів. Модернізація пресової частини із встановленням

башмачного преса замість звичайного валкового дозволяє збільшити продуктивність машини на 10–20%, заощадити до 2 ГДж на тону готової продукції, покращити її характеристики. Встановлення такого преса на новій машині дозволить скоротити сушильну частину, зменшуючи капітальні витрати.

Список літератури:

- McDonald, J.D. and Kerekes, R. J., Estimating limits of wet pressing on paper machines. *Tappi Journal*. 2017. v.16. № 2. P. 81–87.
- Shoe press technology <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/746/c3.pdf?sequence=17>.
- Мовчанюк О.М., Остапенко А.А., Дажук О.О., Куниця Ю.Б., Кривошеев А.О. Підвищення ефективності пресування у виробництві флутинг. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2022. №15.
- Мовчанюк О.М., Гомеля М.Д. Пресування паперового полотна: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2018. 140 с.
- Press a haute pression Overpress HL a la Cartiera Momo. *Papier, Carton et Cellulose*. 1985. № 11. P. 32.
- Rubenis D. High-impulse pressing. *TAPPI Journal*. 1984. V. 67. № 11. P. 78–80.
- Halsall S. Shoe Press-Design And Applications. *Ippta Journal*. 2012. V. 24, № 3. P. 131–135.
- Cocero J.A., Vega I J., Azad M.K. Advantages of Shoe Presses VIs. Roll Presses// *Ippta Journal*. 2007. V. 19, № 1. P. 117–119.
- Papermaking. Papermachine – Pressing. URL: <https://www.fibrelab.ubc.ca/files/2013/01/Topic-14-Papermaking-Pressing-text.pdf>.
- Beloit Extended Nip Press. Pima. 1981. V. 63. № 12. P. 9–12.
- Smith K. E., Cody H. M. Extended Nip Press operating at liner mills in U.S., Sweden, Japan. *Pulp and Paper*. 1983. № 10. P. 114–117.
- Valmet. Improving extended nip press (ENP) performance and blanket life. URL: <https://www.valmet.com/insights/articles/up-and-running/performance/FRENPUgrades/> (дата звернення 30.07.2023).
- Schuwert W. «Pole position» for Voith Sulzer shoe presses. *Together*. 2004. № 4. P. 34–40.

14. Ronneberger M. Shoe press technology from Voith: a worldwide success for tissue production. *Perini Journal*. № 43. <http://www.perinijournal.it/Items/en-US/Articoli/PJL-43/Shoe-press-technology-from-Voith-a-worldwide-success-for-tissue-production>. (дата звернення 30.07.2023).

#### **Movchaniuk O.M. SHOE PRESS TECHNOLOGY IN THE PAPER AND CARDBOARD MANUFACTURING**

*The article is devoted to the development of shoe pressing technology in the global pulp and paper industry. Shoe press technology became one of the main innovations in paper production in the 20th century. Today, it has become widespread both in the production of cardboard, for which it was actually developed, and in many types of paper, including pulp. The Beloit company developed the first design of an open-type shoe press, after which, over the course of ten years, other leading manufacturers of cardboard machines - Voith, Escher Wyss, Valmet - developed and implemented their designs of shoe presses. All of them were closed. A fixed core with a shoe and support elements were placed in a flexible synthetic shell, as a result, the entire structure externally began to resemble an ordinary press shaft. Thanks to the hermetic connection of the elastic shell with the side flanges, it was possible to prevent loss of lubricant and contamination of paper, cloth, shafts and bed. Beloit's closed press design was first installed in the mid-1990s.*

*The increase in the dryness of paper (cardboard) during wet pressing is directly proportional to the specific pressure and pressing time and inversely proportional to the square of the mass of 1 m<sup>2</sup> of paper, the square of the specific fiber surface and the viscosity of water at a certain temperature. Therefore, lengthening the pressing zone is one of the most important directions for increasing the dryness of the fabric. Modernization of the press part with the installation of a shoe press instead of a regular roll press allows you to increase the productivity of the machine by 10-20%, save up to 2 GJ per ton of finished products, and improve its characteristics. Installing such a press on a new machine will reduce the drying part, reducing capital costs.*

**Key words:** *pressing, extended pressing zone, shoe press, design development, increasing the dryness of the cardboard.*