

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА АКАДЕМІЯ ДРУКАРСТВА

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ВАТУЛЯК ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 686.12.056

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРІЗУВАННЯ  
КНИЖКОВО-ЖУРНАЛЬНИХ БЛОКІВ, ЩО РУХАЮТЬСЯ ЗА КОЛОВОЮ  
ТРАЄКТОРІЄЮ

05.05.01 – машини та процеси поліграфічного виробництва

13. Механічна інженерія

подається на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використані ідеї,  
результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело



/ Ватуляк Ю. В.

Науковий керівник:

Топольницький Петро Володимирович  
доктор технічних наук, професор

ЛЬВІВ – 2018

## АНОТАЦІЯ

**Ватуляк Ю. В. Удосконалення процесу обрізування книжково- журнальних блоків, що рухаються за коловою траєкторією. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.01 «Машини і процеси поліграфічного виробництва» (13 – Механічна інженерія). – Українська академія друкарства, Львів 2018.

У дисертаційній роботі проаналізовано процес обрізування книжково- журнальних блоків та устаткування для його реалізації. З'ясовано, що перспективним напрямком як удосконалення існуючого, так і при розроблені нового устаткування для обрізування книжково- журнальних блоків є дослідження способу та засобів для здійснення обрізування блоків під час їх руху за коловою траєкторією. Встановлено, що конструктивні особливості багатолезових різальних інструментів дозволяють, з огляду на силові та якісні показники обрізування книжково- журнальних блоків їх застосування в машинах карусельного типу, які порівняно з машинами лінійної будови є більш компактними і мають значно менші габарити.

В спеціальній науково-технічній літературі відсутні аргументовані рекомендації щодо параметрів операцій технологічного процесу обрізування книжково- журнальних блоків у карусельних машинах із використанням багатолезового різального інструмента. Не розкрита фізика явищ процесу обрізування блоків багатолезовим різальним інструментом під час їх руху за коловою траєкторією, не встановлено залежності технологічних зусиль від багатьох змінних параметрів, відсутня методика розрахунку технологічних навантажень і споживаної потужності тощо.

З метою виявлення доцільності застосування запропонованого способу обрізування багатолезовим різальним інструментом книжково- журнальних блоків, що рухаються за коловою траєкторією проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження з використанням розробленого модуля

встановленого на агрегаті незшивного скріplення Trendbinder TB-18 у зоні зміни напрямку руху кареток. На підставі отриманих результатів встановлено доцільність використання запропонованого різального інструмента для обрізування книжково-журнальних блоків в машинах карусельного типу, досліджено вплив геометричних параметрів багатолезового різального інструмента на силові та якісні показники процесу обрізування.

Для встановлення технічних можливостей застосування в якості різального інструмента плоского ножа під час обрізування книжково-журнальних блоків, що рухаються за коловою траєкторією проведені дослідження які показали, що в процесі обрізування неминуча зміна величини кута атаки леза інструмента обумовлена геометричними параметрами, радіусом повороту блока під час обрізування та розмірами самого різального інструмента. Значний діапазон зміни величин кута атаки різального інструмента, а також довжини лінії різання протягом циклу призводить до нестабільності енергосилових параметрів процесу обрізування, що негативно впливає як на потужність привода, так і на якість обрізування. На основі проведених досліджень встановлена недоцільність застосування суцільного різального інструмента для обрізування книжково-журнальних блоків при русі за коловою траєкторією.

Запропонована конструкція багатолезового різального інструмента дає змогу уникнути недоліків, які виникають із використанням суцільного різального інструмента, оскільки уможливлено регулювання кута атаки, а також глибини різання кожного окремого леза. Проведені аналітичні дослідження процесу обрізування книжково-журнальних блоків за допомогою багатолезового різального інструмента показали, що створюються значно кращі умови обрізування за рахунок плавного зростання глибини врізання лез багатолезового різального інструмента, а також трансформації кута різання окремих лез. З врахуванням геометричних розмірів книжково-журнальних блоків та властивостей паперу, як основного матеріалу, при стисненні та зусиль руйнування виведена аналітична залежність зусилля обрізування книжково-

журнальних блоків. На основі аналітичної залежності визначення зусилля обрізування книжково-журнальних блоків при русі за коловою траєкторією із використанням багатолезового різального інструмента побудовані діаграми зміни довжини лінії різання від кута встановлення леза та зміни зусилля обрізування залежно від глибини врізання леза в книжково-журнальний блок.

Доведено, що кут встановлення леза впливає на довжину лінії різання та кут різання, а відтак і на силу різання. З огляду на це, з врахуванням виду паперу із якого виготовлено книжково-журнальні блоки розроблено рекомендації щодо конструкції багатолезового різального інструмента. Для оптимізації лінійних розмірів багатолезового різального інструмента та зменшення сили різання, що виникає під час обрізування книжково-журнальних блоків із забезпеченням належної якості обрізування визначена доцільна є глибина різання окремими лезами.

За результатами проведених досліджень зусилля затиску книжково-журнальних блоків, необхідного для якісного обрізування при їх транспортуванні встановлено, що сила затиску книжково-журнальних блоків під час обрізування змінюється відповідно до зміни сил різання. Визначені: максимальні значення величини сили затиску 3500 Н (при радіусі повороту блока 400 мм, щільність розташування лез  $1,5^\circ$ ; мінімальні – 600 Н, при радіусі повороту блока 1200 мм і щільності розташування лез  $3^\circ$ .

Вперше розроблено методику розрахунку потужності приводу системи транспортування книжково-журнальних блоків під час їх обрізування багатолезовим різальним інструментом і проведено аналіз впливу геометричних параметрів різального інструмента на величину потужності. Так оптимальною з огляду на якість обрізування блоків є конструкція багатолезового різального інструмента, із кількістю лез зовнішнього комплекту 75...80% від кількості лез внутрішнього комплекту.

З метою визначення доцільної конструкції багатолезового різального інструмента, яка забезпечує необхідні якість та точність обрізування книжково-журнальних блоків проведено експериментальні дослідження процесу об-

різування книжково- журнальних блоків багатолезовим різальним інструментом під час переміщення за коловою траєкторією.

Проведені експериментальні дослідження показали, що зростання горизонтальної, вертикальної та лобової складових сили різання при збільшенні глибини різання леза носить характер, близький до лінійного незалежно від виду паперу, з якого виготовлені книжково- журнальні блоки. Зростання сили різання окремим лезом призводить до збільшення сумарної сили різання багатолезовим різальним інструментом, і, як наслідок, необхідності збільшення зусилля затиску книжкових блоків каретками транспортера, а відтак може спричинити погіршення якості обрізування книжкових блоків.

Розроблено програму для автоматизованого розрахунку площ зрізу багатолезовим різальним інструментом книжково- журнальних блоків та візуалізації процесу їх обрізування. Проведені дослідження виявили, що умови обрізування є кращими при застосуванні багатолезового різального інструмента конструкцією якого передбачено два комплекти лез – основний і допоміжний. Необхідні якість та точність обрізування досягається симетричною дією лез багатолезового різального інструмента обох комплектів на необрізану частину аркушів на завершальному етапі обрізування книжково- журнальних блоків. За результатами автоматизованого розрахунку виявлено найбільш навантажені леза багатолезового різального інструмента.

Під час проведення експериментальних досліджень обрізування книжково- журнальних блоків (товщиною до 20 мм, висотою до 200 мм) здійснювалось за допомогою інструмента із основним (кількість лез – 18) та допоміжним (кількість лез – 7) комплектами лез. Дослідження проводилися з використанням основного різального інструмента як з зовнішнього так і з внутрішнього боку траєкторії переміщення книжково- журнальних блоків. Розроблена конструкція та геометричні розміри різального інструмента забезпечують якісне і точне обрізування книжково- журнальних блоків.

За результатами комп’ютерного експрес-аналізу якості обрізування книжково- журнальних блоків, розраховано параметр показника якості – зна-

чення величини мікронерівностей ліній обрізу. Встановлено, що для зразків, отриманих на експериментальному стенді, середня висота мікронерівностей становить  $0,015 - 0,057$  мм, що менше за значення ( $0,282 - 0,385$  мм), отримані за результатами дослідження зразків, отриманих у виробничих умовах з використанням різальної машини.

Результати проведених досліджень дозволили розробити практичні рекомендації щодо проектування як конструкції та геометричних розмірів різального інструмента, так і секції обрізування багатолезовим різальним інструментом книжкових блоків, що рухаються за коловою траєкторією:

- при радіусі повороту книжкового блока, наприклад,  $R = 800$  мм, з огляду на сили різання та габарити різального інструмента, слід приймати величину кутової відстані між вершинами сусідніх лез  $2^\circ$ .
- для якісного обрізування блоків відстань між площинами обрізування та затиску не повинна перевищувати 0,5 мм (при обрізуванні книжкових блоків виготовлених з м'яких паперів відстань повинна бути мінімальною).

*Ключові слова:* багатолезовий різальний інструмент, книжково- журнальний блок, колова траєкторія, математична модель, обрізування, якість, площа зрізу, зусилля різання.

## ABSTRACT

**Vatulyak Y.V. Improvement of Book Blocks Trimming Process throughout their Circumferential Movement. – Qualification Scientific Thesis on the Rights of Manuscript.**

Dissertation Thesis for Obtaining a Scientific Degree of Philosophy Doctor in Technical Sciences by Specialty 05.05.01 «Machines and Processes of Print Production» (13 – Mechanical Engineering). – Ukrainian Academy of Printing, Lviv 2018.

The process of book blocks cutting and equipment for its implementation have been analyzed in the dissertation thesis. It was found out that the development of methods and tools for book blocks cutting during their circumferential movement is a very promising trend aimed to improve book blocks cutting equipment. Peculiarities of multi-blade cutting tools allow their use for book blocks trimming in carousel printing presses. Carousel printing presses have much smaller dimensions compared with in-line printing presses.

In special scientific and technical literature there are no reasoned recommendations concerning parameters of technological process of book blocks cutting in carousel machines by means of multi-blade cutting tool. The physics of the process of book blocks trimming during their circumferential movement has not been disclosed as well the dependence of technological effort from many variable parameters has not been established; there is no method of calculating technological loads and power consumption, etc.

The study of the process of book blocks trimming during their circumferential movement using a continuous cutting tool showed that the change in the angle of the tool's blade fitting is caused by geometric parameters, radius of block rotation during trimming and dimensions of the cutting tool. The angle of the blade fitting in the process varies in a significant range, which causes a change in the length of the cutting line during the block trimming cycle. The significant range of changes in the angle of a cutting tool attack, as well as the length of the cutting line

leads to instability of energy-power parameters of the trimming process, indicating the inapplicability of the continuous cutting tool for book blocks trimming during their circumferential movement.

The offered construction of a multi blade cutting tool allows avoiding problems that occur with the use of a continuous cutting tool because it allows adjusting the angle of the attack, as well as the depth of the cutting of each individual blade. The analytical researches of the process of book blocks trimming by means of multi-blade cutting tool showed that the considerably better conditions of trimming are created and cut efforts are reduced due to a soft growth of the depth of blade cutting and transformation of the angle of cutting of individual blades. Taking into account properties of paper, geometric sizes of book blocks and geometric parameters of cutting tool the analytical dependence has been derived concerning the efforts of their trimming as the function of characteristics ( $E, n, \delta_k$ ). On the basis of the obtained analytical dependence the efforts have been calculated applied to the book blocks trimming during their circumferential movement using a multi-blade cutting tool. The graphs have been built representing the change of the cutting line length depending on the blade fitting angle and changes in the cutting efforts depending on the depth of the blade cut in the book block.

It was proved that the angle of the blade fitting affects the length of the cutting line and the angle of cutting, and thus it influences on the force of cutting. Considering this and taking into account the type of paper from which the book blocks are produced it is recommended to fit separate blades of multi-blade cutting tool at the angle of  $18^{\circ}$ - $25^{\circ}$ . To optimize the linear sizes of multi-blade cutting tool and reduce the cutting force that arises during the trimming of book blocks with a proper trim quality the depth of a separate blade of  $0.3 - 0.7$  mm is well expedient.

According to the results of the research concerning the efforts of the book blocks clamping necessary for a high-quality trimming of the book blocks during their transportation it has been determined that the force of the book blocks clamp varies according to the change in cutting forces. Maximum values of the clamp

force is 3500 N (the radius of the block rotation is 400 mm, the density of the blades fitting is 1.5 °, the minimum is 600 N, at the radius of the block rotation equal to 1200 mm and the density of the blades fitting equal to 3 °).

For the first time a technique has been developed to calculate the driving power of the book blocks transportation system during the trimming. The analysis of the influence of geometric parameters of a multi-blade cutting tool on the power rate has been carried out. It has been found that the construction of a multi-blade tool, where a number of auxiliary kit blades is 75... 80% of the number of the main set blades is optimal for a quality trimming of book blocks.

In order to determine the design of the multi-blade cutting tool, which provides the necessary quality and accuracy of book blocks trimming the experimental research of the process of book blocks trimming during their circumferential movement has been carried out.

During the experimental research the book blocks trimming (thickness up to 20 mm, height up to 200 mm) was carried out by means of a multi-blade cutting tool consisting of one set of blades (one-set instrument), as well by means of the tool with the main (18 blades) and auxiliary (7 blades) sets of blades. During the research the main set of blades was located on both external and internal sides of the trajectory of the book blocks movement.

The design of the cutting tool provides a high-quality trimming of the main part of the block sheet and the reproach of the median part, at the final stage of the trimming cycle. High-quality trimming is achieved by constructive features of multi-blade cutting tool, namely: the tops of individual blades of the main set overlap the tops of the auxiliary blades.

The experimental researches have shown that the growth of horizontal, vertical and lateral components of the cutting force when increasing the depth of the blade cutting has a linear-close nature regardless of the type of paper used for book blocks production. Growth of the cutting force of a separate blade leads to an increase in the total cutting force of a multi-blade cutting tool, and as a result, the need to increase the effort of the book block clamp performed by the carriages of

the transporter, and thus can cause deterioration of the quality of book blocks trimming.

The program for automated calculation of book blocks cut areas performed by multi-blade cutting tool and visualization of the process of book blocks trimming has been developed. Experimental studies have revealed that the trimming conditions are the best when applying a multi-blade cutting tool supplied with two sets of blades – basic and auxiliary ones. According to the results of automated calculation the most loaded blade of multi-blade cutting tool have been revealed.

According to the results of computer express-analysis of the book blocks trimming quality, the values of size of micro irregularities of the trim lines have been calculated as the parameter of quality indicator. It has been determined that for the samples obtained at the experimental stand, the average height of micro irregularities is  $0.015 - 0.057$  mm, which is less than ( $0.282 - 0.385$  mm), obtained according to the study of samples made in production conditions on a cutting press.

The results of the research allowed to develop practical recommendations concerning the design, structure and geometric parameters of cutting tool as well on the application of the trimming section of the multi-blade cutting tool of book blocks during their circumferential movement. At a radius of rotation of the book block, for example,  $R_k = 800$  mm, taking into account the force of cutting and dimensions of the cutting tool, it is necessary to take the value of angular distance between the tops of neighboring blades of  $2^\circ$ . For quality trimming of blocks the distance between the planes of trimming and clamping should not exceed 0.5 mm (when trimming the book blocks made of soft papers the distance should be 0.2 mm).

*Keywords:* multi-blade cutting tool, book block, circumferential movement, mathematical model, cutting, quality, cut area, cutting strength.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Полюдов О.М., Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Дослідження параметрів процесу безвистійного обрізування книжкових блоків у машинах карусельного типу. Наукові записки. 2003. № 6. С. 3 – 7.
2. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Конструктивні особливості різального інструмента для обрізування книжкових блоків у машині карусельного типу. Наукові записки. 2004. № 7. С. 20 – 23.
3. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Експериментальні дослідження процесу обрізування книжкових блоків багатолезовим різальним інструментом у машині карусельного типу. Наукові записки. 2006. №9. С. 44 – 48.
4. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Вдосконалення технології виготовлення брошюри в обкладинці з клапанами. Квалілогія книги. 2011. № 2(20). С. 110 – 114.
5. Топольницький П. В., Ватуляк Ю.В. Вплив взаємного розташування лез багатолезового різального інструмента на його розміри. Комп'ютерні технології друкарства. 2013. № 30. С. 187 – 190.
6. Ватуляк Ю.В. Визначення технологічно необхідного зусилля затискування книжкових блоків, що рухаються за коловою траєкторією під час їх обрізування. Поліграфія і видавнича справа. 2014. № 4 (68). С. 20 – 26.
7. Топольницький П. В., Ватуляк Ю. В. Теоретичні дослідження силових параметрів обрізування книжково- журнальних блоків при переміщенні за коловою траєкторією. Комп'ютерні технології друкарства. 2015. № 34. С. 182 – 190.
8. Топольницький П. В., Ватуляк Ю.В. Кут атаки леза, як важливий фактор якості та точності обрізування книжково- журнальних блоків. Комп'ютерні технології друкарства. 2016. № 36. С. 96 – 101.
9. Топольницький П. В., Ватуляк Ю.В. Теоретичні дослідження впливу конструкції багатолезового різального інструмента на деформацію блоків,

що виникає в процесі обрізування під час їх переміщення за коловою траєкторією. Комп'ютерні технології друкарства. 2017. № 37. С. 110 – 118.

### ***Публікації у збірниках наукових конференцій***

10. Ватуляк Ю.В. Вплив геометричних параметрів і виду паперу на силові параметри процесу обрізування книжкових блоків. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів : тези доп. (м. Львів, 31 січня – 3 лютого 2006 р.). Львів: УАД, 2006. С. 4.

11. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Особливості геометричних параметрів різального інструменту для обрізування переднього поля книжкових блоків у м'якій обкладинці з клапанами. XVI Міжнародна науково-практична конференція з проблем видавничо-поліграфічної галузі : тези доп. (м. Київ, 15 травня 2013 р.). Київ: УкрНДІСВД, 2013. С. 87 – 88.

12. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Обґрунтування геометричних параметрів різального інструмента залежно від радіусу переміщення книжкових блоків. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів : тези доп. (м. Львів, 4 – 7 лютого 2014 р.). Львів: УАД, 2014. С. 13.

13. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Вплив радіуса повороту книжкових блоків та геометричних характеристик багатолезового різального інструмента на зусилля затискування під час обрізування. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів : тези доп. (м. Львів, 16 – 20 лютого 2015 р.). Львів: УАД, 2015. С. 8.

14. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Теоретичні дослідження силових параметрів обрізування книжково-журналльних блоків при переміщенні за коловою траєкторією. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів : тези доп. (м. Львів, 16 – 19 лютого 2016 р.). Львів: УАД, 2016. С. 4.

15. Топольницький П.В. Ватуляк Ю.В. Дослідження явища трансформації дійсного кута загострення леза під час обрізування книжково- журнальних блоків, що рухаються за коловою траєкторією. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів : тези доп. (м. Львів, 14 – 17 лютого 2017 р.). Львів: УАД, 2017. С. 6.

16. Ватуляк Ю.В. Безвистійне обрізування переднього поля книжково- журнальних блоків у обкладинці із клапанами. Скориновские чтения 2016: книга как феномен культуры, искусства, технологии: материалы II Международного форума. (г. Минск, 6–7 сентября 2016 г.). Минск : БГТУ, 2016. С. 170-172.

### ***Патенти на винахід***

17. Пристрій для обрізування книжкових блоків: пат. 76533 Україна: МПК B26 D 1/01. П. В. Топольницький, О.М. Полюдов, Ю.В. Ватуляк. № 20040604418; заявл. 08.06.2004; опубл. 15.08.2006., Бюл. №8.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	17
РОЗДІЛ 1. Сучасний стан теорії і практики обрізування книжково-журнальних блоків та тенденцій удосконалення різального устаткування ..... 25	
1.1. Аналіз процесу обрізування книжково-журнальних блоків .....	25
1.2. Книжково-журнальна продукція: класифікація, різновиди, матеріали виготовлення та їх характеристики ..... 36	36
1.2.1. Види книжково-журнальної продукції ..... 36	36
1.2.2. Папір: класифікація, різновиди будови, складові компоненти, характеристики і методи їх визначення ..... 39	39
1.3. Устаткування для обрізування книжково-журнальної продукції: класифікація та сфера застосування ..... 42	42
1.4. Аналіз наукових досліджень процесу обрізування книжково-журнальної продукції ..... 46	46
1.5. Висновки до розділу ..... 48	48
РОЗДІЛ 2. Аналітичні дослідження процесу обрізування напівфабрикатів багато-лезовим різальним інструментом ..... 51	
2.1. Дослідження процесу обрізування книжково-журнальних блоків із використанням суцільного різального інструмента під час їх переміщення за коловою траєкторією ..... 51	51
2.2. Конструктивні особливості БРІ ..... 61	61
2.2.1. Дослідження геометричних параметрів БРІ ..... 62	62
2.2.2 Визначення розмірів БРІ ..... 64	64

2.3. Теоретичні дослідження силових параметрів процесу обрізування книжково- журнальних блоків під час переміщення за коловою траєкторією .....	67
2.4. Визначення сили затиску книжково- журнальних блоків під час обрізування .....	81
2.5. Енергосилові параметри процесу обрізування КЖБ багатолезовим різальним інструментом спеціальної конструкції .....	86
2.6. Висновки до розділу .....	90
<b>РОЗДІЛ 3. Матеріальна база та результати експериментальних досліджень процесу обрізування переднього поля книжково- журнальних блоків, що рухаються за коловою траєкторією .....</b>	<b>92</b>
3.1. Мета і програма експериментальних досліджень .....	92
3.2. Метод і засоби експериментального дослідження .....	93
3.2.1. Лабораторний стенд для експериментальних досліджень. ....	93
3.2.2. Методика вимірювання сил різання та зусилля затиску КЖБ .....	99
3.3. Результати експериментальних досліджень .....	103
3.3.1. Вплив кута атаки леза на величину складових зусилля обрізування КЖБ .....	104
3.3.2. Дослідження впливу швидкості переміщення книжкового блока на величину складових сили обрізування .....	107
3.3.3. Дослідження впливу глибини різання леза в блок на величини складових зусилля обрізування .....	113
3.4. Висновки до розділу .....	114
<b>РОЗДІЛ 4. Дослідження точності та якості обрізування книжково- журнальних блоків багатолезовим різальним інструментом .....</b>	<b>117</b>

4.1. Визначення оптимальних параметрів БРІ з огляду на якість обрізування КЖБ.....	117
4.2. Комп'ютерний експрес-аналіз якості обрізування КЖБ за допомогою БРІ.....	126
4.3 Висновки до розділу .....	130
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	131
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	133
ДОДАТКИ.....	144
ДОДАТОК А. Публікації .....	145
ДОДАТОК Б. Програма розрахунку площ зрізу КЖБ окремими лезами БРІ .....	150
ДОДАТОК В. Аналітична залежність кута різання $\alpha_p$ від глибини різання $\delta$ лезом БРІ під час обрізування КЖБ, що рухається за коловою траєкторією .....	152
ДОДАТОК Г. Результати експериментальних досліджень впливу кута атаки леза на величину складових сили обрізування аркушів картону .....	154
ДОДАТОК Д. Акт впровадження наукових досліджень в навчальний процес.....	157
ДОДАТОК Е. Акт апробації результатів науково-журнальних блоків .....	158

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- БРІ – багатолезовий різальний інструмент;
- КЖБ – книжково-журнальний блок;
- КККППВ – кафедра комп’ютеризованих комплексів поліграфічного і пакувального виробництв;
- МНС – машина незшивного клейового скріplення;
- РІ – різальний інструмент;
- УАД – Українська академія друкарства;
- $a$  – крок спіралі;
- $l_p$  – довжина лінії контакту леза з книжковим блоком;
- $R_k$  – радіус повороту КЖБ;
- $H$  – товщина КЖБ;
- $L$  – висота КЖБ;
- $n_l$  – кількість лез БРІ;
- $n_3$  – кількість задіяних лез БРІ;
- $F_p$  – сила різання;
- $F_{\Gamma}$  – горизонтальна складова сили різання;
- $F_v$  – вертикальна складова сили різання;
- $F_l$  – лобова складова сили різання;
- $N$  – потужність
- $V_6$  – лінійна швидкість КЖБ;
- $r_z$  – радіус заокруглення різальної крайки леза;
- $F_N$  – нормальні сили;
- $\varphi_i$  – кут повороту КЖБ;
- $\alpha_p$  – кут різання;
- $\alpha_3$  – кут загострення леза;
- $\delta$  – глибина різання;

$\beta$  – кут атаки леза (кут між напрямком переміщення блока і лезом);  
 $\gamma$  – кут між вершинами сусідніх лез;  
 $k$  – коефіцієнт зміщення;  
 $\psi$  – кут нахилу вектора лінійної швидкості блока до полярної осі;  
 $\beta_{\Pi}$  – кут встановлення лез БРІ;  
 $\rho$  – відстань від центра повороту КЖБ до вершини леза БРІ;  
 $E_y$  – умовний модуль пружності;  
 $\varepsilon$  – відносна деформація;  
 $\sigma$  – напруження стиснення;  
 $f$  – коефіцієнт тертя;

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Якість, зовнішній вигляд, а також вартість книжково- журнальної продукції в значній мірі залежать від технологічного процесу її виготовлення та устаткування для виконання певних технологічних операцій. З метою досягнення більш високої продуктивності та якості книжково- журнальної продукції у спеціалізованих поліграфічних підприємствах широке застосування отримали потокові лінії. При цьому основною вимогою до операційного устаткування залученого у потокові лінії та призначеного для виконання окремих технологічних операцій є однакова їх продуктивність. На практиці об'єднання операційних машин у потокові лінії (беручи до уваги різну швидкодію машин) переважно призводить до вимушеного зменшення продуктивності. Так, агрегати незшивного клейового скріplення відомих виробників поліграфічного обладнання працюють з швидкістю до 300 циклів/хв., а машини для обрізування книжково- журнальних блоків – до 160 циклів/хв [5, 6, 60, 119, 120]. Така різниця у швидкостях пояснюється способом виконання певної технологічної операції – під час транспортування напівфабрикату чи під час його зупинки.

У відомих потокових лініях для виготовлення книжково- журнальної продукції («KOLBUS», «Muller Martini» тощо) усі технологічні операції, за винятком обрізування КЖБ з трьох боків, виконуються під час транспортування напівфабрикатів, що змушує у виробничих умовах комплектувати лінію декількома триножковими різальними машинами, засобами розгалуження потоку КЖБ та зведення їх у один потік. Можливий і інший варіант, який полягає у вилученні КЖБ з потокової лінії і здійсненні операції обрізування блоків у різальному цеху (після обрізування книжково- журнальні блоки знову вводяться у потокову лінію для виконання наступних технологічних операцій).

Очевидно, що обидва варіанти призводять до збільшення кількості, устаткування, споживаної електроенергії, виробничих площ, кількості обслуговуючого персоналу тощо і, як наслідок, збільшення собівартості книг.

Наведене вище у повній мірі стосується і спеціалізованого устаткування для обрізування переда блока, яке застосується у потокові лінії при виготовленні книжково- журнальної продукції у складаній обкладинці («англійська» брошюра). Головка та хвостик книги обрізуються в триножовій різальній машині [90].

З метою спрощення технологічного процесу виготовлення «англійської» брошюри та зменшення її собівартості на кафедрі комп’ютеризованих комплексів поліграфічного і пакувального виробництв запропоновано виконувати операцію обрізування переда «англійської» брошюри спеціальним різальним інструментом безпосередньо в агрегаті незшивного клейового скріплення.

Сучасний технологічний процес виготовлення КЖБ у обкладинці з клапанами передбачає застосування підбиральної машини, агрегата незшивного клейового скріплення, спеціального устаткування (наприклад, модуль «EasyFly для обрізування переда книжкового блока) та триножової різальної машини для обрізування головки та хвостика, що призводить до зростання вартості устаткування потокової лінії, збільшення виробничих площ, енергоємності устаткування, кількості обслуговуючого персоналу і, як наслідок, собівартості виробу.

При цьому операція обрізування переда брошюри передує операції вставляння блока в обкладинку. Обрізування переда брошюри пропонується проводити на ділянці повороту (zmіни напрямку руху) транспортера, на якій каретка рухається по дузі, що дозволяє введення в агрегат додаткового різального модуля не збільшуючи габаритів устаткування у цілому.

Проведений аналіз наукових публікацій засвідчив, що питання обрізування переда книжкових блоків, що транспортуються за коловою траєкторією не висвітлено.

Отже, удосконалення технологічного процесу обрізування книжкових блоків та пристрою для його реалізації є актуальною задачею, вирішення якої

дозволить спростити технологічний процес виготовлення «англійської» брошюри і, як результат, зменшити їх собівартість.

### **Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами.**

Напрям охоплених в дисертаційній роботі досліджень відповідає Закону України №2519–VI «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», стаття 3, пункт 3, напрямок розвитку науки і техніки – енергетика і енергоефективність. Дані дослідження безпосередньо пов'язані з напрямками наукових досліджень кафедри комп’ютеризованих комплексів поліграфічного та пакувального виробництв УАД.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу обрізування книжково- журнальних блоків, що рухаються за коловою траєкторією багатолезовим різальним інструментом.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

1. здійснити аналіз способів та засобів обрізування книжково- журнальних блоків під час їх транспортування;
2. встановити ефективність використання багатолезового різального інструмента для обрізування книжково- журнальних блоків в машинах карусельного типу;
3. теоретичні дослідження впливу геометричних параметрів багатолезового різального інструмента на силові та якісні показники процесу обрізування книжково- журнальних блоків під час їх переміщення за коловою траєкторією;
4. експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів (зусилля затискування блоків, швидкості транспортування тощо) та видів паперу на силові показники, точність та якість обрізування книжково- журнальних блоків під час їх переміщення за коловою траєкторією;
5. розробити рекомендації для проектування різального інструмента та різальної секції.

**Об'єкт досліджень** – технологічний процес безвистійного обрізування книжково- журнальних блоків.

**Предмет досліджень** – технологічні параметри процесу безвистійного обріування книжково- журнальних блоків багатолезовим різальним інструментом.

**Методи дослідження.** Для виконання поставленої у роботі мети використано основні положення теорії різання лезом, планування експериментальних досліджень, програмування. Дослідження виконані на основі раціонального поєднання теоретичних, із використанням математичного моделювання, та експериментальних досліджень на спеціально спроектованому та виготовленому оригінальному пристройі.

Експериментальні дослідження здійснено з використанням тензометрії і комп’ютерної техніки. Отримані за допомогою аналогово-цифрового перетворювача дані опрацьовано в системі «*MathCAD*». Зусилля затискування блоків проводилося непрямим способом (шляхом встановлення величини деформації блока, яка відповідає заданому зусиллю). Точність і якість обріування блоків визначалися шляхом макрофотографування, вимірювання шорсткості поверхні обрізу спеціальними пристроями та візуально. Результати, отримані аналітичним шляхом перевірялися експериментально.

В роботі широко використовується метод системного аналізу та моделювання. Методологічною базою досліджень процесу обріування КЖБ БРІ під час їх переміщення за коловою траєкторією є система математичного моделювання «*MathCAD*» та програма для роботи з електронними таблицями Microsoft Office Excel, система автоматизованого проектування «*AutoCAD*».

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

*Вперше:*

- на основі проведенного аналізу способів і засобів обріування книжково- журнальних блоків встановлена можливість удосконалення процесу обріування застосуванням багатолезового різального інструмента під час переміщення блоків за коловою траєкторією;
- побудовано математичну модель процесу обріування книжково- журнальних блоків під час їх переміщення за коловою траєкторією, що дозво-

лило врахувати закономірності впливу технологічних параметрів процесу обрізування блоків на зусилля різання та мінімізувати навантаження привода;

- на основі теоретичних та експериментальних досліджень встановлені оптимальні, з огляду на силові та якісні показники процесу обрізування, технологічні параметри процесу обрізування книжково- журнальних блоків під час їх переміщення за коловою траєкторією, що підвищує продуктивність устаткування, скорочує номенклатуру задіянного устаткування.

*набув подальшого розвитку:*

- спосіб обрізування переда книжково- журнальних блоків в м'якій обкладинці з клапанами під час їх переміщення за коловою траєкторією.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розроблені раціональних (з огляду силових та якісних показників процесу обрізування) конструкції, геометричних розмірів багатолезового різального інструмента технологічних параметрів процесу обрізування, необхідних для розроблення нового та удосконалення існуючого устаткування. Результати наукових досліджень впроваджені в навчальний процес Української академії друкарства. Наукові розробки внесені у дисципліну «Нові технології різання паперу та картону» яку вивчають студенти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». За тематикою наукових досліджень виконують курсові та магістерські роботи.

Фахівцями ПП «Штемпельна граверна майстерня САЮЛ 94» проведено оцінку роботи пристрою для обрізування багатолезовим різальним інструментом книжково- журнальних блоків, що переміщуються за коловою траєкторією. Встановлено, що конструкція багатолезового різального інструмента забезпечує точне і якісне обрізування книжково- журнальних блоків, виготовлених з різних за фізико- механічними властивостями видів паперу.

Дані про впровадження підтверджено відповідними документами.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати наукових і експериментальних досліджень отримано здобувачем самостійно. Організація та проведення досліджень здійснені за безпосередньої участі автора. У публікаціях у співавторстві здобувачеві належать: [68, 104, 109] – аналітичні

дослідження геометричних параметрів процесу обрізування книжково-журнальних блоків під час їх переміщення за коловою траєкторією; [90] – розробка технології обрізування переда книжково-журнальних блоків під час їх переміщення за коловою траєкторією; [91] – розробка математичної моделі для розрахунку розмірів багатолезового різального інструмента; [11, 110] – розробка математичних моделей для розрахунку сил різання і технологічно необхідного зусилля затискування книжково-журнальних блоків під час обрізування; [92] – розрахунок напружень, що виникають під час взаємодії різального інструмента з книжково-журнальними блоками; [108] – експериментальні дослідження, опрацювання та аналіз результатів, висновки. [75] – розробка пристрою для обрізування книжково-журнальних блоків.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на таких конференціях: конференції професорсько-викладацького складу наукових працівників та аспірантів Української академії друкарства (2003 – 2006, 2012 – 2017); XIX Міжнародній науково-практичній конференції з проблем видавничо-поліграфічної галузі («УкрНДІСВД» м. Київ, 2013 р); Міжнародному форумі «Скориновские чтения 2016: книга как феномен культуры, искусства, технологии» (Мінськ, Білорусь, 2016).

**Публікації.** Результати роботи відображені у 17 наукових працях, із яких 9 статей у наукових періодичних виданнях України, у тому числі 4 статті опубліковані у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази «Index Copernicus», 7 тез доповідей та матеріалів конференцій різних рівнів (з них 2 міжнародні, 1 закордонна, 1 одноосібна). За темою дисертації отримано 1 патент України.

### **Структура і обсяг роботи.**

Дисертаційна робота складається із анотацій, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (134 найменування) та 6 додатків. Загальний обсяг дисертації – 158 сторінок, у тому числі основного тексту 128 сторінок, що включає 70 рисунків та 6 таблиць.

## РОЗДІЛ 1

# СУЧАСНИЙ СТАН ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ ОБРІЗУВАННЯ КНИЖКОВО-ЖУРНАЛЬНИХ БЛОКІВ ТА ТЕНДЕНЦІЇ УДОСКОНАЛЕННЯ РІЗАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

### **1.1. Аналіз процесу обрізування книжково-журнальних блоків**

Технологічний процес виготовлення книжково-журнальної продукції є достатньо складним та складається із значної кількості технологічних операцій. Виготовлення якісної книжково-журнальної продукції передбачає чітке та послідовне виконання цих операцій, які можна розділити на операції додрукарської підготовки, операції пов'язані із друком продукції та післядрукарські процеси.

Післядрукарські процеси виготовлення книжково-журнальної продукції залежать від виду продукції, її об'єму та накладу і характеризуються довгим ланцюжком технологічних операцій, що виконуються із численними напівфабрикатами, які суттєво відрізняються на кожному із етапів технологічного процесу [5, 6, 9, 39].

В усіх випадках, незалежно від виду книжково-журнальної продукції, технологічний процес передбачає операцію обрізування КЖБ, яка має визначальне значення в процесі її виготовлення. Нині для здійснення цієї операції застосовується різноманітне устаткування, як вітчизняного так і закордонного виробництва, яке можна класифікувати за наступними ознаками: здійснення обрізування під час зупинки напівфабриката у одній, двох або трьох позиціях і обрізування КЖБ у процесі їх транспортування, із застосуванням спеціального РІ (дискові, «ультразвукові» ножі тощо) [1, 27, 36, 38, 56].

Для обрізування КЖБ під час їх зупинки традиційно використовуються паперорізальні машини, у яких ніж здійснює складний «шаблевий» рух, завдяки чому зменшується навантаження, забезпечується плавне врізання у стос, під-

вищуються точність та якість різання та суттєво зменшуються енерговитрати [2, 4, 19, 42, 57].

Ніж, втискуючись в стос паперу, викликає прогин аркушів у стосі і волокон в аркушах. При втискуванні клиноподібного ножа в верхню частину чергового аркуша нижня частина цього аркуша розривається, оскільки напруження розтягування тут перевищують межі його міцності. Слід відзначити, що міцність волокон аркуша паперу в декілька десятків разів перевищує міцність аркуша. Тому переважна частина елементарних волокон не розривається, а розділюється. При цьому розділюються не тільки волокна, в які втискувалось лезо ножа, але й волокна, які ще не контактували з ножем, тобто утворюється випереджуюча тріщина [81, 97].

Як одноножові так і триножові різальні машини характеризуються високою метало- та енергомісткістю, а також невисокою продуктивністю, адже процес обрізування відбувається під час зупинки напівфабриката [66, 48, 121].

Порівняно невелика продуктивність та досягнення гранично-можливих технічних характеристик сучасного устаткування для різання поліграфічної продукції обумовили пошук альтернативних способів різання.

До таких способів слід віднести нові способи безвистійного обрізування КЖБ під час їх транспортування [105].

Обрізування способом віброрізання. Технологічний процес безвистійного обрізування КЖБ 2 способом віброрізання (рисунок 1.1) відбувається під час їх переміщення транспортером 1 та взаємодії з пласким різальним інструментом 3, що здійснює в площині різання низькочастотний зворотно-поступальний рух. Коливання різальному інструменту надається окремим віброприводом [32, 62, 64, 71, 72, 128].

Цей спосіб дозволяє підвищити якість обрізування, значно знизити зусилля різання і, як наслідок, зменшити зусилля затиску книжкового блока. Одночасно зменшується шум при застосуванні пропонованого способу, відсутнє виділення паперового пилу.

Недоліком цього способу обрізування КЖБ є те, що для зменшення зусилля різання необхідно змінювати кут встановлення крайки леза ножа відносно напрямку переміщення блоків, а саме зменшувати його. Однак, у такому випадку зростає необхідна довжина ножа, і, як наслідок, габарити устаткування. До недоліків способу слід також віднести необхідність індивідуального приводу ножа, значні інерційні навантаження в приводі ножа, незадовільну якість обрізування крайніх аркушів (найбільш віддалених від ножа) під час обробки КЖБ із м'яких паперів. З метою покращення якості обрізування в конструкції необхідно передбачати додатковий пристрій забезпечення вертикального положення аркушів блока.

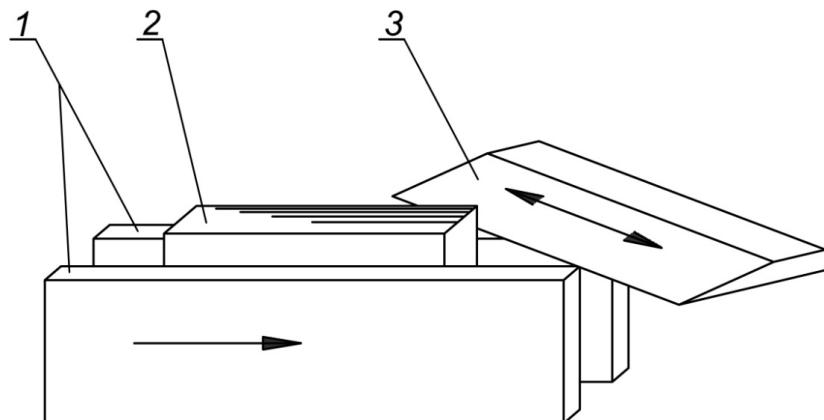


Рис. 1.1. Схема обрізування способом віброрізання  
1 – транспортер, 2 – книжково-журнальний блок,  
3 – плаский ніж із віброприводом.

Обрізування книжкових блоків різальним інструментом, лезо якого коливається із ультразвуковою частотою. Інший альтернативний спосіб безвистійного обрізування КЖБ полягає у використанні різального інструмента, робоча частина якого коливається із ультразвуковою частотою до 22 кГц (рисунок 1.2) з амплітудою 9 мкм, внаслідок чого суттєво зменшуються сили різання [94, 96, 107]. Процес обрізування відбувається під час транспортування КЖБ в напрямку розташування різального інструмента.

Книжковий блок 2 переміщується транспортером 1 в напрямку розташування різального інструмента 3, лезо якого коливається із

ультразвуковою частотою. «Ультразвукове» різання інструментом можливе за умови, коли швидкість переміщення блока не перевищує 0,5 м/с, при швидкості переміщення блока перевищує 0,5 м/с обрізування можливе лише за умови збільшення амплітуди або частоти коливання різального інструмента, чого досягти вкрай важко.

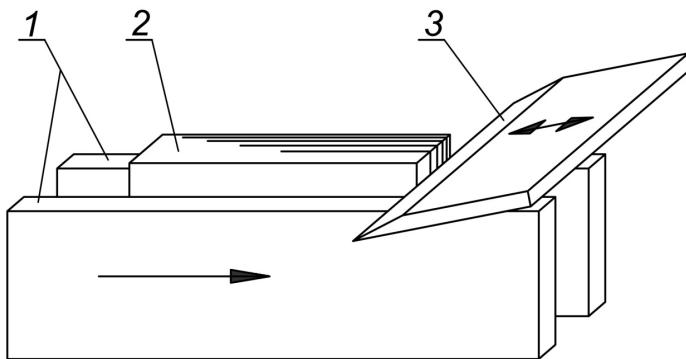


Рис. 1.2. Схема способу обрізування книжкових блоків різальним інструментом, лезо якого коливається із ультразвуковою частотою:

*1 – транспортер, 2 – книжково-журнальний блок,  
3 – ніж із ультразвуковим приводом*

Такі обмеження у використанні розглянутого способу безвистійного обрізування КЖБ, а також значна собівартість пристрою робить застосування такого устаткування економічно недоцільним.

Обрізування книжкових блоків ножем, що здійснює хитний рух. Відомий спосіб безвистійного обрізування КЖБ ножем, що здійснює хитний рух. Застосування такого способу обрізування характеризується зменшенням зусиль різання та енергоємності устаткування [58, 105].

Книжковий блок під час транспортування у зону різання обрізується ножем, який здійснює хитний плоскопаралельний рух з певною частотою та амплітудою й приводиться комбінованим кулісним механізмом (рисунок 1.3), параметри якого визначаються технологічними режимами процесу обрізування. Крайка леза ножа утворює кут  $\beta$  відносно напрямку переміщення блока. Процес обрізування проходить під час досягнення максимальної лінійної швидкості ножа стосовно блока. При мінімальній швидкості ножа, різальна крайка ножа

виходить із контакту із блоком. Таким чином, у процесі обрізування виникають мінімальні зусилля різання. Оскільки у механізмі виникають значні інерційні навантаження, то для зрівноваження цих навантажень необхідно передбачити зрівноважуючі пристрої.

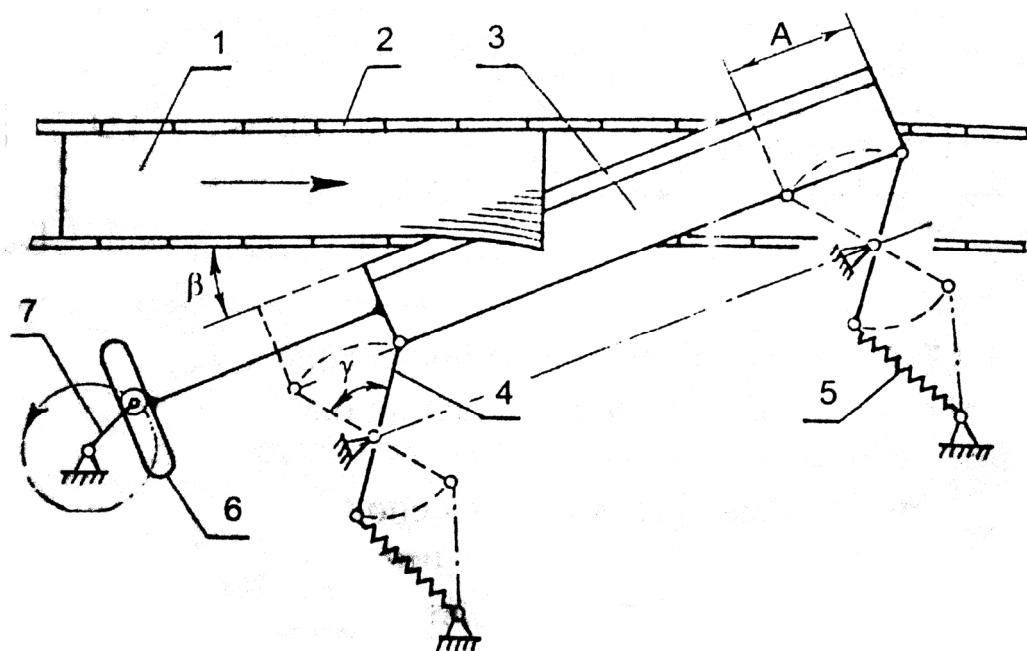


Рис. 1.3. Схема способу обрізування книжкових блоків ножем, що здійснює хитний рух:

- 1 – книжково-журнальний блок, 2 – транспортер,
- 3 – плоский ніж, 4 – коромисло, 5 – зрівноважуюча пружина,
- 6 – кулісний механізм, 7 – кривошип.

Недоліком застосування такого способу обрізування КЖБ є: індивідуальний привод механізму ножа, значні інерційні навантаження у приводі механізму, значний перепад сил різання в процесі обрізування блока та неякісне обрізування крайніх аркушів блоків, виготовлених з м'яких видів паперу.

Дискретно-дотичний спосіб обрізування КЖБ. Даний спосіб (рисунок 1.4) полягає у тому, що ніж кожна точка якого виконує у площині обрізування рух з певною частотою по колу радіусом  $R=0,1 \div 10$  мм, установлений під кутом  $\beta (1 \div 20^\circ)$  до напрямку переміщення блока [41, 43, 44].

Якісне дорізування крайніх аркушів досягається окремим упорним ро-  
ликом, який забезпечує вертикальне положення крайніх аркушів.

Дискретно-дотичний спосіб обрізування забезпечує значно меншу енер-  
гоємність процесу (порівняно із традиційними способами обрізування), насам-  
перед, за рахунок зменшення зусиль різання. Одночасно досягається краща  
якість площини зрізу, що пояснюється загладжуванням площиною ножа вже  
зрізаної поверхні корінця.

Під час дискретного обрізування протягом певної частини циклу має мі-  
сце вихід леза ножа із контакту з незрізаною частиною блока, тобто цикл скла-  
дається з періоду різання та холостого ходу.

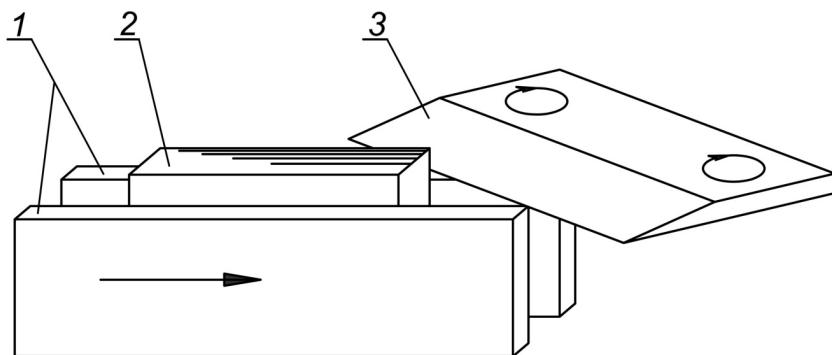


Рис. 1.4. Схема дискретно-дотичного способу обрізування:

*1 – транспортер, 2 – книжково-журнальний блок,*

*3 – плоский ніж.*

Дискретно-дотичний спосіб обрізування володіє рядом переваг, серед  
яких слід відзначити: обрізування блока відбувається смугами незначної (до 3  
мм) товщини, відсутня інверсія дотичної складової лінійної швидкості ножа, що  
створює передумову зменшення кутів різання, внаслідок чого досягається міні-  
мізація зусилля різання, і, відповідно, зменшення сил різання.

Поряд з переліченими перевагами запропонований спосіб має певні не-  
доліки, серед яких головними є: складність конструкції пристрою, нестабіль-  
ність сил різання, наявність індивідуального приводу пристрою та проблема  
забезпечення якісного обрізування крайніх аркушів блока.

Обріування дисковим різальним інструментом. Безвистійний спосіб обріування спеціальним дисковим різальним інструментом (рисунок 1.5) характеризується тим, що КЖБ 2, зафікований опорною 1 і притискою 3 плитами, із певною швидкістю подається на дисковий ніж 4 з постійною кутовою швидкістю обертання [27, 89, 127]. Доріування крайніх аркушів блока забезпечується тим, що опорна плита 1 виконує роль контрножа і забезпечує ножичний спосіб різання.

Такий спосіб обріування КЖБ супроводжується підгорянням аркушів, що пояснюється значним виділенням теплової енергії, як наслідок тертя між дисковим ножем і блоком. З метою зменшення нагріву різального інструмента застосовують РІ, вільно закріплений на осі, без власного приводу. Доцільність застосування такого способу обріування обмежується КЖБ товщиною, що не перевищує 10 мм.

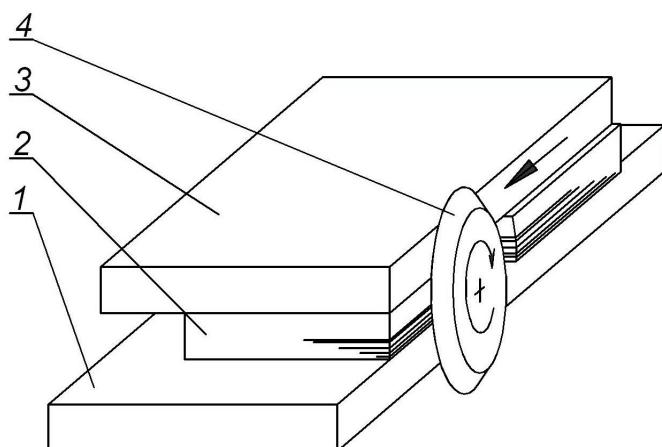


Рис. 1.5. Схема обріування дисковим різальним інструментом:

1.– опорна плита, 2 – книжково-журнальний блок, 3 – притискна плита,  
4 – дисковий ніж

Спосіб безвистійного обріування блоків за допомогою фрези та плаского різального інструмента. Фірмою «KOLBUS» запатентовано пристрій для безвистійного обріування книжкових блоків за допомогою фрези та нерухомого плаского різального інструмента (рисунок 1.6). Книжковий блок 2 транспортером 1 подається до зони його захоплення затискними транспортерами 3 та 8. Натискна вітка траків може змінювати положення відносно базової вітки 8, що

дає змогу регулювання пристрою залежно від товщини книжкових блоків, що підлягають обрізуванню [125].

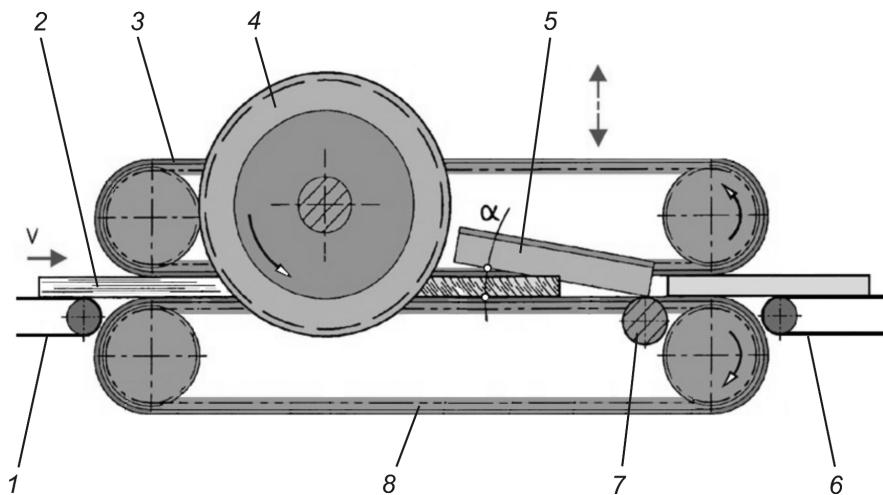


Рис. 1.6. Принципова схема пристрою для безвистійного обрізування блоків за допомогою фрези та плаского різального:

*1 – транспортер, 2 – книжково-журнальний блок, 3 – затискний транспортер, 4 – фреза, 5 – нерухомий плаский ніж, 6 – тасьмовий транспортер, 7 – ролик упорний, 8 – затискний транспортер*

Обрізування книжкового блока здійснюється за допомогою обертової фрези 4, що має окремий привод. З метою забезпечення необхідної якості обрізування додатково встановлено нерухомий плаский РІ 5, що зрізує нерівності утворені різцями фрези на поверхні блока. З метою мінімізації сил різання плаский РІ встановлено під кутом  $\alpha$  до напрямку переміщення книжкового блока таким чином, що різальна крайка інструмента в процесі обрізування притискає книжковий блок до опорної вітки 8 транспортера та упорного ролика 7, що служить додатковою опорою блока при обрізуванні крайніх аркушів. Із зони різання книжкові блоки виводяться тасьмовим транспортером 6.

До недоліків даного пристрою слід віднести: зупинку блока під час зміни напрямку переміщення у другу секцію, значну споживану потужність приводу фрезерних секцій, шум при роботі, забруднення середовища паперовим пилом.

Спосіб обрізування книжково-журнальної продукції дисковими ножами з планетарним приводом. Спосіб обрізування КЖБ дисковими ножами з плане-

тарним приводом (рисунок 1.7) забезпечує обрізування корінця з двох боків одночасно, та вирішує таким чином проблему дорізання крайніх аркушів. Зрізування корінцевих фальців здійснюється дисковими ножами. Водила 3 надають ножам 4 рух по коловій траєкторії завдяки зубчатій передачі між сателітами 7 та нерухомими колесами 8. Для забезпечення зустрічного різання (напрямок обертання різального інструмента не співпадає з напрямком переміщення блока) у пристрої використано ланцюгову передачу 5 [27, 36, 105]. Така схема привода дискових ножів забезпечує їх обертання не лише навколо власної осі, але й навколо осі зубчатого колеса 8, в результаті чого кожна точка леза ножа описує траєкторію руху епіциклії.

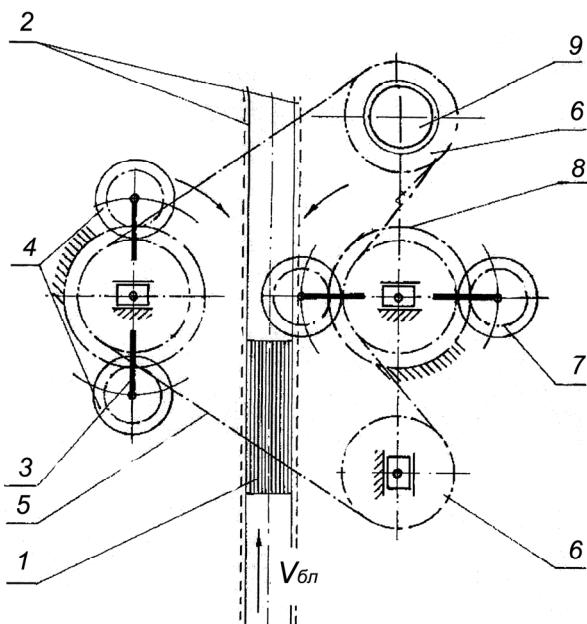


Рис. 1.7. Принципова схема пристрою для обрізування книжково- журнальної продукції дисковими ножами з планетарним приводом:  
1 – книжковий блок, 2 – транспортер блоків, 3 – водило, 4 – ніж дисковий, 5 – ланцюг, 6 – шків, 7 – сателіт, 8 – колесо з зубчасте нерухоме

Спосіб обрізування книжково- журнальної продукції двома ножами, що здійснюють плоско- паралельний рух. Даний спосіб обрізування КЖБ (рисунок 1.8) характеризується наявністю двох пласких ножів, чим забезпечується надійне та якісне дорізання усіх аркушів КЖБ. Ножам у площині різання надається низькочастотний вібраційний рух назустріч одному, при якому кожна то-

чка їх лез переміщується по коловій траєкторії з постійною швидкістю. Під час переміщення книжкового блока повз ножі відбувається його почергове різання обома ножами. Пристрій для реалізації запропонованого способу складається із станини 5, транспортуючого засобу 2, привода ножів. Ножі (виконані у вигляді плоских пластин з одностороннім загостренням лез) встановлені таким чином, що країки їх лез утворюють між собою кут  $2\gamma$ , а лезо кожного з ножів розміщене у цій же площині під гострим кутом  $\gamma$  до напрямку переміщення блока. Привод ножів забезпечується індивідуальним механізмом, який включає в себе підшипникові вузли 6, ексцентричні вали 7 і ножетримачі (шатуни) із закріпленими на них ножами 3 і 4. Механізми кінематично зв'язані між собою через шківи зубчасто-пасовим замкненим контуром 9 і приводяться ведучим шківом 11, встановленим на валі електродвигуна [77, 105].

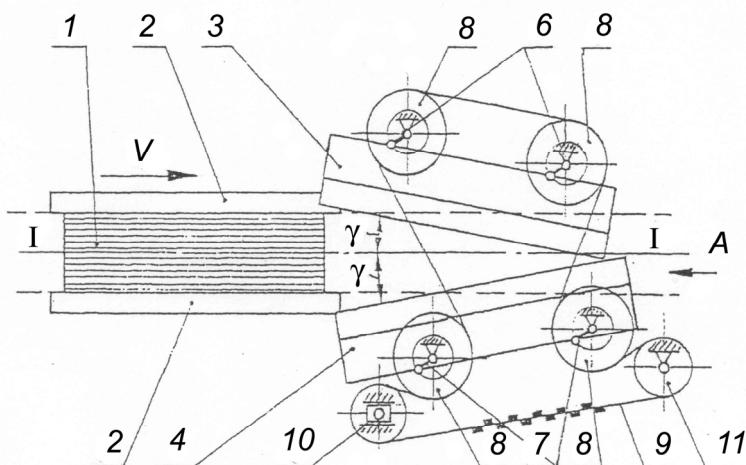


Рис. 1.8. Принципова схема пристрою для обрізування книжково- журнальної продукції двома ножами, що здійснюють плоско-паралельний рух:  
 1 – КЖБ, 2 – транспортуючий засіб, 3,4 – ножі, 5 – , 6 – підшипникові вузли, 7 – ексцентричні вали, 8 – приводний шків, 9 – зубчастий пас, 10 – натяжний пристрій, 11 – ведучий шків

До недоліків пристрою слід віднести: складність монтажу різального інструмента, а саме – їх встановлення у одній площині, що, в кінцевому результаті, може негативно впливати на якість та точність площини зрізу.

З метою спрощення конструкції, збільшення продуктивності, зменшення енергоємності процесу обрізування запропоновано безвистійні способи обрізування оригінальним багатолезовим різальним інструментом (БРІ) [65, 98, 99, 102, 106].

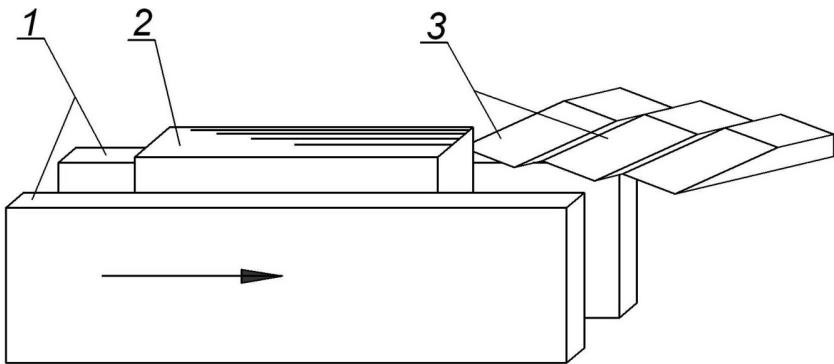


Рис. 1.9. Схема обрізування багатолезовим різальним інструментом:

- 1 – транспортер, 2 – книжково-журнальний блок,*
- 3 – багатолезовий різальний інструмент*

Безвистійний спосіб обрізування КЖБ за допомогою БРІ дозволяє збільшити продуктивність роботи устаткування при поштучному обрізуванні блоків (швидкість транспортування блоків сягає 2,7 м/с), підвищити якість та точність обрізування КЖБ за рахунок того, що РІ розрізує блок у напрямку, паралельному площинам аркушів, а не в напрямку, що перетинає площини аркушів, як це відбувається при традиційних способах різання, а також спростити конструкцію устаткування (інструмент для реалізації цього способу обрізування органічно вписується у сучасні потокові лінії виготовлення книг, журналів тощо.) та зменшити енерговитрати за рахунок суттєвого зменшення зусиль різання, (3...7 разів залежно від фізико-механічних властивостей паперу КЖБ) [95, 100, 102, 15].

На рисунку 1.10 зображена принципова схема пристрою для безвистійного обрізування КЖБ багатолезовим різальним інструментом. Обрізування КЖБ відбувається наступним чином. Блок 1, затиснутий вітками транспортера 2, прямолінійно переміщується вздовж БРІ закріпленого на монтажних плитах 3. Окремі леза БРІ врізаються у блок на задану глибину, до-

зволяючи оптимізувати параметри процесу різання. Спосіб встановлення лез на монтажних плитах (під певним кутом  $\beta$ ) дозволяє значно зменшити кути різання і, як наслідок, сили різання. Леза основного БРІ 4 зрізають більшу частину блока, а леза допоміжного БРІ 5 забезпечують надійне дорізання крайніх аркушів блока.

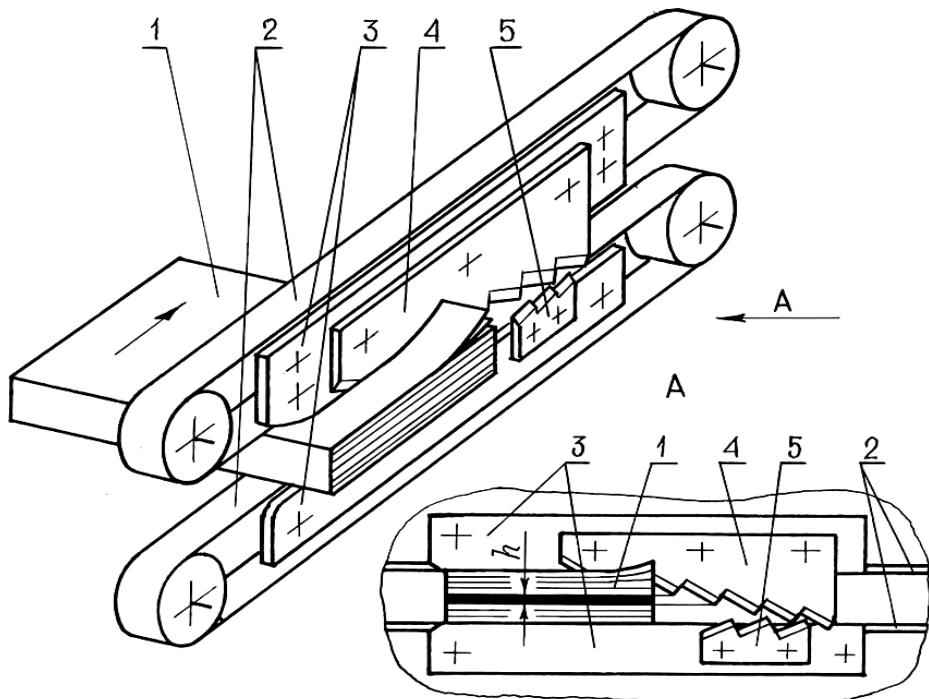


Рис. 1.10. Схема пристрою для безвистійного обрізування блоків багатолезовим різальним інструментом:

*1 – книжково-журнальний блок, 2 – каретка, 3 – монтажні плити, 4 – основний БРІ, 5 – допоміжний БРІ.*

## 1.2. Книжково-журнальна продукція: класифікація, різновиди, матеріали виготовлення та їх характеристики

### 1.2.1. Види книжково-журнальної продукції

Основними елементами конструкції видання є КЖБ і палітурка або м'яка обкладинка. КЖБ комплектується із зошитів, скріплених між собою в корінцевій частині та обрізаних з трьох боків. Палітурка або м'яка обкладинка є оправою книги, яка захищає блок від пошкоджень та забруднень. Книги в

м'якій обкладинці є най масовішим видом продукції. Їх перевагою є невелика трудомісткість і мінімальна тривалість циклу виготовлення [13, 14, 15, 16].

Існуючими нормативними документами (ГОСТ 22240–76) передбачено чотири типи м'яких обкладинок. Обкладинку типу 1 застосовують для криття брошур укомплектованих внакидку і скріплених дротом. Обкладинки типу 2 і 3 застосовують для криття блоків укомплектованих підбиранням і скріплених нитками або за допомогою незшивного клейового скріплення. Тип 4 – складана обкладинка з окантуванням корінцевої частини блока. Широкого розповсюдження набули брошури із складаною обкладинкою типу 4, для КЖБ блоків скріплених еластичними та міцними kleями на основі поліуретану (PUR).

На сьогоднішній день спостерігається велике різноманіття видів книжково- журнальної продукції. Конструкції блоків та брошур обумовлюються їх дизайном та сферою застосування. Різноманітність конструкцій брошур свідчить про значний поступ розвитку технологій виготовлення книжково- журнальної продукції. Розвиток технологій відбувається за двома напрямками: вдосконалення конструкції і розроблення нових технологій скріплення.

Брошура «*Otabind*» (рисунок 1.11 а) була розроблена фінською видавничукою групою *Otava*. Блок в корінцевій зоні окантовано (з напуском) тканиною. На поверхні обкладинки нанесено шість ліній згину. Приєднання обкладинки до блока здійснюється за допомогою клею, що наноситься між двома зовнішніми парами ліній згину, спрямованими до середини. Брошура «*Otabind*» може комплектуватися обкладинкою з клапаном. У ряді країн цей тип брошур застосовується для випуску підручників, оскільки їх виробництво є дешевшим за виготовлення книг зшитих нитками.

«Швейцарська» брошура (рисунок 1.11 б) має окантований блок, який з'єднується із задньою частиною обкладинки за допомогою вузької смужки клею. Зазвичай блок має товщину до 10 мм, а обкладинка має подвійне або потрійне бігування і повністю розкривається. Одним із різновидів швейцарської брошури є брошура для підшивки. Обкладинка такої брошури має додатковий

виступ (до 15 мм.) в корінцевій зоні де розташовані отвори з металевими кільцями (люверсами) для прикріплення до будь-якої поверхні.

У конструкції брошури «*Libretto*» (рисунок 1.11 в) використовується схожий тип скріплення як і у брошури «*Otabind*». Блок окантовують тканиною і перед приєднанням обкладинки деформують так, щоб у розкритому вигляді навантаження на його корінцеву частину були мінімальними. Обкладинку приєднують тільки до бокових аркушів блока. Корінцева частина блока не з'єднується з обкладинкою. Недоліком такої брошури є низький ступінь автоматизації процесу її виробництва.

Особливим видом оформлення брошури є обкладинка з загнутими клапанами (рисунок 1.11 г). На обкладинці виконується додаткове бігування для загинання одного або обох клапанів обкладинки. До них відноситься також і «англійська» брошур. Її особливістю є виступаючі краї обкладинки і додаткова суперобкладинка з тонкого паперу, приkleєна до корінця і загнута по передньому краю.

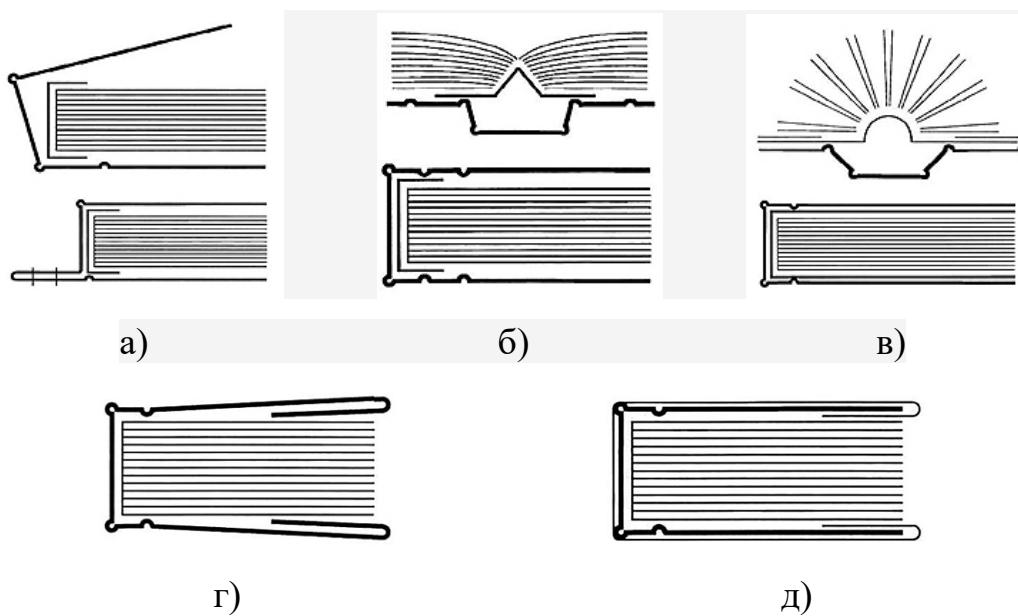


Рис. 1.11. Типи брошур:

a) – «*Otabind*», б) – «Швейцарська», в) – «*Libretto*», г) – з чотириразовим бігуванням і загнутими клапанами, д) – «англійська».

### *1.2.2. Папір: класифікація, різновиди будови, складові компоненти, характеристики і методи їх визначення*

На сьогоднішній день асортимент книжково-журнальної продукції, що випускається в Україні виготовляється з різних за своїми властивостями паперів, як вітчизняного так і закордонного виробництва. Вибір виду паперу залежить від особливостей технологічного процесу друкування, вимог до якості продукції, часу та періодичності користування готової продукції та ін. Від паперу та його властивостей залежать якість та силові параметри виконання технологічних операцій під час виготовлення книжково-журнальної продукції. Особливо це проявляється під час обрізуванні КЖБ [7, 12, 18, 25, 33].

На сьогоднішній день чіткої межі між папером та картоном не існує. Папером називається матеріал з масою квадратного метра до 250 грамів, що складається переважно із рослинних волокон, які з'єднані між собою силами поверхневого зчеплення, в якому можуть міститися проклеюючі речовини, мінеральні наповнювачі, хімічні та органічні волокна, пігменти та фарбники [24, 26, 29]. Отже, папір – це тонкий матеріал, який складається, головним чином, з переплетених і скріплених між собою рослинних волокон, що містять целюлозу. Товщина волокон складає 0,02 – 0,05 мм, а довжина в 100 – 1000 раз перевищує товщину [30, 34]. Папір, як правило одношаровий матеріал, а картон – багатошаровий. Товщина паперу складає приблизно 20...400 мкм, а картону – 0,5...3 мм [35]. Часто застосовується наступна класифікація: папір – матеріал масою від 5 до 150 г/м<sup>2</sup>; тонкий картон – від 151 до 400 г/м<sup>2</sup> і картон – 401 – 1200 г/м<sup>2</sup> [25, 26, 74].

Хімічною основою паперу є целюлоза з різними додатками. Виробляється целюлоза з різних порід деревини. Макромолекули целюлози в рослинних клітинах розміщуються паралельно одна одній, утворюючи фібрили, що є структурними елементами целюлозного волокна. Чим більше в початковій сировині целюлози, тим цінніший цей матеріал для виробництва [42, 74]. Целюлоза (макромолекула  $(C_6H_{10}O_5)_n$ ) – природний полімер, який має лінійну будову, з великою кількістю гідроксильних груп, полісахарид, що відноситься до класу

вуглеводнів. Її молекула складається із ланцюгів – залишків  $\beta$ - $\alpha$  глюкози, з'єднаних між собою 1,4 – глікозидними зв'язками. Целюлоза – біла волокниста речовина з довжиною волокон більше 20 мм, густинною 1,52 – 1,54 г/см<sup>3</sup>, температурою розкладу 210 °C [29, 74]. Крім целюлози рослинні клітини містять так звані інкрустуючі речовини, а саме лігнін. Лігнін – природний полімер, молекула якого має просторову будову, що надає йому цупкості та нерозчинності.

Целюлозу отримують хімічною обробкою деревини, з якої при цьому виводиться лігнін. Видалення лігніну базується на його здатності утворювати з деякими хімічними речовинами розчинні в воді сполуки, які потім при промиванні відділяються. Зараз широко застосовуються два методи отримання целюлози: сульфітний (кислотний) і сульфатний (різновид лужного).

Отриманий продукт називають паперовою масою, з якої виробляють різні за призначенням та властивостями види паперу. Простір між волокнами може бути заповнений різноманітними наповнювачами, проклейкою і обов'язково деякою кількістю вологи, що додається при виливанні паперового полотна. Недостатня або надмірна вологість паперу негативно впливає на якість виконання технологічних операцій, внаслідок того, що папір стає жорстким, ламким, або, навпаки, втрачає міцність, стає нееластичним.

Найпоширенішими видами паперу, що використовуються при виготовленні книжково- журнальної продукції є некрейдовани, крейдовани та синтетичні папери.

Некрейдований папір отримують безпосередньо на папероробних машинах. Крейдований папір отримують після нанесення на поверхню водяної суспензії, яка складається з білих пігментів, плівкоутворюючих і інших речовин, які роблять поверхню паперу білішою, гладкою та покращують капілярність поверхні. Синтетичний папір виготовляють з поліамідних, поліефірних, акрилонітрильних, поліетиленових і деяких інших синтетичних волокон. Синтетичний папір відрізняється високою механічною міцністю, високими пружними і еластичними властивостями, високою капілярністю і надзвичайно низькою деформацією при зволоженні [129].

Поведінка паперу в процесі переробки визначається рівнем фізико-механічних властивостей, які обумовлені структурою целюлозно-паперових матеріалів, а остання, в свою чергу, визначається складним і багатофакторним технологічним режимом виготовлення.

Проведений аналіз літературних джерел, наукових праць фахівців у даній галузі (Jakucewicz S., Ільїн В.Я.) [34, 118, 129] показав, що деформаційні, міцнісні і жорсткісні властивості целюлози, паперу та картону є важливою технологічною та матеріалознавчою проблемою, досі недостатньо вивченою. Це обумовлюється як складністю завдань, що стоять на стику багатьох наук, так і багатостадійністю і багатофакторністю, що характерно для виробництва целюлозно-паперових матеріалів і визначається високими варіаційністю і неоднорідністю їх структури.

До механічних характеристик належать властивості міцності і деформаційні, а саме: розривна довжина або міцність на розрив, міцність (стійкість) до ламання, стійкість поверхні паперу до вищипування, деформаційні властивості. Міцність паперу залежить не від міцності окремих волокон, з яких виготовлений папір, а від загальної структури паперу, яка формується у процесі паперового виробництва папероробними машинами. Тому паперовий аркуш має різні фізико-механічні властивості у різних напрямках.

Деформаційні властивості паперу є важливими в процесі виконання основних технологічних операцій друкування, фальцовування, розрізування, обрізування, тощо, які супроводжується різноманітним деформуванням паперу. Від поведінки паперу під час виконання операцій технологічного процесу залежить як кінцевий вигляд та якість продукції, так і параметри технологічних операцій.

Папір є достатньо гігроскопічним матеріалом. Зі збільшенням вологості папір втрачає форму, змінюється його початковий формат, різко знижується механічна міцність паперу на розрив, що негативно впливає на якість та точність обрізування книжково-журнальної продукції.

### 1.3. Устаткування для обрізування книжково- журнальної продукції: класифікація та сфера застосування

Обрізування КЖБ відбувається у потоковій лінії (рисунок 1.12) виготовлення книг та брошур (у тому числі англійських), скріплених за допомогою клею.

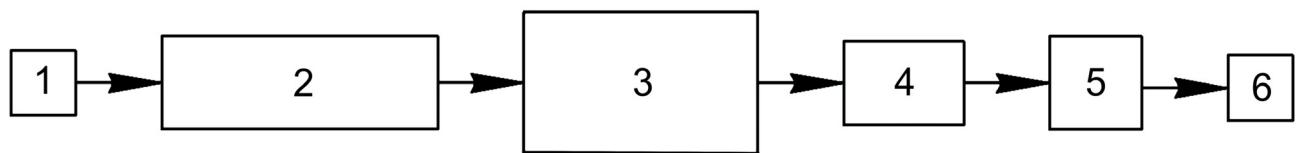


Рис. 1.12. Схема потокової лінії для виготовлення брошур у м'якій обкладинці з клапанами:

*1 – магазин зошитів, 2 – підбиравальна машина,  
3 – агрегат незшивного клейового скріplення, 4 – модуль «EasyFly»,  
5 – різальна машина, 6 – секція комплектування*

Із магазину зошитів 1 за допомогою аркушевивідних пристройів сфальцьовані зошити подаються в підбиравальну машину 2, де відбувається комплектування книжково- журнального блока за певною схемою. Далі скомплектовані блоки подаються у агрегат незшивного клейового скріplення 3, в якому окрім клейового скріplення до блока приклеюється обкладинка.

Наступним етапом виготовлення англійської брошури є обрізування переду блока. Для цього зазвичай застосовується модуль «EasyFly» (рисунок 1.13) 4, який призначений для обрізування переднього поля брошур типу «англійська». Далі обрізані по передньому полю брошури різальну машину 5, де виконується обрізування верхнього і нижнього полів. Після завершення процесу обрізування готові брошури подаються до секції комплектування 6, де комплектуються у пачки і запаковуються.

Модуль «EasyFly», призначений для обрізування переда «англійської» брошури. Працює наступним чином: у позиції 1 скомплектований попередньо КЖБ подається на транспортер із попередньої секції потокової лінії.

Транспортером КЖБ доводиться до обрізувальної секції 3. Попередньо необхідно розкрити обкладинку брошури, що пов'язано із її конструкцією. Тому механізмом з вакуум-присосами обкладинка брошури розкривається (позиція 2) і у такому вигляді подається до обрізування. Обрізування переднього поля брошури здійснюється ножичним способом різання із використанням плаского ножа (позиція 3). Далі готові (обрізані) брошури виводяться з модуля (позиція 4) і комплектуються для подальшого їх обрізування у різальній машині, що входить до потокової лінії.

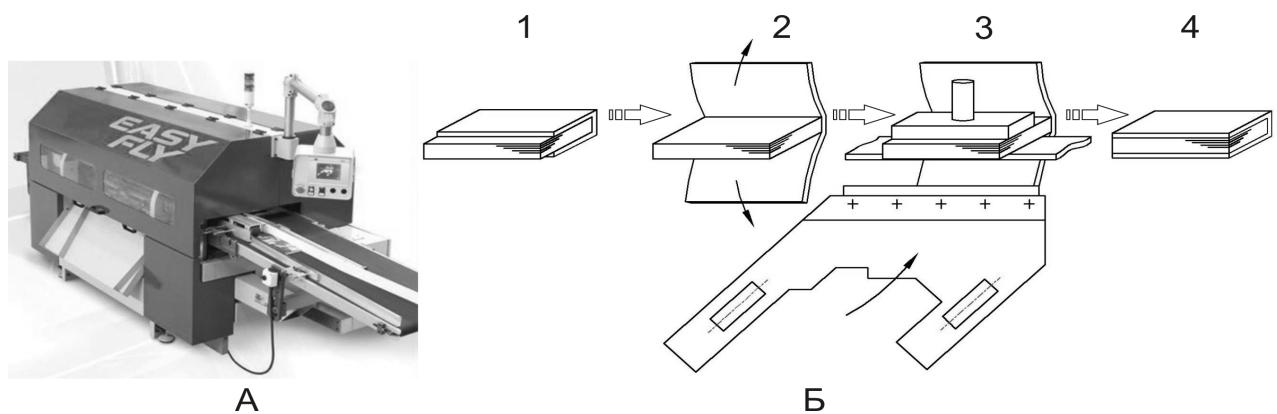


Рис. 1.13. Модуль для обрізування переднього поля «англійської» брошури «*EasyFly*» – А) загальний вигляд, Б) технологічна схема:

*1 – подача КЖБ до транспортера, 2 – розкривання обкладинки брошури, 3 – обрізування переднього поля, 4 – виведення брошури і комплектування у стоси для подальшої обробки*

Обробка брошур потоковими лініями, побудованими за таким принципом характеризуються порівняно високою продуктивністю та якістю обрізування. Однак використання такого верстата у потокових лініях призводить до значного зменшення продуктивності й зростання енерговитрат. У виробничих умовах, для збереження високої продуктивності потокової лінії необхідно одночасне залучення кількох верстатів, що негативно впливає на метало- та енергоємність устаткування, а отже й на собівартості виробу.

Швейцарською компанією з виробництва поліграфічного обладнання «*FERAG*» запропоновано пристрій для тристороннього обрізування книжково-

журнальної продукції (брошур та журналів товщиною до 20 мм) під час переміщення за коловою траєкторією у касетах-затискачах обертових барабанів (рисунок 1.14). КЖБ подаються почергово до касет-затискачів обертових барабанів. У першому барабані, під час його повороту, брошури затиснуті у касетах проходять повз нерухомий плоский РІ, що забезпечує обрізування переднього поля. Потім брошури виводяться із касет первого барабана і спеціальним транспортуючим пристроєм подаються до касет наступного обертового барабана, де під час його обертання відбувається обрізування головки та хвостика брошур.



Рис. 1.14. Принципова схема пристрою для безвистійного обрізування пласкими різальними інструментами КЖБ фірми *FERAG*:

*1 – книжковий блок, 2 – вертикальний барабан, 3 – касета, 4 – пластина, 5 – ножі для обрізування головки та хвостика КЖБ, 6 – горизонтальний барабан, 7 – ніж для обрізування переднього поля КЖБ, 8 – запасні ножі*

До недоліків такого пристрою слід віднести значні габаритні розміри барабанів, наявність окремого приводу, а також необхідність застосування склад-

них транспортувально-подавальних механізмів для передачі брошур від одного обертового барабана до іншого.

Такий спосіб орізування та устаткування для його забезпечення дозволяє обрізувати брошури товщиною лише до 20 мм, а також не дозволяє залучення у потокову лінію з виробництва книжково- журнальної продукції з причини значного збільшення габаритів устаткування, споживаної потужності потокової лінії та ін.

Швейцарською фірмою-виробником поліграфічного обладнання «*Muller Martini*» запропоновано спосіб обрізування складаним пласким різальним інструментом на опорному обертовому барабані, розроблено та запатентовано пристрій. Цей спосіб та пристрій призначені для обрізування головки та хвостика брошур в м'якій обкладинці [124].

Устаткування (рисунок 1.15) працює за принципом безвистійного обрізування КЖБ. Брошури 1 каскадним потоком скеруються подавальним транспортером 8 до опорного обертового барабана 7.

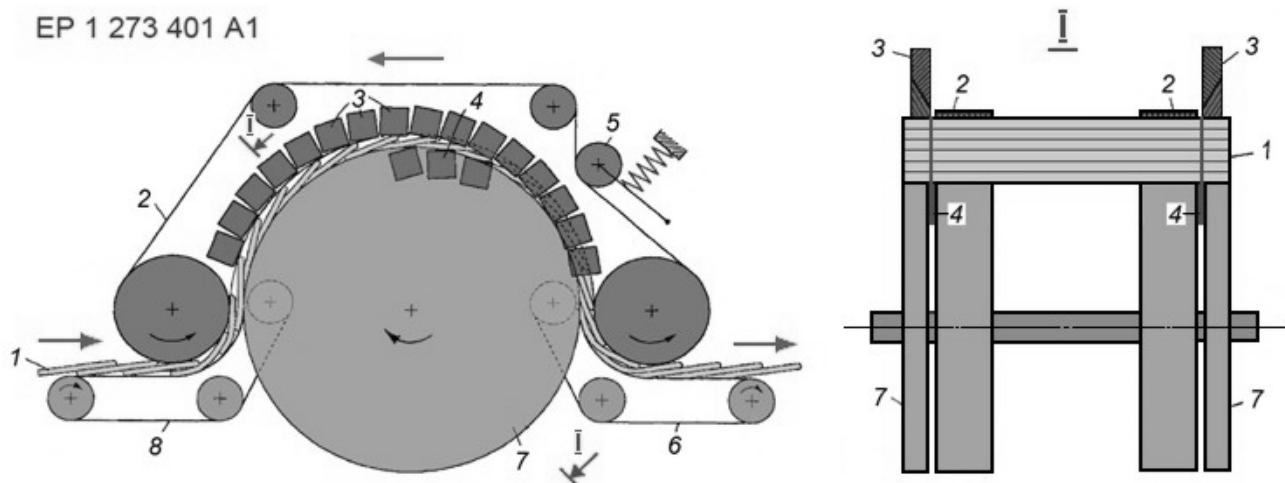


Рис. 1.15. Принципова схема пристрою для обрізування брошур в м'якій обкладинці на опорному обертовому барабані

Тасьмовим транспортером 2 брошури 1 щільно притискаються до поверхні опорного обертового барабана 7. При обертанні барабана 7 брошури 1 переміщаються за коловою траєкторією і взаємодіють з нерухомим складаним пласким різальним інструментом, що складається з основної 3 та допоміжної 4 частин. Натяжний ролик 5 створює у тасьмовому транспортері необхідне зусилля притиску брошур до поверхні опорного барабана. Після обрізування брошури виводяться з пристрою транспортером 6.

До переваг даного пристрою слід віднести перш за все нерухомий РІ, а також простоту транспортуючої системи, що забезпечує переміщення брошур під час обрізування. Проте, необхідність переміщення брошур під час обрізування каскадом (в деформованому стані) унеможливлює обрізування переднього поля та обробку брошур більшої товщини без їх пошкодження. Устаткування такого типу є достатньо габаритним із порівняно складною конструкцією.

#### **1.4. Аналіз наукових досліджень процесу обрізування книжково- журнальної продукції.**

Суть і характер складних фізичних явищ, що відбуваються при різанні аркушевого матеріалу (паперу та картону), в значній мірі вивчені рядом дослідників. Однією з перших робіт в області вивчення характеру і величини сил, що виникають при розрізуванні стосів паперу залежно від ряду змінних факторів, була робота В. Т. Бушунова. В роботі кількісна оцінка сил різання проводилася непрямим способом, що вплинуло на точність визначення характеру впливу окремих факторів на величину сил різання.

Дослідженням процесу різання стосів паперу пласким різальним інструментом займались ряд дослідників, таких як: Д.Ф. Акатьєв, В.С. Щацкін, А.А. Іващенко, В.М. Мордовін, В.З. Гінзбург та інші. В наукових роботах розглянута суть фізичних явищ, що відбуваються в процесі різання, досліджені характер, величина і взаємне співвідношення складових сил різання, встановлено залежність сили різання від різних факторів [1, 2, 19, 41, 98, 105].

Велике значення в створенні теоретичної основи досліджень в області різання стосів паперу плоским ножем мають роботи В. М. Мордовіна [113]. В роботах комплексно розглянута суть фізичних явищ, що відбуваються в процесі різання в перпендикулярній і паралельній площині відносно площини різання; досліджені характер, величина і взаємне співвідношення складових сил різання; аналітично досліджена і встановлена залежність сили різання від різних факторів. В роботах В. М. Мордовіна розглянуті питання розрахунку та проектування механізмів ножа і притиску одноножевих паперорізальних машин, розроблені технологічні та експлуатаційні вимоги до них; підкреслюється важливість використання методів безпосереднього вимірювання сил різання та технологічних параметрів [19, 98, 119].

Питанню експериментальних досліджень сил різання та точності обрізування в процесі різання стосів паперу залежно від великої кількості змінних факторів присвячені роботи В. З. Гінзбурга [19].

В роботах В. С. Грушевського та К. Крабіша [27, 127] розглянуто дослідження процесу безвистійного обрізування КЖБ дисковими ножами. Авторами обґрунтована і доведена можливість застосування дискових ножів для тристороннього обрізування книжково-журнальної продукції.

Дослідження проведені Д. Ф. Акатьєвим [1, 2] і Г. Г. Петріашвілі [62, 71, 128] присвячені питанням зменшення сил в процесі різання стосів паперу. Авторами обґрунтовано та доведено доцільність застосування в різальніх машинах вібруючого ножа, що сприятиме зменшенню складових сил різання, дозволяючи суттєво знизити енерго- та металоємкість устаткування.

В роботах О. М. Полюдова, О. Д. Черненка, П. В. Топольницького [63-67, 98, 106, 107, 128] розглянуті питання розрахунку та проектування пристройів безвистійного обрізування книжково-журнальної продукції різальним інструментом, що коливається з ультразвуковою частотою.

Роботи науковців Ц. Жидецького [32], О. Б. Книша [40, 41], А. Б. Коломійця [43, 44], Іванка [36, 37], присвячені механізації та автоматизації процесу

різання, розробленню оригінальних схем приводів плаского ножа, притиску та електроприводу.

Проведені аналітичні та експериментальні дослідження в основному охоплюють вивчення фізичної суті традиційних способів різання стосів паперу, обрізування книжково-журнальної продукції пласким різальним інструментом та можливості збільшення продуктивності устаткування.

В результаті проведеного аналізу наукових досліджень традиційних способів різання, що застосовуються в сучасних одножових та триножових паперорізальних машинах можна зробити наступні висновки: резерви зменшення силових характеристик процесу різання та підвищення швидкості роботи існуючого устаткування практично вичерпані.

## **1.5. Висновки до розділу**

Проведений аналіз існуючого устаткування для обрізування КЖБ з трьох боків засвідчив неефективність його застосування до складу високошвидкісних автоматизованих потокових ліній у першу чергу через порівняно малу технічну швидкість роботи (до 100 ц/хв). Подальше суттєве вдосконалення цього устаткування можливе лише за умови докорінної зміни технологічного процесу: переходу до обрізування блоків під час транспортування (безвистійного обрізування). Проте, нові способи безвистійного обрізування КЖБ та засоби для їх реалізації з різних причин (низька швидкість транспортування КЖБ, складність конструкції, наявність індивідуального привода, тощо) не знайшли практичного застосування.

Таким чином розробка нового високошвидкісного устаткування для безвистійного обрізування є важливою задачею, поставленою вимогами сьогодення. Однак переважна більшість такого устаткування побудована за лінійною схемою, тобто передбачають обрізування КЖБ під час його руху за прямолінійною траєкторією. Встановлення таких різальних секцій можливе лише в

машинах лінійної будови. Одним з недоліків устаткування лінійної будови є його значні габарити.

Перспективним напрямком удосконалення устаткування для обрізування КЖБ є розроблення способу та засобів для здійснення обрізування під час руху напівфабриката за коловою траєкторією. Машини карусельного типу, в порівнянні з машинами лінійного типу, мають менші габарити. З огляду на це, пропонується обрізувати КЖБ в машинах карусельного типу.

Проведений аналіз наукових публікацій засвідчив, що конструктивні особливості багатолезових різальних інструментів дозволяють їх застосування для обрізування КЖБ в машинах карусельного типу.

В спеціальній науково-технічній літературі відсутні аргументовані рекомендації щодо параметрів операцій технологічного процесу обрізування КЖБ у карусельних машинах із використанням БРІ, що не дозволяє операційникам приймати оптимальне для конкретних умов рішення, а конструкторам – здійснювати проектування даного виду устаткування. Не розкрита фізика явищ процесу різання БРІ за коловою траєкторією, не встановлено залежності технологічних зусиль від багатьох змінних параметрів, відсутня методика розрахунку технологічних навантажень і споживаної потужності, тощо.

Аналіз літературних джерел показав потребу глибшого дослідження цих процесів з метою вироблення рекомендацій стосовно параметрів основних операцій технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- вивчити можливість практичного застосування багатолезового різального інструмента для обрізування КЖБ в машинах карусельного типу;
- визначити залежність силових показників процесу обрізування КЖБ за коловою траєкторією від геометричних розмірів багатолезового різального інструмента та характеристик паперу;
- визначити технічні можливості способу безвистійного обрізування блоків БРІ за коловою траєкторією;

- експериментально виявити вплив технологічних режимів (зусилля затиску блоків, відстані між площиною обрізування та площиною затиску, швидкості транспортування, тощо) та характеристик паперу на силові показники процесу обрізування, точність та якість обрізування КЖБ під час їх переміщення за коловою траєкторією;
- розробити рекомендації по регламентуванню параметрів основних операцій технологічного процесу обрізування КЖБ.

## РОЗДІЛ 2

# АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРІЗУВАННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ БАГАТОЛЕЗОВИМ РІЗАЛЬНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Безвистійне обрізування КЖБ забезпечує високі показники продуктивності, якості і точності виконання операції при суттєвому спрощенні конструкції устаткування та зменшенні його метало- і енергомісткості. Безвистійне обрізування КЖБ під час їхнього руху за коловою траєкторією максимально пристосовано до використання у потокових лініях для технологічних операцій під час переміщення напівфабрикатів.

Відомі способи безвистійного обрізування КЖБ [76, 77, 79, 82-85, 105, 114-117, 130-133] базуються на прямолінійному переміщенні останнього. Негативною рисою є супутнє збільшення габаритів устаткування. На відміну від традиційних, запропонований спосіб обрізування КЖБ полягає у використанні БРІ спеціальної конструкції.

Метою аналітичних досліджень є виявлення залежності кінематичних, силових та енергетичних характеристик безвистійного обрізування БРІ КЖБ під час переміщення останніх за коловою траєкторією від конструктивних параметрів інструменту та розроблення методики і рекомендацій щодо оптимального проектування БРІ.

### **2.1. Дослідження процесу обрізування книжково-журнальних блоків із використанням суцільного різального інструмента під час їх переміщення за коловою траєкторією**

Аналіз спеціалізованих літературних джерел [2, 5, 13, 19, 40, 81, 93, 95] показав, що систематизована інформація щодо зусиль, які виникають в процесі обрізування відсутня, а наявна носить орієнтовний характер. Ефективна реалі-

зація способу безвистійного обрізування КЖБ під час його переміщення за коловою траєкторією вимагає вибору раціональних геометричних параметрів РІ задля оптимізації процесу обрізування.

Основними геометричними параметрами РІ, що визначають величину сил різання є кут його загострення  $\alpha_3$ , кут атаки  $\beta$  (гострий кут між різальною крайкою РІ та вектором швидкості руху КЖБ під час обрізування), а також довжина лінії різання  $l_p$ .

Під час обрізування КЖБ, що переміщується за прямолінійною траєкторією суцільним РІ (рис. 2.1) напрям вектора лінійної швидкості  $V_b$  блока є сталим відносно крайки ножа. Кут атаки  $\beta$  та довжина лінії різання  $l_p$  є незмінними, окрім фази врізання і виходу інструмента з книжкового блока, коли довжина лінії різання прямує до нуля. Під час обрізування КЖБ, що рухається за коловою траєкторією через зміну вектора лінійної швидкості  $V_b$  блока кут атаки  $\beta$  не є сталим.

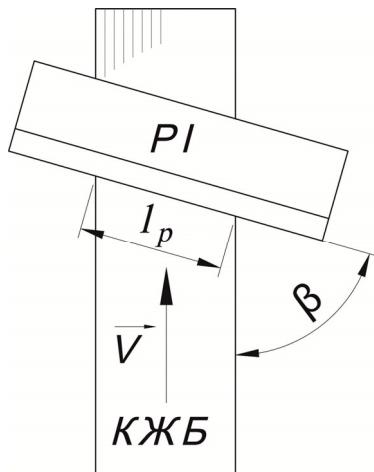


Рис. 2.1. Схема безвистійного обрізування під час прямолінійного переміщення КЖБ

З метою аналітичного опису зміни вектора швидкості КЖБ, що під час обрізування рухаються за коловою траєкторією, визначаємо поточне положення блока відносно РІ, що уможливлює проведення аналітичних досліджень зміни кута атаки  $\beta$  РІ.

На рис. 2.2 представлена схема процесу обрізування КЖБ суцільним РІ в проекції на площину різання із початком у центрі повороту блоків. Вздовж крайки РІ та проекцій боків КЖБ проведено прямі  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

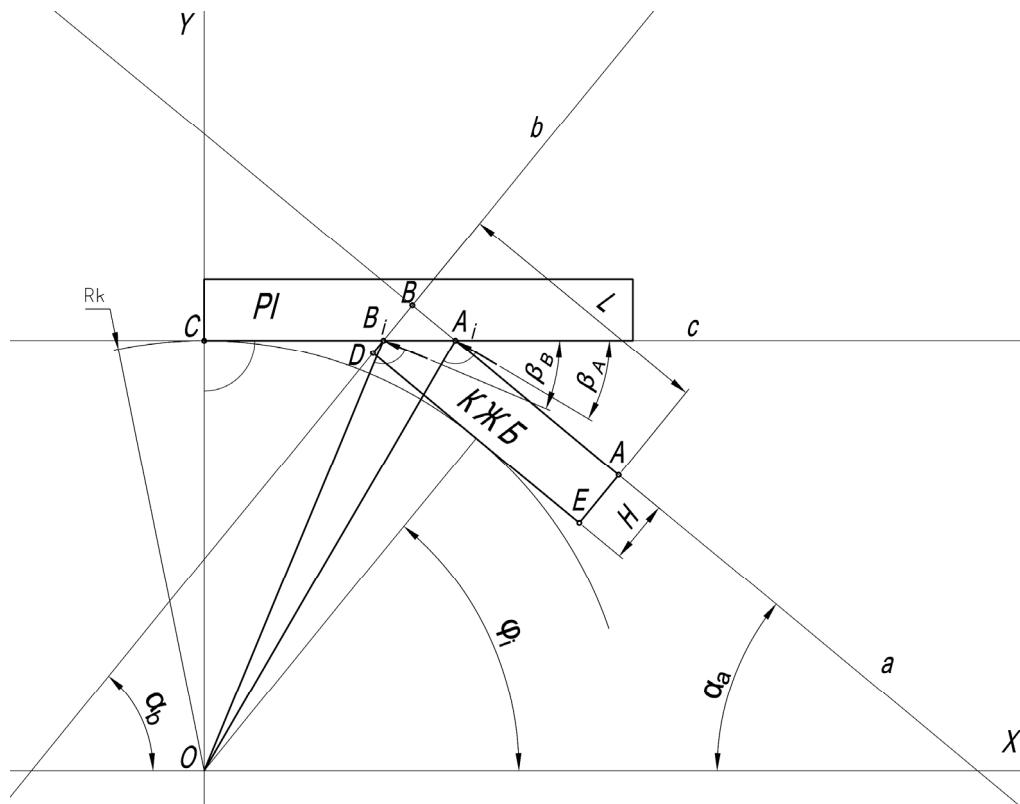


Рис. 2.2. Схема обрізування КЖБ суцільним РІ

Рівняння прямої  $c$  представимо у вигляді:

$$Y_c = R_k, \quad (2.1)$$

де  $R_k$  – радіус повороту КЖБ.

Рівняння прямої  $a$ :

$$Y_a = Y_c = ctg\varphi_i \cdot X_{Ai} + z, \quad (2.2)$$

де  $z$  – відрізок, що відсікає пряма  $a$  на осі  $OY$ .

Підставляємо в (2.1) формулу (2.2).

$$R_k = ctg\varphi_i \cdot X_{Ai} + \left( \frac{R_k + H}{\sin \varphi_i} \right). \quad (2.3)$$

Знаходимо координату  $X$  точки  $A_i$ :

$$X_{A_i} = \frac{R_k - \left( \frac{R_k + H}{\sin \varphi_i} \right)}{\operatorname{ctg} \varphi_i}. \quad (2.4)$$

Вектор швидкості  $V_\delta$  КЖБ в точці  $A_i$  є перпендикуляром до радіуса  $OA_i$  повороту блока в точці  $A_i$ . Рівняння прямої, що проходить через центр координат і точку  $A_i$ :

$$Y_{A_i} = K_{A_i} \cdot X_{A_i}. \quad (2.5)$$

Кутовий коефіцієнт прямої:

$$K_{A_i} = \frac{R_k \cdot \operatorname{ctg}(\varphi_i)}{R_k - \left( \frac{R_k + H}{\sin \varphi_i} \right)}. \quad (2.6)$$

Із умови перпендикулярності вектора швидкості до радіуса повороту КЖБ в точці  $A_i$ :

$$K_{A_i} \cdot K_{\beta A_i} = -1. \quad (2.7)$$

З рівняння (2.7) знаходимо кутовий коефіцієнт прямої, вздовж якої скрізь рухається вектор швидкості КЖБ в точці  $A_i$ :

$$K_{\beta A_i} = \frac{\left( \frac{R_k + H}{\sin \varphi_i} \right) - R_k}{R_k \cdot \operatorname{ctg}(\varphi_i)}. \quad (2.8)$$

Кут атаки PI в точці  $A_i$  становитиме:

$$\beta_{Ai} = \arctg \left( \frac{\left( \frac{R_k + H}{\sin \varphi_i} \right) - R_k}{R_k \cdot ctg(\varphi_i)} \right). \quad (2.9)$$

Кут повороту  $\varphi_i$  КЖБ під час його обрізування вздовж проекції сторони  $AB$  змінюється від:

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2} - \arccos \left( \frac{R_k}{\sqrt{(R_k + H)^2 + (0,5 \cdot L)^2}} \right) - \arctg \left( \frac{0,5 \cdot L}{R_k + H} \right), \quad (2.10)$$

до:

$$\varphi_{AB} = 2 \cdot \arctg \left( \frac{0,5 \cdot L}{R_k + H} \right) + \varphi_0. \quad (2.11)$$

Аналогічно знаходимо кут атаки  $\beta_{Di}$ :

$$\beta_{Di} = \arctg \left( \frac{\left( \frac{R_k}{\sin \varphi_i} \right) - R_k}{R_k \cdot ctg(\varphi_i)} \right). \quad (2.12)$$

Кут повороту КЖБ  $\varphi_i$  під час його обрізування вздовж проекції сторони  $DE$  змінюється від:

$$\varphi_{BD} = \arccos \left( \frac{R_k}{\sqrt{(R_k + H)^2 + (0,5 \cdot L)^2}} \right) - \arccos \left( \frac{R_k}{\sqrt{(R_k)^2 + (0,5 \cdot L)^2}} \right) + \varphi_0, \\ (2.13)$$

до:

$$\varphi_{DE} = \varphi_{BD} + \arctg \left( \frac{0,5 \cdot L}{R_k} \right). \quad (2.14)$$

Рівняння прямої  $b$  в декартовій системі координат:

$$Y_b = \operatorname{tg} \alpha_b \cdot X_{Bi} + m, \quad (2.15)$$

де  $m$  – відрізок, що відсікає пряма  $b$  на осі  $OY$ .

$$R_k = \operatorname{tg} \varphi_i \cdot X_{Bi} + \frac{0,5 \cdot L}{\cos \varphi_i}. \quad (2.16)$$

Знаходимо абсцису точки  $B_i$ :

$$X_{Bi} = \frac{R_k - \left( \frac{0,5 \cdot L}{\cos \varphi_i} \right)}{\operatorname{tg} \varphi_i}. \quad (2.17)$$

Рівняння прямої, що проходить через центр координат і точку  $B_i$ :

$$Y_{Bi} = K_{Bi} \cdot X_{Bi}. \quad (2.18)$$

Кутовий коефіцієнт даної прямої:

$$K_{Bi} = \frac{R_k \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{R_k - \left( \frac{0,5 \cdot L}{\cos \varphi_i} \right)}. \quad (2.19)$$

З умови перпендикулярності вектора швидкості та радіуса повороту блока в точці  $B_i$  знаходимо кут атаки РІ в точці  $B_i$ :

$$\beta_{Bi} = \operatorname{arctg} \left( \frac{\left( \frac{0,5 \cdot L}{\cos \varphi_i} \right) - R_k}{R_k \cdot \operatorname{tg}(\varphi_i)} \right). \quad (2.20)$$

Максимальне значення фвд кута повороту  $\varphi_i$  КЖБ, під час його обрізування, вздовж проекції сторони  $BD$  становитиме:

$$\varphi_{BD} = \arccos\left(\frac{R_k}{\sqrt{(R_k + H)^2 + (0,5 \cdot L)^2}}\right) - \arccos\left(\frac{R_k}{\sqrt{(R_k)^2 + (0,5 \cdot L)^2}}\right) + \varphi_0. \quad (2.21)$$

Кут атаки  $\beta_{Ei}$ :

$$\beta_{Ei} = \operatorname{arctg}\left(-\frac{R_k + \left(\frac{0,5 \cdot L}{\cos \varphi_i}\right)}{R_k \cdot \operatorname{tg}(\varphi_i)}\right). \quad (2.22)$$

Значення кута повороту  $\varphi_\Sigma$  КЖБ, під час якого відбувається обрізування, із врахуванням (2.21) дорівнюватиме:

$$\begin{aligned} \varphi_\Sigma = & \arccos\left(\frac{R_k}{\sqrt{(R_k + H)^2 + (0,5 \cdot L)^2}}\right) - \arccos\left(\frac{R_k}{\sqrt{(R_k)^2 + (0,5 \cdot L)^2}}\right) + \\ & + 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{0,5 \cdot L}{R_k + H}\right) + \varphi_0. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Довжина лінії різання  $l_p$ :

$$l_p = R_k \cdot \left( \frac{1 - \left(\frac{R_k + H}{\sin \varphi_i}\right)}{\operatorname{ctg} \varphi_i} - \frac{1 - \left(\frac{0,5 \cdot L}{\cos \varphi_i}\right)}{\operatorname{tg} \varphi_i} \right) \quad (2.24)$$

На рисунку 2.3 представлена залежність, що демонструє зміну кутів атаки леза плоского РІ протягом циклу обрізування КЖБ висотою  $L = 290$  мм, товщиною  $H = 30$  мм. В точці  $B$  відбувається врізання РІ в КЖБ. Кут атаки в точках  $B$  і  $A$  графіка є однаковим, а його величина залежить від радіуса повороту КЖБ. При радіусі його повороту 800 мм кут атаки в точках  $B$  і  $A$  становить

$18^\circ$ , а при радіусі повороту 400 мм –  $28^\circ$ . Величина кута атаки залежить від радіуса повороту блока, що можна пояснити зміною кривини траєкторій точок КЖБ вздовж лінії контакту з РІ. Відстань точок КЖБ від центра його повороту в межах лінії різання є різною, тому кут атаки вздовж лінії контакту РІ та КЖБ не є однаковим.

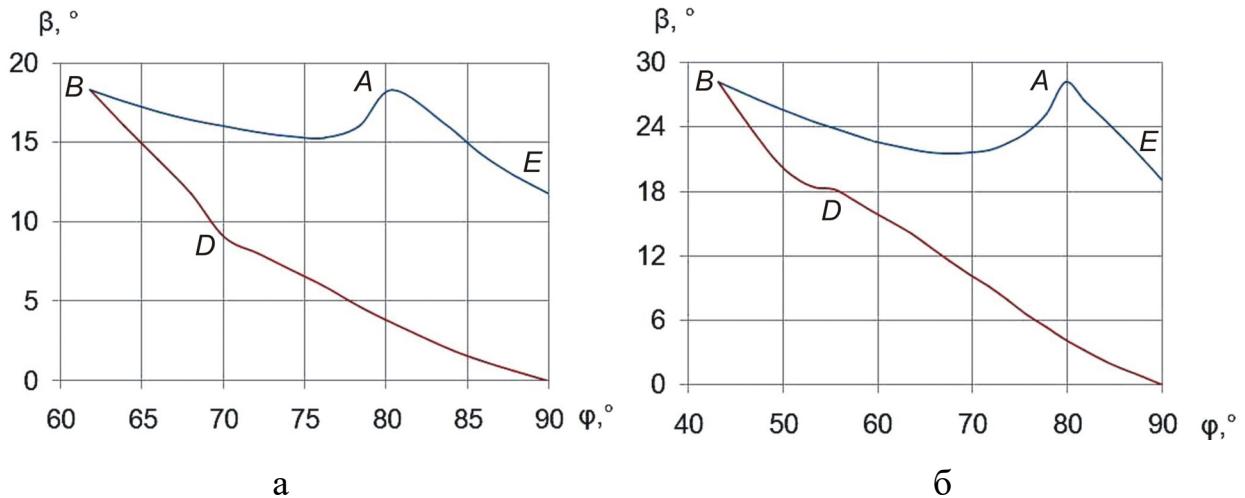


Рис. 2.3. Зміна мінімального і максимального кутів атаки леза плоского РІ протягом циклу обрізування КЖБ:  
а – радіус повороту 800 мм, б – радіус повороту 400 мм

Незалежно від радіуса повороту, найбільша різниця між максимальним (сторона проекції блока BA) і мінімальним (сторона блока DE) значенням кута атаки під час обрізуванні КЖБ спостерігається при куті повороту близько  $80^\circ$ . При радіусі повороту блока 400 мм різниця кута атаки вздовж лінії різання становить  $24^\circ$ , а при радіусі повороту блока 800 мм –  $15^\circ$ . Від величини кута атаки безпосередньо залежить величина кута різання і, відповідно, сили різання [81].

На рисунку 2.4 представлена графічні залежності, що відображають зміну довжини лінії різання протягом циклу обрізування КЖБ суцільним РІ.

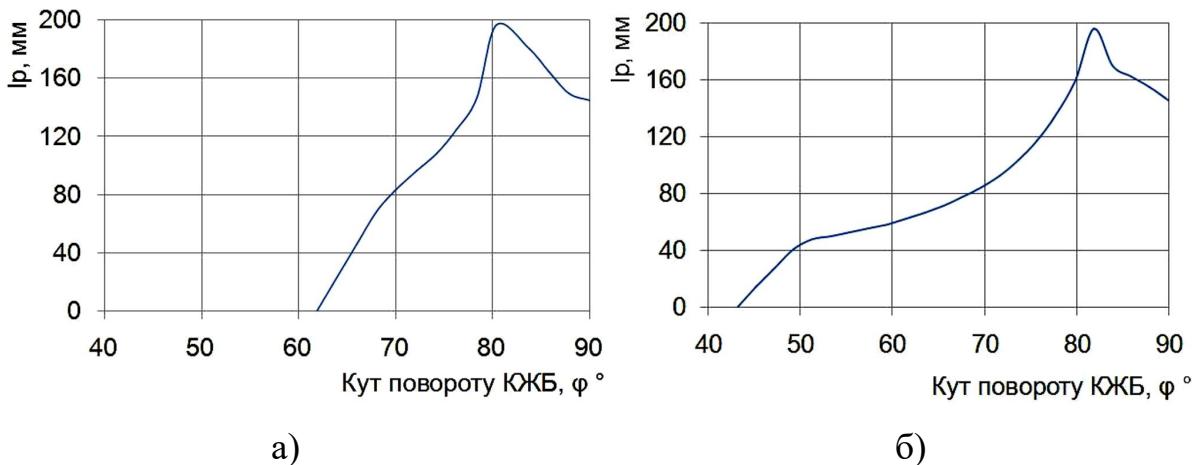


Рис. 2.4. Зміна довжини лінії різання від кута повороту КЖБ:  
а – за радіусу повороту 800 мм, б – за радіусу повороту 400 мм

З графіків видно, що збільшення радіуса повороту вдвічі призводить до зменшення кута повороту КЖБ, на якому відбувається обрізування до 37%. Наприклад, при радіусі повороту КЖБ 400 мм –  $47^\circ$ , а при 800 мм –  $32^\circ$ . Як наслідок, зміна довжини лінії різання при русі КЖБ за траєкторією радіусом 800 мм відбувається більш стрімко ніж за траєкторією радіусом 400 мм.

Явища, що виникають під час обрізування блоків, доцільно розглядати в двох площинах – в площині різання і в перпендикулярній до неї площині [81]. При цьому кут атаки  $\beta$  (гострий кут між ріжучою крайкою леза ножа і вектором швидкості переміщення КЖБ під час обрізування) знаходиться в площині різання, а кут загострення  $\alpha_3$  і кут різання  $\alpha_p$  (гострий кут між скошеною гранню ножа і площею обрізу) у площині, перпендикулярній до площини різання. Теоретичні та експериментальні дослідження виявили явище трансформації кута загострення  $\alpha_3$  у кут різання  $\alpha_p$  [41, 81, 98]. При цьому кут атаки не є сталим і змінюється протягом циклу обрізування блока в значному діапазоні та величина кута різання  $\alpha_p$  залежить від кута атаки  $\beta$ . Такі закономірності призводять до зміни величини сили різання і, як результат, впливають на якість процесу обрізування КЖБ.

У трикутнику  $DCA$  (рисунок 2.5) відрізок  $AC = \delta$ , тобто дорівнює глибині різання окремим лезом БРІ книжково-журнального блока, що переміщується за коловою траєкторією і лежить на продовженні відрізка  $r$  – віддалі вершини  $A$

леза від центра повороту КЖБ під час обрізування. Віддаль  $AB$  дорівнює довжині лінії контакту  $l_p$  леза і книжкового блока.

Довжина лінії контакту леза РІ з блоком:

$$l_p = \frac{\delta}{\sin \beta}. \quad (2.25)$$

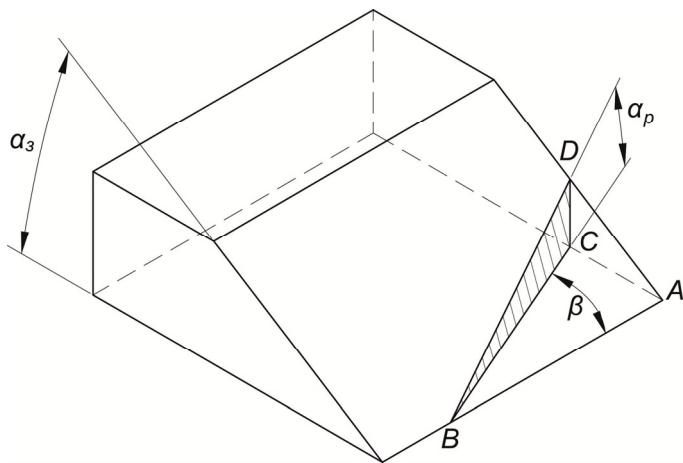


Рис. 2.5. Схема визначення кута різання

Відрізок  $DC$  – величина відгинання обрізаної частини блока:

$$DC = \delta \cdot \operatorname{tg} \alpha_3. \quad (2.26)$$

Залежність кута різання блока від кута повороту представлено на рисунку 2.6.

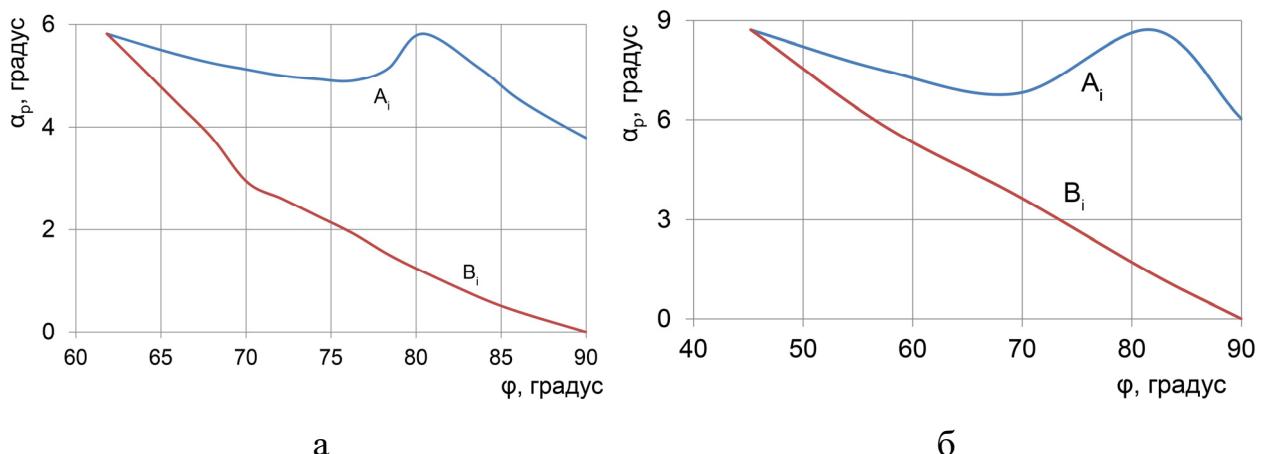


Рис. 2.6. Зміна кута різання від кута повороту КЖБ:

*a – за радіусу повороту 800 мм, б – за радіусу повороту 400 мм*

Проведені аналітичні дослідження процесу обрізування КЖБ суцільним РІ показали, що основні параметри процесу змінюються протягом циклу обрізування. З огляду на нестабільність протягом циклу обрізування КЖБ кута атаки РІ, довжини лінії різання, застосування суцільного РІ для обрізування КЖБ є недоцільним.

## 2.2. Конструктивні особливості БРІ

Відомо, що під час обрізування КЖБ БРІ сила різання сконцентрована на невеликій ділянці крайки леза. Доожної елементарної ділянки леза плаского РІ прикладена сила, що за величиною відповідає силі різання одним лезом БРІ, що встановлено під кутом атаки до КЖБ [98].

Конструкція БРІ дає змогу регулювати кут атаки, а також глибину різання окремого леза, що входить до складу інструмента (рисунок 2.7). Ці параметри для кожного леза інструмента є сталими протягом циклу обрізування КЖБ. Оскільки довжина лінії контакту окремого леза з блоком є незначною і розподіл кутів атаки вздовж лінії контакту лезо-блок лежить в межах  $1^\circ$ , то останніми можна знехтувати, а зусилля різання вважати сконцентрованим в вершині леза.

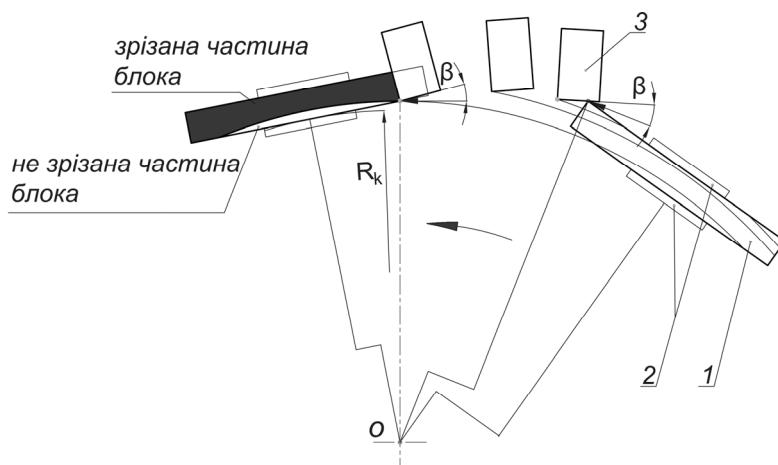


Рис. 2.7. Схема взаємодії окремих лез багатолезового інструмента з КЖБ: 1 – книжковий блок, 2 – затискачі кареток, 3 – лезо БРІ

### 2.2.1. Дослідження геометричних параметрів БРІ

Метою даного дослідження є визначення геометричних параметрів БРІ, які забезпечують необхідні якість та точність обрізування.

Загальна кількість лез РІ залежить від різниці максимального і мінімального радіусів повороту точок блока навколо центру  $O$ . Розрахунок кількості лез  $n_l$ , згідно схеми, представленої на рисунку 2.8, проводиться із врахуванням наступних параметрів: товщини блока –  $H$ , висоти блока –  $L$ , та радіусу повороту блока в затискачах каруселі  $R_k$ .

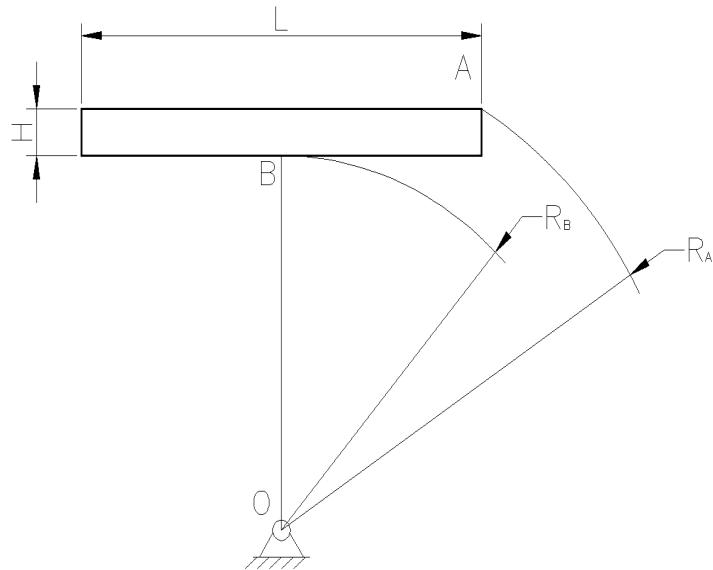


Рис. 2.8. Розрахункова схема до визначення загальної кількості лез БРІ

Загальна кількість лез БРІ:

$$n_l = \frac{R_A - R_B}{\delta}, \quad (2.27)$$

де  $\delta$  – глибина різання окремого леза,  $R_B$  – відстань від центру повороту каруселі  $O$  до точки  $B$ ,  $R_A$  – відстань від центру повороту каруселі  $O$  до найвіддаленішої точки  $A$ .

Враховуючи геометричні параметри КЖБ, що підлягає обрізуванню, залежність (2.27) набуде вигляду:

$$n_l = \frac{\sqrt{(R_B + H)^2 + (0,5L)^2} - R_B}{\delta}. \quad (2.28)$$

Наприклад, при товщині блока  $H = 14$  мм, висоті  $L = 210$  мм, радіусі повороту КЖБ  $R_k = 800$  мм загальна кількість лез необхідна для здійснення обрізування блока складає  $n_l = 42$ .

Аналітичні дослідження залежності необхідної кількості лез БРІ від габаритів КЖБ показали, що при збільшенні габаритів КЖБ необхідна кількість лез БРІ зростає. Результати проведених досліджень представлені у вигляді графіків на рисунку 2.9

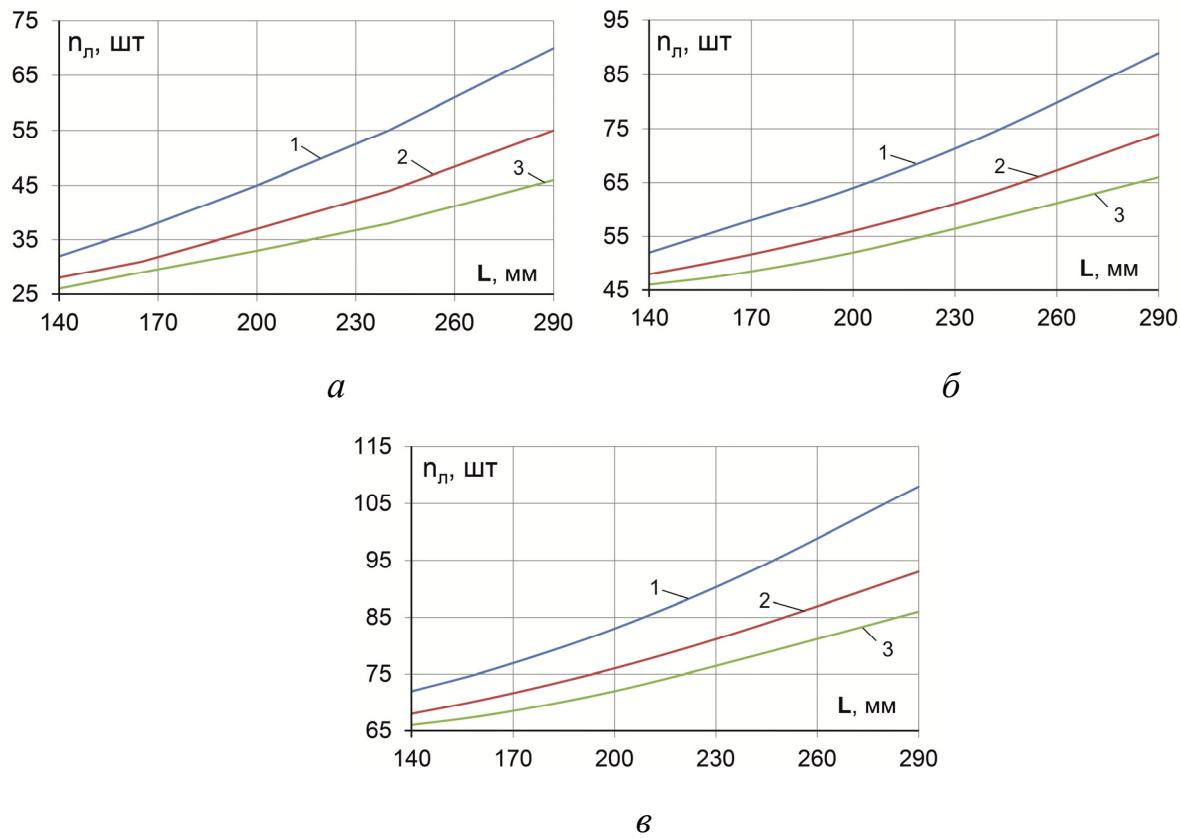


Рис. 2.9. Залежність кількості лез від висоти блока товщиною 10 мм (а), 20 мм (б), 30 мм (в);

Радіус  $R_k$  повороту КЖБ: 1 – 400 мм, 2 – 600 мм, 3 – 800 мм

Для КЖБ товщиною 10 мм і радіуса повороту блока 400 мм (рисунок 2.9, а) необхідна кількість лез РІ залежно від висоти блока зростає в 2,2 рази, за радіуса повороту блока 600 мм – у 2 рази, а за радіуса повороту блока 800 мм – в 1,8 рази. Для КЖБ товщиною 20 мм (рисунок 2.9, б), враховуючи радіуси повороту 400 мм, 600 мм, 800 мм кількість лез РІ зростає в 1,7; 1,5; 1,4 рази відповідно.

відно. Для КЖБ товщиною 30 мм (рисунок 2.9, в) із радіусами повороту блока 400 мм, 600 мм, 800 мм кількість лез РІ зростає відповідно в 1,5; 1,4; 1,3 рази.

Висота КЖБ, згідно ДСТУ 5773–90, становить від 140 мм до 290 мм, товщина КЖБ визначається об'ємом видання і переважно знаходиться в межах від 10 до 30 мм. Радіус повороту визначається особливостями конструкції устакування незшивного клейового скріplення, яке дозволяє встановлення різальної секції, оснащеної багатолезовим різальним інструментом. Наприклад, радіус повороту блока в агрегаті незшивного клейового скріplення Trendbinder TB18 на ділянці зміни напрямку руху кареток, становить 400 мм, в блокобробних агрегатах ротаційного типу – 600 – 800мм.

Найбільше зростання необхідної кількості лез БРІ при збільшенні висоти КЖБ спостерігається при переміщенні блока за коловою траєкторією радіусом 400 мм, до того ж таке зростання кількості лез РІ характерне для всього діапазону товщини КЖБ. При переміщенні блоків за коловою траєкторією з радіусами повороту 600 і 800 мм залежність зростання кількості лез від висоти  $L$  відбувається менш інтенсивно.

### *2.2.2 Визначення розмірів БРІ*

Глибиною різання окремим лезом БРІ є різниця віддалей вершин сусідніх лез від центра повороту кареток. При однакових глибинах різання вершини лез розташовуються вздовж спіралі Архімеда (рисунок 2.10). Довжина РІ – це довжина відрізка спіралі, обмеженої вершинами крайніх лез [10, 52].

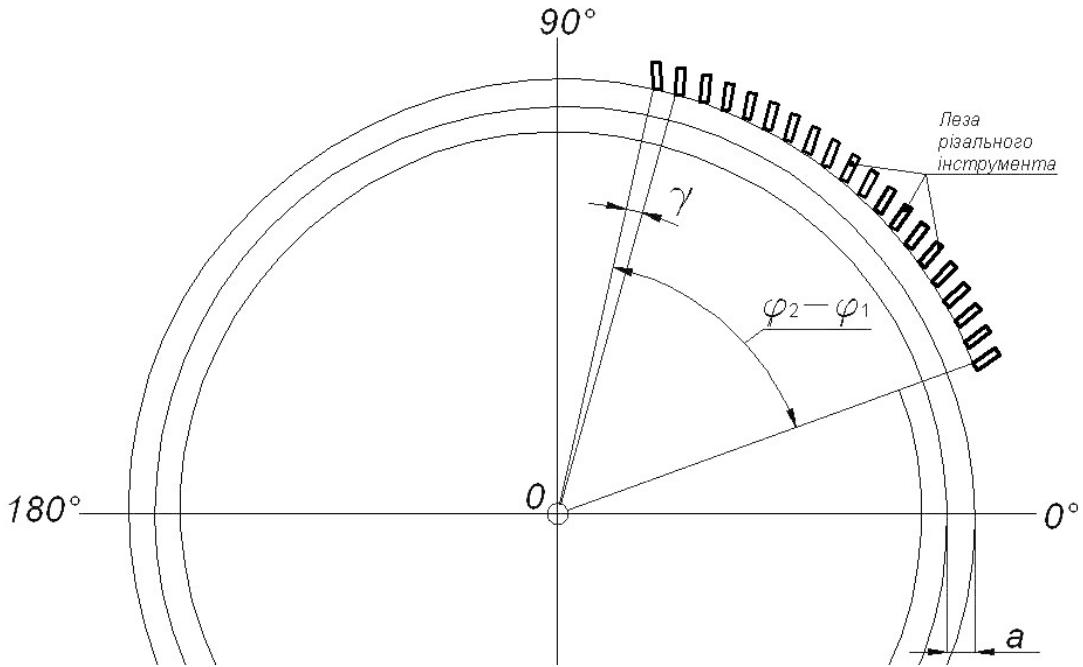


Рис. 2.10. Схема до розрахунку довжини БРІ

Параметри профілю РІ:

$$a = \frac{2\pi}{\gamma} \times \delta, \quad (2.29)$$

де  $a$  – крок спіралі,  $\delta$  – глибина різання одного леза РІ,  $\gamma$  – кутова віддаль між вершинами сусідніх лез.

Кутовий розмір фрагмента спіралі:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma \times n_{\pi}, \quad (2.30)$$

Початковий кут спіралі:

$$\varphi_1 = 2\pi \left( \frac{R_k}{a} \right), \quad (2.31)$$

де  $R_k$  – радіус повороту книжкового блока.

Кінцевий кут спіралі:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + (n_{\pi} - 1) \times \gamma. \quad (2.32)$$

Довжина РІ (по вершинах різальних крайок лез):  $l_{\Sigma}$

$$l_{\Sigma} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} k \sqrt{1 + \varphi^2} d\varphi \quad (2.33)$$

В результаті інтегрування отримуємо:

$$l_{\Sigma} = \left( \frac{k}{2} \cdot \left[ \varphi_2 \times \sqrt{1 + \varphi_2^2} + \ln \left( \varphi_2 + \sqrt{1 + \varphi_2^2} \right) \right] \right) - \left( \frac{k}{2} \cdot \left[ \varphi_1 \times \sqrt{1 + \varphi_1^2} + \ln \left( \varphi_1 + \sqrt{1 + \varphi_1^2} \right) \right] \right) \quad (2.34)$$

Залежність довжини РІ від радіуса повороту КЖБ представлена на рисунку 2.11 при лінійній віддалі між вершинами сусідніх лез 14 мм.

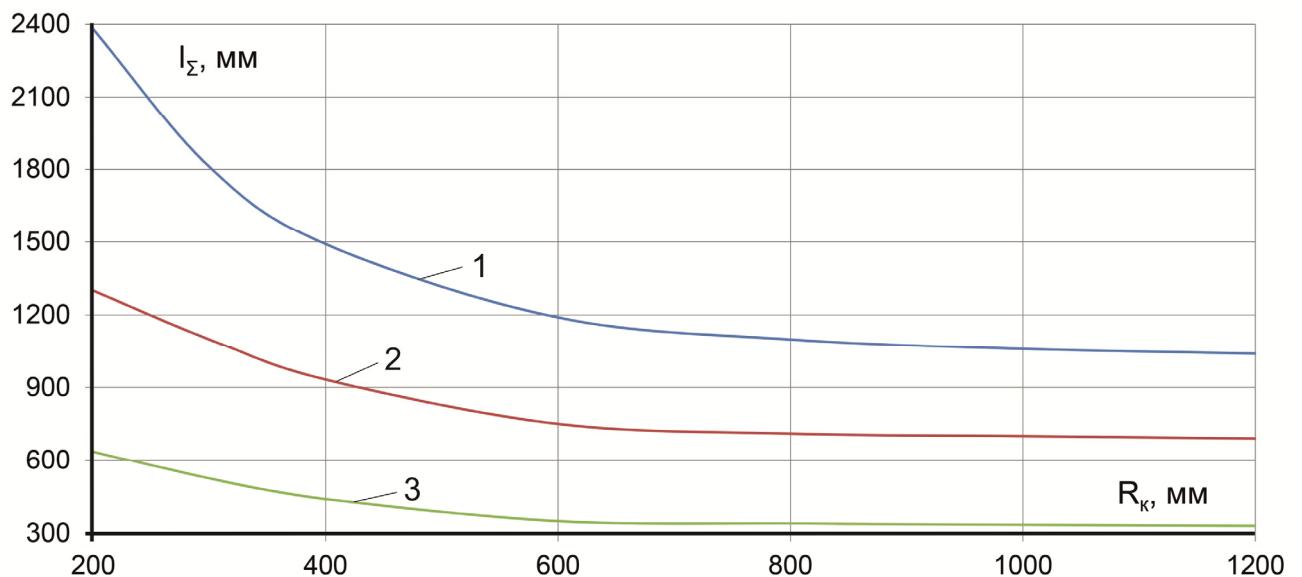


Рис. 2.11. Залежність довжини РІ від радіуса повороту КЖБ:

1 – 290×30 мм, 2 – 200×20 мм, 3 – 140×10 мм

З графіка видно, що із збільшенням радіуса повороту КЖБ зменшується довжина РІ. Проте, в діапазоні радіуса повороту КЖБ від 200 мм до 600 мм спостерігається різке зменшення довжини РІ (наприклад, для блока висотою 290 мм, товщиною 30 мм із 2380 мм до 1160 мм). При подальшому зростанні радіуса повороту КЖБ довжина РІ змінюється не суттєво. При зростанні радіуса повороту КЖБ довжина РІ змінюється не суттєво.

са повороту вдвічі (від 600 мм до 1200 мм) довжина РІ зменшується незначно, на 60 мм (з 1160 мм до 1096 мм).

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок, що БРІ доцільно використовувати для обрізування КЖБ під час переміщення за траєкторією радіусом більшим 600 мм. При обрізуванні під час руху за траєкторією із радіусом меншим 600 мм спостерігається зростання лінійних розмірів РІ.

Проведені аналітичні дослідження процесу обрізування КЖБ за допомогою БРІ показали, що умови обрізування є набагато кращими у порівнянні із застосуванням плаского РІ. Okрім цього існує можливість зменшення зусилля різання при врізанні БРІ в блок за рахунок плавного зростання глибин врізання окремих лез, а також за рахунок трансформації кута різання.

### **2.3. Теоретичні дослідження силових параметрів процесу обрізування книжково-журнальних блоків під час переміщення за коловою траєкторією**

Метою досліджень є вивчення впливу розмірів БРІ та фізико-механічних властивостей паперу на силові показники процесу обрізування КЖБ під час їхнього переміщення за коловою траєкторією та доцільні (з огляду на силові показники, якість і точність обрізування) конструкцію та геометричні розміри БРІ, радіус повороту КЖБ під час обрізування в машинах карусельного типу.

Взаємодія окремого леза БРІ з КЖБ – складний процес. Основними геометричними параметрами БРІ [98], що впливають на величину сили різання є кут атаки  $\beta$ , кут загострення леза  $\alpha_3$ , глибина різання окремим лезом  $\delta$ .

Проведений аналіз наукових праць засвідчив, що конструктивні особливості БРІ створюють передумови їхнього застосування для обрізування КЖБ в машинах карусельного типу. В спеціальній науково-технічній літературі [69, 81, 98] відсутні аргументовані рекомендації щодо технологічного процесу обрізування КЖБ у карусельних машинах із використанням БРІ. Оптимізація геометричних розмірів БРІ, технологічних параметрів процесу обрізування є важливою при розробленні нового і модернізації існуючого устаткування. Ре-

зультати досліджень явищ, що відбуваються під час обрізування БРІ КЖБ під час переміщення за коловою траєкторією, висвітлено в публікаціях [90, 91], у яких розглядається вплив взаємного розташування лез БРІ на його розміри, зусилля різання та якість обрізування КЖБ. У наукових працях [92, 104, 108] представлені теоретичні та експериментальні дослідження впливу геометричних параметрів РІ і його положення стосовно КЖБ на кінематичні та силові параметри процесу обрізування. Аналіз літературних джерел показав потребу глибшого дослідження процесу обрізування КЖБ БРІ з метою вироблення рекомендацій стосовно конструкції та геометричних розмірів РІ.

Геометричні розміри РІ, зокрема кут загострення  $\alpha_3$ , суттєво впливають на енергоємність процесу обрізування [81]. Під час обрізування, при переміщенні КЖБ за коловою траєкторією напрям їхньої лінійної швидкості змінюється стосовно РІ, що призводить до зміни величини кута різання.

З метою аналітичного опису зміни вектора швидкості блока під час переміщення стосовно РІ визначаємо поточне положення блока відносно лез РІ в певний момент часу. На рисунку 2.12 представлено схему зміни положення КЖБ стосовно БРІ під час обрізування (умовно зображені лише перше та останнє леза комплекту).

Траєкторію переміщення КЖБ під час обрізування описуємо рівнянням в полярних координатах. Координати довільної точки траєкторії блока в проекції на осі координат в декартовій системі:

$$x = \rho(\varphi) \cdot \cos \varphi, \quad (2.35)$$

$$y = \rho(\varphi) \cdot \sin \varphi. \quad (2.36)$$

Оскільки похідна в точці дорівнює кутовому коефіцієнту дотичної в даній точці траєкторії КЖБ диференціюємо обидва рівняння по  $\varphi$ :

$$\frac{dx}{d\varphi} = \rho'(\varphi) \cdot \cos \varphi - \rho(\varphi) \cdot \sin \varphi, \quad (2.37)$$

$$\frac{dy}{d\varphi} = \rho'(\varphi) \cdot \sin \varphi + \rho(\varphi) \cdot \cos \varphi. \quad (2.38)$$

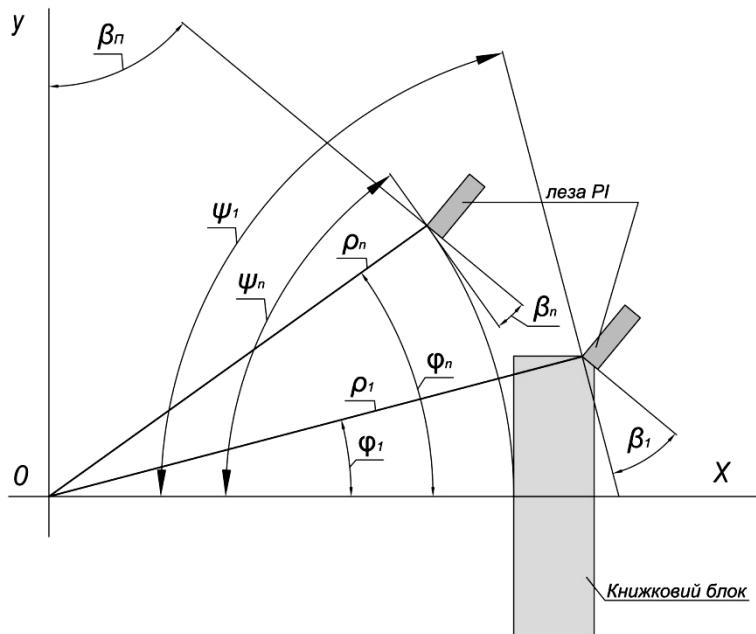


Рис. 2.12. Схема обрізування книжково-журнального блока багатолезовим різальним інструментом

Розділивши (2.38) на (2.37) отримуємо тангенс кута  $\psi$  нахилу вектора лінійної швидкості до полярної осі:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\rho'(\varphi) \cdot \sin \varphi + \rho(\varphi) \cdot \cos \varphi}{\rho'(\varphi) \cdot \cos \varphi - \rho(\varphi) \cdot \sin \varphi} \equiv \operatorname{tg} \psi. \quad (2.39)$$

Радіус-вектор, що описує профіль БРІ (по вершинах окремих лез) [81]:

$$\rho = R_k + \frac{\delta \cdot \varphi}{\gamma},$$

де  $\delta$  – глибина різання одного леза РІ,  $\gamma$  – кут між вершинами сусідніх лез.

Підставивши (2.39) в (2.38) отримуємо залежність, що визначає кут нахилу вектора швидкості КЖБ в точці контакту блока з РІ:

$$\psi = \operatorname{arctg} \left[ \frac{\sin \varphi + (\gamma \cdot R_k + \delta \cdot \varphi) \cdot \cos \varphi}{\cos \varphi - (\gamma \cdot R_k + \delta \cdot \varphi) \cdot \sin \varphi} \right]. \quad (2.40)$$

Отримавши значення кута  $\psi$ , визначаємо кут атаки лез РІ:

$$\beta = \beta_{\pi} + \psi - \frac{\pi}{2},$$

де  $\beta_{\pi}$  – початковий кут встановлення леза (кут між віссю  $OY$  і ріжучою крайкою леза).

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень виявлено явище трансформації кута загострення леза  $\alpha_3$ . За умови прямолінійного переміщення книжкового блока під час обрізування дійсний кут різання [105]:

$$\alpha_p = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \alpha_3 \cdot \sin \beta),$$

Кут різання окремим лезом багатолезового різального інструмента книжково- журнального блока під час його переміщення за коловою траєкторією:

$$\alpha_p = \operatorname{arctg} \left[ \operatorname{tg} \alpha_3 \cdot \sin \left( \beta_{\pi} + \psi - \frac{\pi}{2} \right) \right]. \quad (2.41)$$

де  $\alpha_3$  – кут загострення леза.

На рисунку 2.13 представлено результати теоретичних досліджень залежності кута атаки першого леза комплекту БРІ від радіуса повороту КЖБ.

З огляду на практичний досвід проектування, виготовлення та експлуатації брошувально-палітурного устаткування радіус повороту КЖБ під час їхньої обробки (радіус повороту транспортуючих засобів – каруселей, кареткових транспортерів тощо), діапазон зміни величини радіуса повороту КЖБ під час обрізування у даному дослідженні обрано від 200 до 1000 мм, що обумовлено перш за все габаритами та металомісткістю устаткування.

Із збільшенням радіуса повороту КЖБ під час обрізування багатолезовим різальним інструментом кут атаки першого леза комплекту БРІ зростає, а його величина прямує до величини початкового кута встановлення лез. Інтен-

сивне зростання величини кута атаки спостерігається на проміжку зміни радіуса повороту блока від 200 мм до 400 мм. На проміжку зміни радіуса повороту блоків від 500 мм до 1000 мм кут атаки зростає плавно. Отже, з метою стабілізації кута атаки радіус повороту КЖБ під час обрізування доцільно приймати в межах 550–750 мм. Подальше збільшення радіуса повороту КЖБ призводитиме до збільшення габаритів устаткування.

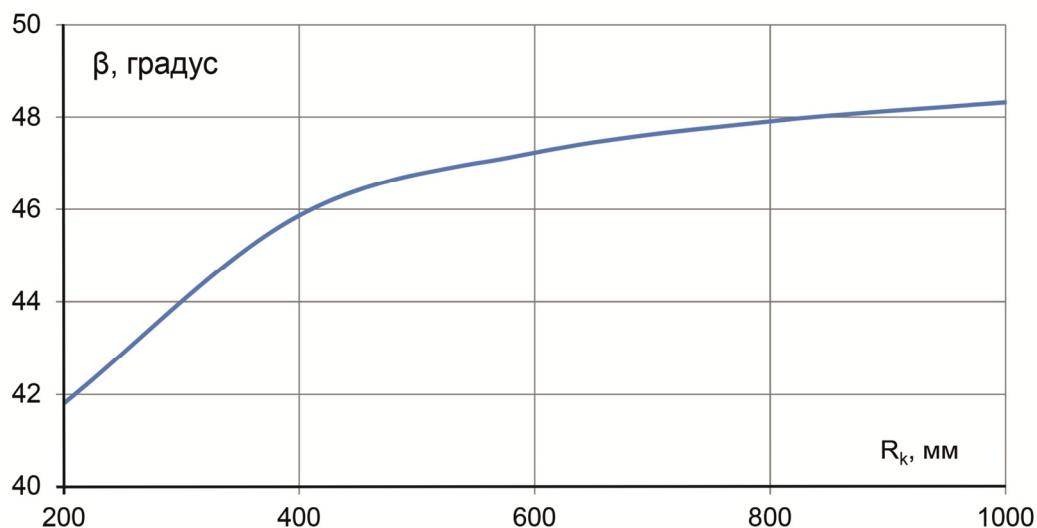


Рис. 2.13. Залежність кута атаки першого леза БРІ від радіуса повороту КЖБ

Аналітичні дослідження процесу безвистійного обрізування КЖБ під час їхнього переміщення за коловою траєкторією показали, що кут атаки змінюється протягом циклу обрізування блока в значному діапазоні. На величину та діапазон зміни величини кута атаки впливають геометричні розміри КЖБ та радіус його повороту, геометричні розміри РІ (глибина врізання, початковий кут встановлення лез РІ, кутова відстань між вершинами сусідніх лез). Так, при обрізуванні КЖБ висотою 210 мм і товщиною 10 мм під час переміщення за коловою траєкторією радіусом 400 мм та постійному початковому куті встановлення лез  $70^\circ$  і глибині врізання кожного лез в блок на глибину 0,5 мм кут атаки змінюється від  $66^\circ$  (в момент врізання першого леза інструмента в блок) до  $20^\circ$  (при врізанні останнього леза комплекту). Зменшення початкового кута встановлення лез БРІ призводить до зменшення кутів атаки як на початку, так і на завершальному етапі процесу обрізування. При початковому куті встановлення лез

$50^\circ$  кут атаки при врізанні першого леза комплекту становить  $46^\circ$ , а останнього леза РІ –  $0^\circ$ . Початковий кут встановлення лез БРІ не повинен бути однаковим для усіх лез комплекту, але забезпечувати під час обрізування наближено одинаковий кут атаки лез.

Конструкція БРІ дозволяє змінювати кут встановлення окремих лез РІ, що дає змогу нормалізувати кути атаки різних лез комплекту при врізанні, а також забезпечити рівномірний розподіл навантаження на усі леза комплекту БРІ, що сприяє мінімізації сил різання і, як наслідок, забезпечує умови, необхідні для отримання якісного обрізування КЖБ.

На підставі результатів експериментальних досліджень процесу різання доведено [98], що внаслідок значної концентрації напруг у матеріалі КЖБ розділення відбувається в зоні, прилеглій до різальної крайки РІ. Тиск на матеріал блока чинить також скошена грань РІ, що утворює гострий кут із гранню, що лежить у площині різання. Тому важливо дослідити геометричні параметри процесу обрізування на лінії контакту різальної крайки інструмента з матеріалом КЖБ.

В процесі різання на РІ діють сили, що виникають внаслідок стискування елементами робочої частини РІ (скошеною гранню та ріжучою крайкою РІ) матеріалу КЖБ:  $F_p$  – сила опору матеріалу КЖБ руйнуванню,  $F_{cm}$  – сила стиснення матеріалу блока фаскою РІ,  $F_{obm}$  – сила обтиснення матеріалом блока бокової грані леза БРІ (рисунок 2.14 б).

На фаску леза в процесі різання діє лобова сила  $F_\lambda$ , що є сумою проекцій сил  $F_{cm}$  і  $F_{obm}$  на напрямок нормалі:

$$F_\lambda = F_{cm} \cdot \sin \alpha_p + F_{obm} \cos \alpha_p, \quad (2.42)$$

де  $F_{cm}$  – сила стиску фаскою РІ матеріалу блока;  $F_{obm}$  – сила обтиснення бокових граней РІ матеріалом блока.

Внаслідок дії нормальні сили  $F_N$  виникають сили тертя:

на скошений грані леза:

$$F_{T_2} = F_n \cdot f,$$

на бічній грані PI:

$$F_{T_1} = F_n \cdot f,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя паперу по матеріалу леза.

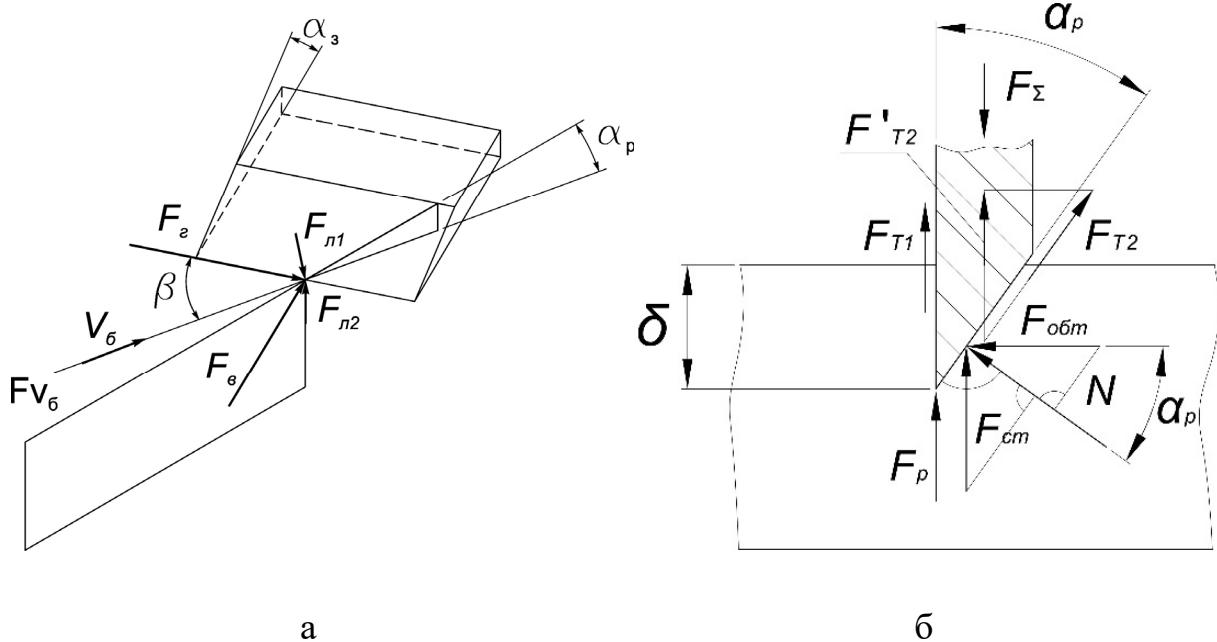


Рис. 2.14. Взаємодія леза БРІ з КЖБ під час обрізування: схема дії складових сили різання на лезо БРІ (а), сили, що виникають внаслідок стискування КЖБ елементами робочої частини РІ (б)

Вертикальна проекція сили  $F_{T_2}$ :

$$F'_{T_2} = F_{T_2} \cdot \cos \alpha_p.$$

Врахувавши значення нормальної сили (2.42) отримуємо:

$$F'_{T_2} = f \cdot \left( F_{cm} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin 2\alpha_p + F_{obm} \cdot \cos^2 \alpha_p \right). \quad (2.43)$$

Складова сили різання  $F_{V6}$  (рисунок 2.14 а), що скерована вздовж вектора лінійної швидкості блока:

$$F_{V_6} = F_p + F_{cm} + F_{T_1} + F'_{T_2}. \quad (2.44)$$

Горизонтальна складова  $F_g$  сили різання, що скерована вздовж ріжучої крайки леза БРІ:

$$F_e = (F_p + F_{cm} + F_{T_1} + F'_{T_2}) \cdot \cos\beta. \quad (2.45)$$

Вертикальна складова  $F_v$  сили різання, що скерована перпендикулярно до ріжучої крайки леза БРІ:

$$F_e = (F_p + F_{cm} + F_{T_1} + F'_{T_2}) \cdot \sin\beta. \quad (2.46)$$

Сумарна сила, що діє на лезо БРІ в процесі різання:

$$F_\Sigma = \sqrt{F_g^2 + F_{V_6}^2 - 2 \cdot F_g \cdot F_{V_6} \cdot \cos\left(\frac{\pi - \alpha_p}{2}\right)}. \quad (2.47)$$

Величина сил  $F_p$ ,  $F_{cm}$ ,  $F_{obm}$  є добуток напружень, що виникають при врізанні леза в КЖБ, на площину контакту елементів робочої частини РІ з блоком:

$$F_{cm} = \sigma_{cm} \cdot S_{x3}, \quad (2.48)$$

$$F_{obm} = \sigma_{obm} \cdot S_{x3}, \quad (2.49)$$

$$F_p = \sigma_p \cdot (S_{x1} + S_{x2}), \quad (2.50)$$

де  $S_{x1}$  і  $S_{x2}$  – площини контакту ділянок  $X_1$  і  $X_2$  різальної крайки леза,  $S_{x3}$  – площа контакту фаски РІ з КБЖ.

$$S_{x1} = rz \cdot l_p \cdot \frac{\pi}{2}, \quad (2.51)$$

$$S_{x2} = rz \cdot l_p \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_p\right), \quad (2.52)$$

$$S_{x3} = \frac{1}{2} \cdot l_p \cdot \frac{\delta - r_z \cdot (1 + \sin \alpha_p)}{\cos \alpha_p}. \quad (2.53)$$

Слід зазначити, що силові показники процесу обрізування КЖБ в значній мірі залежать від деформаційних характеристик паперу:  $E_y$  – умовного модуля пружності (тобто модуля пружності першого роду для певного виду паперу, визначається експериментально згідно ДСТУ 2825-94) та показника степеня  $n$ . На основі реологічної моделі паперу встановлено вплив часу на взаємозв'язок деформації з напруженнями [2, 118, 122]. Проте, коли дія зусиль відбувається за короткий проміжок часу, то з метою спрощення вирішення задачі його вплив, як змінного параметра, можна умовно виключити. Тоді для паперу функціональна залежність має вигляд [122]:

$$\sigma = E_y \times \varepsilon^n \quad (2.54)$$

де  $\varepsilon$  – відносна деформація паперу.

Будучи анізотропним матеріалом папір має різні характеристики при стисненні залежно від напрямку розташування волокон відносно леза РІ. Враховуючи незначну (0,1... 0,5 мм) віддаль лез БРІ від транспортувального засобу КЖБ (кареток), де аркуші ущільнені силою затиску, з метою спрощення проведення розрахунків папір вважаємо однорідним матеріалом зі сталими характеристиками  $E_y$  і  $n$ .

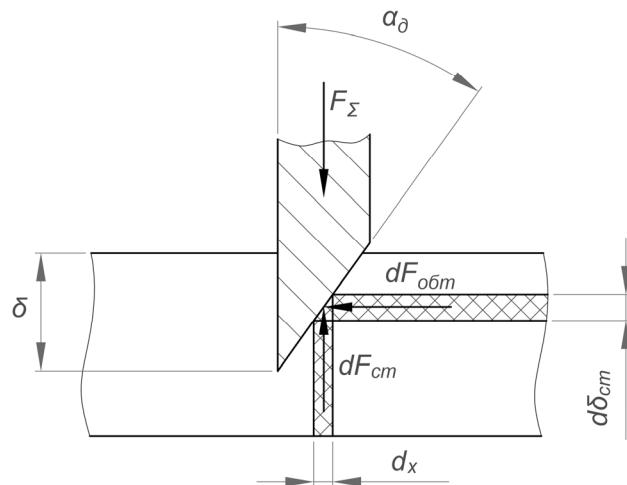


Рис. 2.15. Схема визначення сил  $F_{cm}$  і  $F_{lobm}$

Розглянемо дію напружень стиснення паперу в площині перерізу, обмеженого прямокутним трикутником DCA (рисунок 2.5) леза БРІ.

Абсолютна деформація  $\lambda x_3$  на ділянці  $X_3$ :

$$\lambda x_3 = \delta - r_z (1 + \sin \alpha_p). \quad (2.55)$$

Поточне значення абсолютної деформації:

$$\lambda x_{3i} = \frac{X_{3i}}{\operatorname{tg} \alpha_p}. \quad (2.56)$$

Відносна деформація стиснення матеріалу блока у вертикальному напрямку фаскою PI:

$$\varepsilon_{cm} = \frac{X_{3i}}{\operatorname{tg} \alpha_p \cdot (\delta - r_z (1 + \sin \alpha_p))}. \quad (2.57)$$

Напруження стиснення паперу у вертикальному напрямку фаскою PI рисунок 2.16.

$$\sigma_{cm} = E_y \cdot \left( \frac{1}{(\delta - r_z (1 + \sin \alpha_p)) \cdot \operatorname{tg} \alpha_p} \right)^n \cdot \int_0^{l_p \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_p}{\cos \beta_H}} X^n dX. \quad (2.58)$$

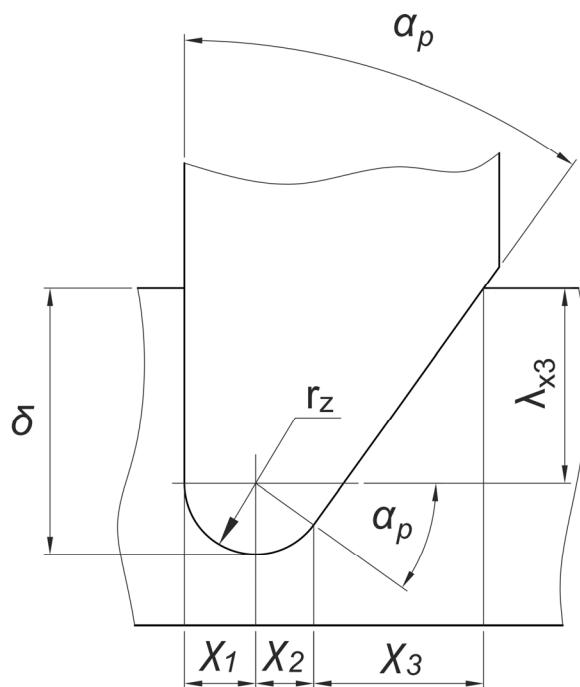


Рис. 2.16. Розрахункова схема

Відносна деформація стиснення матеріалу блока  $\varepsilon_{obm}$  у горизонтальному напрямку фаскою РІ пов'язана із відносною деформацією вертикальному напрямку  $\varepsilon_{ct}$  залежністю [81]:

$$\varepsilon_{obm} = \mu \cdot \frac{X_{3i}}{\operatorname{tg}\alpha_p \cdot (\delta - r_z(1 + \sin \alpha_p))}. \quad (2.59)$$

Напруження стиснення паперу у горизонтальному напрямку фаскою РІ

$$\sigma_{obm} = E_y \cdot \mu \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_p \cdot (\delta - r_z(1 + \sin \alpha_p))} \right)^n \cdot \int_0^{l_p \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha_p}{\cos \beta_p}} X^n dX. \quad (2.60)$$

На основі отриманого аналітичного виразу побудовано графіки залежностей сили різання окремим лезом БРІ (рисунок 2.17) від кута встановлення леза  $\beta_p$ , глибини різання  $\delta$ , радіуса заокруглення ріжучої крайки леза  $r_z$  для блоків виготовлених з трьох видів паперу, що мають найбільш виражені деформаційні характеристики: крейдований ( $E_y = 56,2$ ;  $n = 1,752$ ), офсетний №1 ( $E_y = 43,7$ ;  $n = 1,434$ ) та газетний ( $E_y = 38,6$ ;  $n = 1,475$ ).

На графіку (рисунок 2.17) представлено типову залежність сумарної сили різання від кута атаки  $\beta$  леза. Результати дослідження наведені стосовно леза із кутом загострення  $\alpha_3 = 15^\circ$ , віддалі вершини леза від центра повороту КЖБ  $r = 400$  мм радіусом заокруглення ріжучої крайки леза  $r_z = 0,004$  мм.

З графіка видно, що при збільшенні величини кута встановлення  $\beta_p$  від  $10^\circ$  до  $20^\circ$  сила різання зменшується для усіх трьох видів паперу. Для паперу типу крейдований сила різання зменшується від 22 Н до 14 Н, для паперу типу газетний від 11 Н до 5 Н, для офсетного від 12 Н до 6,5 Н. Зменшення величини сили різання при зміні кута встановлення від  $10^\circ$  до  $20^\circ$  обумовлене зменшенням в 3 рази довжини лінії різання  $l_p$ .

При подальшому збільшенні величини кута встановлення  $\beta$  від  $20^\circ$  до  $60^\circ$  відбувається зростання величини сили різання (до 28 Н – папір крейдований, до 15 Н – газетний, до 20 Н – офсетний). При подальшому збільшенні кута атаки

леза до  $\beta = 90^\circ$  величина сили різання стрімко зростає. Даний факт можна пояснити незначним зменшенням довжини лінії різання (від 0,6мм при  $\beta = 60^\circ$  до 0,5 мм при  $\beta = 90^\circ$ ) при збільшенні кута різання до  $\alpha_p = \alpha_z$ .

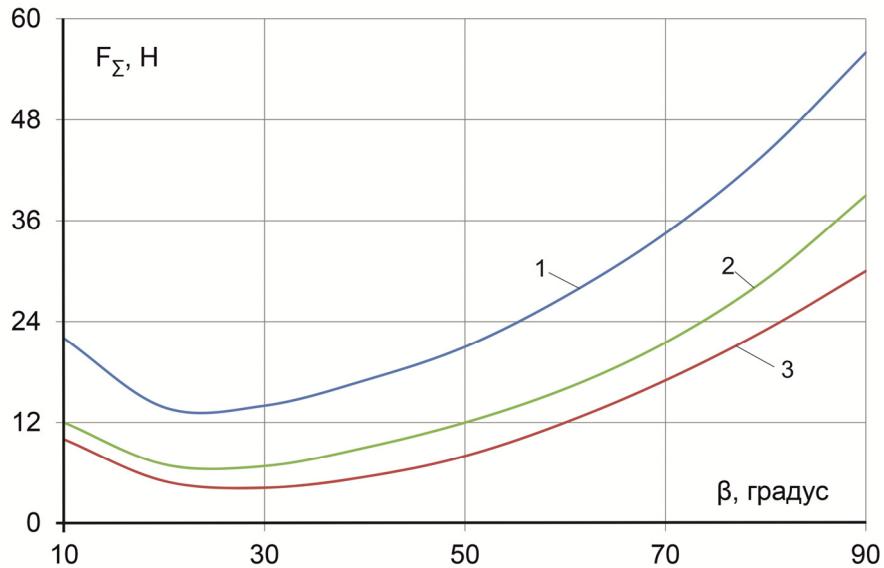


Рис. 2.17. Залежність сумарної сили  $F_{\Sigma}$  різання від кута атаки  $\beta$ :  
1 – крейдований папір, 2 – офсетний, 3 – газетний

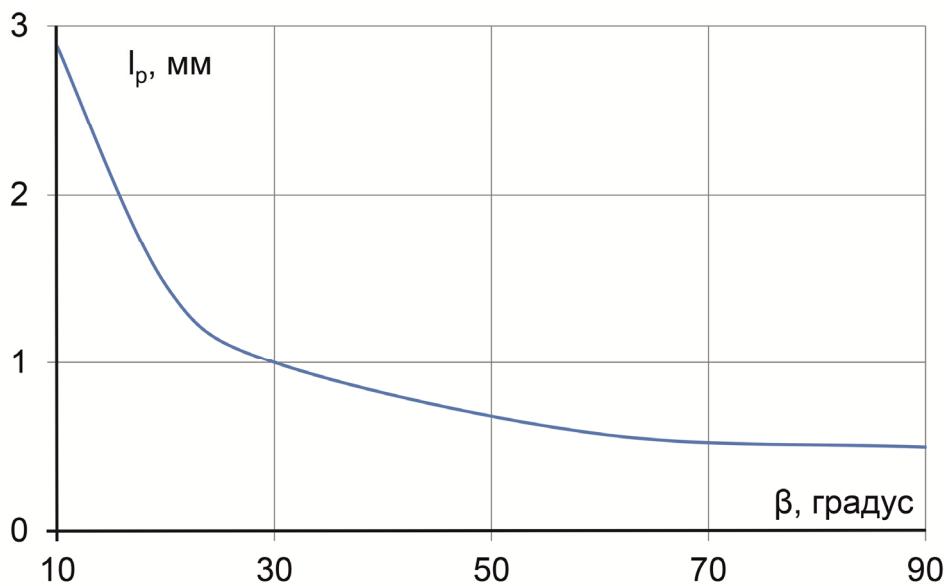


Рис. 2.18. Залежність довжини лінії різання від кута атаки леза

Отже, кут встановлення  $\beta_p$  леза впливає на довжину  $l_p$  лінії різання та величину дійсного кута різання  $\alpha_p$ , а відтак і на силу різання. З огляду на величину сили різання, що виникає під час обрізуванні КЖБ гострим лезом ( $r_z = 0,004$  мм) оптимальний кут встановлення лез БРІ слід вибирати в межах

від  $40^\circ$  до  $60^\circ$  залежно від виду паперу, з якого виготовлено блок. Для щільних видів паперу (наприклад крейдований, масою  $m = 120 \text{ г}/\text{м}^2$ , густину  $\rho = 1,30 \text{ г}/\text{см}^3$ ) оптимальним, з точки зору величини сили різання, є кут встановлення лез БРІ  $\beta_{\Pi} = 55^\circ$ . Для більш пухких видів паперу (газетний масою  $m = 50 \text{ г}/\text{м}^2$ , густину  $\rho = 0,6 \text{ г}/\text{см}^3$  та офсетний № 1, масою  $m = 75 \text{ г}/\text{м}^2$ , густину  $\rho = 0,74 \text{ г}/\text{см}^3$ ) оптимальним є кут  $\beta_{\Pi} 45^\circ - 50^\circ$ .

На рисунку 2.19 представлено графік залежності сумарної сили різання від глибини різання окремим лезом БРІ, що має кут загострення  $\alpha_3 = 15^\circ$ , кут встановлення  $\beta_{\Pi} = 45^\circ$ , радіус заокруглення ріжучої країки леза  $r_z = 0,004 \text{ мм}$ .

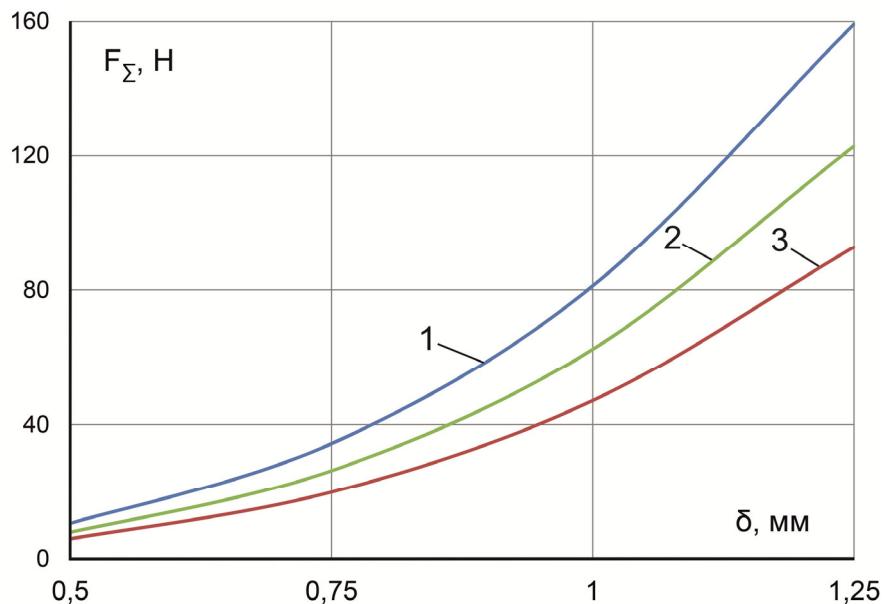


Рис. 2.19. Залежність сили різання від глибини різання  
1 – крейдований папір, 2 – офсетний, 3 – газетний

З графіка (рисунок 2.19) видно, що зростання глибини різання окремим лезом БРІ призводить до зростання сумарної сили різання для усіх видів паперу і, як наслідок, необхідності збільшення зусилля затиску КЖБ каретками транспортера, що може привести до пошкодження КЖБ. Зменшення глибини різання окремим лезом призводить до мінімізації сили різання. Проте, як показали проведені теоретичні дослідження впливу взаємного розташування лез БРІ на його розміри та величину сили затиску КЖБ під час обрізування, при зменшенні глибини різання окремим лезом спостерігається значне зростання лінійних розмірів

PI [94]. Отже, з огляду на лінійні розміри БРІ, сили різання, що виникають під час обрізування КЖБ та якість їхнього обрізування доцільною є глибина різання окремим лезом в межах від 0,3 мм до 0,7 мм залежно від виду паперу.

На рис. 2.20 представлено графік залежності сили різання, що виникає під час обрізування книжкового блока виготовленого з крейдованого паперу від радіуса заокруглення ріжучої країки леза багатолезового різального інструменту. Мінімальний радіус заокруглення країки утворюється під час загострення леза. В процесі різання радіус  $r_z$  збільшується (затуплення леза) і при досягненні 0,028 мм є критичним (сила різання значно збільшується, якість різу суттєво погіршується).

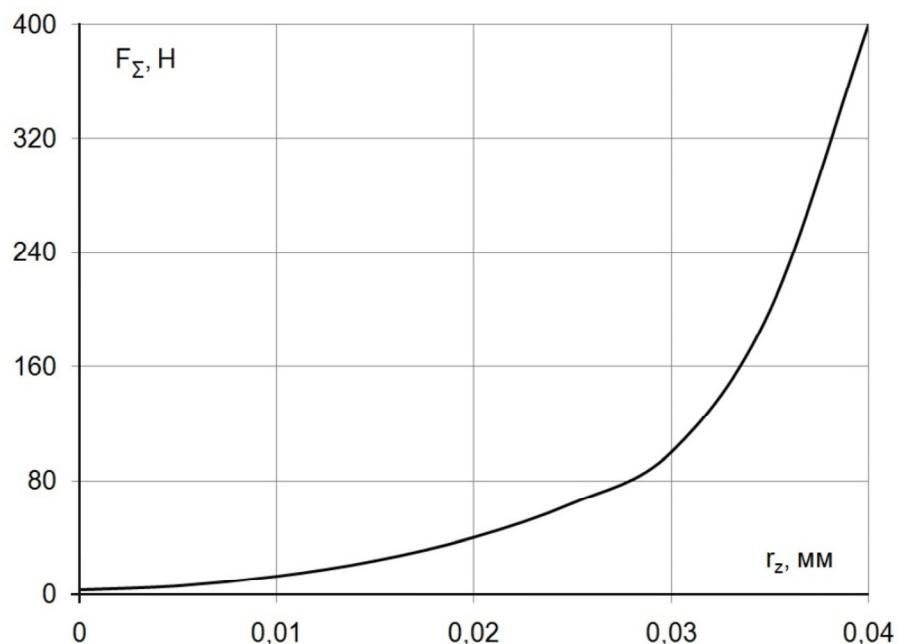


Рис. 2.20. Залежність сили різання від радіуса заокруглення вершини леза

Аналізуючи графік залежності представлений на рис.2.20 можна стверджувати, що зі збільшенням радіуса заокруглення ріжучої країки леза стрімко зростає сумарна сила різання. Так, за отриманими аналітичними залежностями (2.41, 2.54), сила різання, що виникає під час обрізування лезом із радіусом заокруглення ріжучої країки леза  $r_z = 0,004$  мм книжкового блока виготовленого з крейдованого паперу становить 6 Н. Зі збільшенням радіуса заокруглення ріжучої країки леза понад  $r_z = 0,03$  мм стрімко зростає величина сили різання (до 400 Н при  $r_z = 0,04$  мм), що призводить до суттєвого зниження якісних показни-

ків процесу обрізування. При зростанні сили різання 1,5 – 2 рази радіус заокруглення леза багатолезового різального інструмента не повинен перевищувати при куті встановлення леза [81, 98]. Результати проведених теоретичних досліджень створюють передумови для пошуку раціональних геометричних розмірів БРІ, технологічних параметрів процесу обрізування, що є важливим при розроблені нового, так і при модернізації існуючого устаткування.

#### **2.4. Визначення сили затиску книжково- журнальних блоків під час обрізування**

Вибір типу системи транспортування, яка б одночасно забезпечувала переміщення і технологічно необхідне зусилля затискування блоків під час обрізування, є важливим з огляду на якість і точність обрізування. На ці показники суттєво впливає точність базування блоків відносно РІ транспортувальними засобами, що в свою чергу залежить від сили затиску КЖБ.

Під час розрахунків сили затиску КЖБ суттєве значення мають силові показники процесу їхнього обрізування. На леза РІ під час обрізування блоків діє сила різання, яку можна розділити на складові: горизонтальну  $F_g$ , вертикальну  $F_v$  і лобову  $F_l$ . Горизонтальна і вертикальна складові сили різання діють у площині з тильного боку леза (різання), а лобова – у площині, перпендикулярній скошеній площині леза (фасці). Вертикальна складова  $F_v$  спрямована перпендикулярно крайці леза, а горизонтальна  $F_g$  – у напрямку переміщення блока. Горизонтальна складова  $F_g$  сили різання діє на лезо у напрямку переміщення блока і є наслідком перепилювання паперу за рахунок мікронерівностей крайки леза, розщеплювання, зминання, втискування, розривання і частково виривання волокон целюлози з паперу. Вертикальна складова  $F_v$  сили різання є наслідком пресування блока, взаємодії з блоком крайки леза та його фаски з обрізаною частиною блока – стружкою [41, 105, 119].

Під час розрахунків використовувалися максимальні значення сили різання залежно від: фізико-механічних властивостей паперу, з якого виготовлені КЖБ, кута атаки лез БРІ, глибини різання лезом тощо.

Характер взаємодії БРІ з КЖБ, що під час обрізування переміщається за коловою траєкторією, залежить від взаємного розташування лез інструмента та блока.

На рисунку 2.21 наведено схему взаємодії РІ з КЖБ. Напрямок дії складових сили різання ( $F_g$  – горизонтальної,  $F_v$  – вертикальної) вказані стрілками. В процесі обрізування блока, що переміщується за коловою траєкторією горизонтальна  $F_g$  складова сили різання направлена вздовж дотичної проведеної до траєкторії переміщення блока в точці контакту вершини ріжучої крайки леза з блоком.

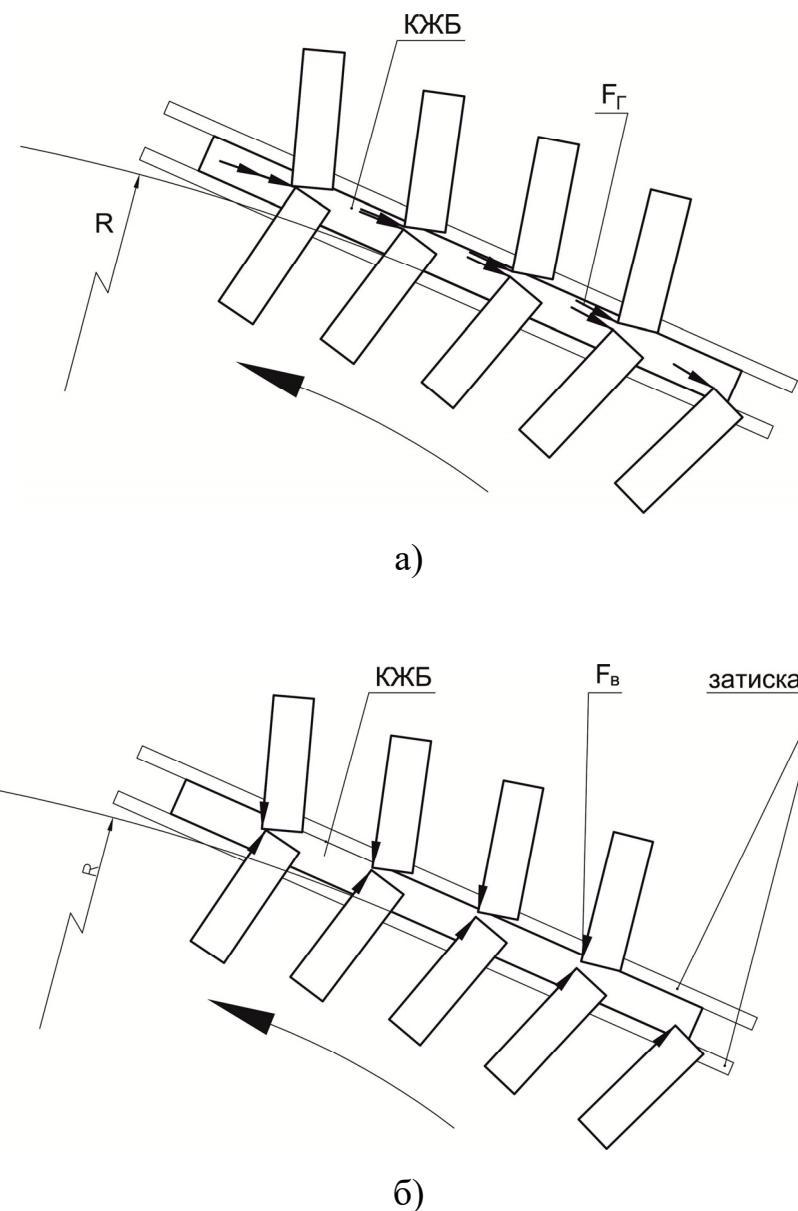


Рис. 2.21. Напрямок дії складових сили різання під час обрізування КЖБ: горизонтальної  $F_g$  (а), вертикальної  $F_v$  (б)

Проведені експериментальні дослідження [11, 98] показали, що для крейдованих видів паперу розподіл складових сили різання:  $F_g \approx F_b$ , а  $F_\perp \approx 60\% F_g$ . Проте, з урахуванням коефіцієнту тертя блока по робочих площинах лез БРІ ( $f_m = 0,1 - 0,25$ ) величина лобової складової сили різання  $F_\perp \approx 5\% F_g$ , а вертикальної –  $F_b \approx 20\% F_g$ .

Таким чином, враховуючи викладене вище, сила різання одним лезом БРІ становитиме:

$$F_\Sigma = 1,2F_g \quad (2.61)$$

Отже, сила опору транспортування блока каретками транспортера, що виникає внаслідок дії сили різання  $F_\Sigma$  одним лезом БРІ:

$$F_\Sigma = F_g + (F_b + F_\perp) \times f_m, \quad (2.62)$$

де  $f_m$  – коефіцієнт тертя КЖБ по робочих площинах лез БРІ.

Для якісного обрізування необхідно забезпечити надійну затиск блока. Умова уникнення зсуву КЖБ в затискачах кареток:

$$F_{\text{зам}} > \frac{F_\Sigma}{f_k}, \quad (2.63)$$

де  $f_k$  – коефіцієнт тертя між матеріалом КЖБ і затискачами каретки,  $F_o$  – сила опору переміщення блока.

$$F_o = F_\Sigma \times n, \quad (2.64)$$

де  $n$  – кількість лез БРІ, задіяних в процесі обрізування.

За результатами розрахунків побудовані графіки (рисунок 2.22) залежності кількості лез, що задіяні в процесі обрізування КЖБ різного розміру, із кутовою віддаллю між вершинами сусідніх лез РІ від  $1,5^\circ$  до  $3^\circ$ .

З графіків видно, що в діапазоні радіуса повороту блока від 400 мм до 800 мм кількість одночасно задіяних в процесі обрізування лез зменшується

удвічі для кожного з КЖБ. В діапазоні радіусів повороту блока від 800 мм до 1200 мм зменшення кількості одночасно задіяних в процесі обрізування лез зменшується менш інтенсивно, приблизно в 1,5 рази. Найбільша кількість одночасно задіяних лез БРІ спостерігається в діапазоні радіусів повороту КЖБ від 400 до 600 мм. Прогнозовано зусилля обрізування сяgne максимального значення під час руху за траєкторією радіусом 400мм.

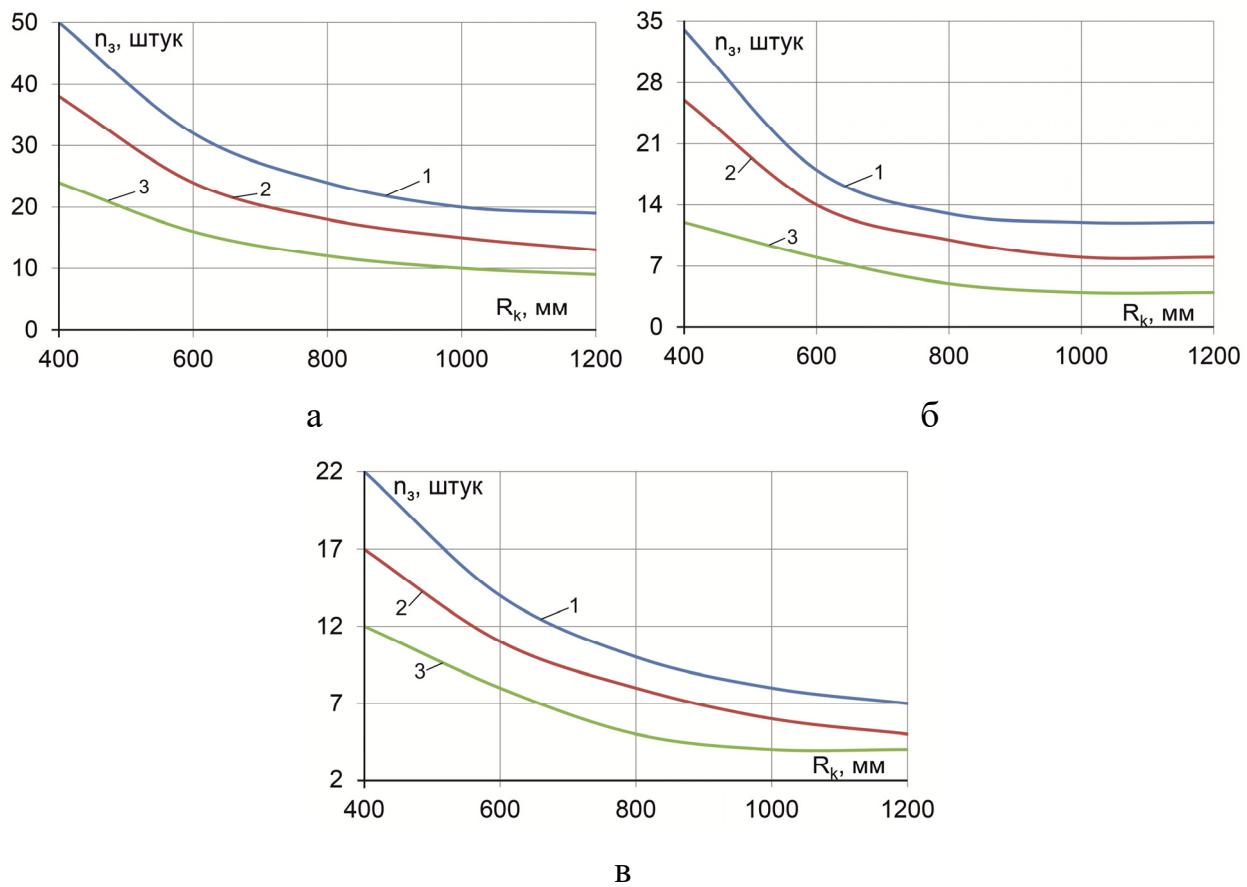


Рис. 2.22. Залежності кількості лез РІ задіяних в процесі обрізування від радіуса повороту КЖБ різних формату, 290x30 (а), 200x20 (б), 140x10 (в), кут  $\gamma$  між вершинами сусідніх лез: 1 –  $1,5^\circ$ , 2 –  $2^\circ$ , 3 –  $3^\circ$

Зміна кількості одночасно задіяних в процесі обрізування лез РІ внаслідок зміни радіуса повороту КЖБ, перш за все, пояснюється щільністю розташування лез БРІ (величиною центрального кута між вершинами ріжучих крайок сусідніх лез). Проведені аналітичні дослідження та дослідження графічної моделі, побудованої за допомогою *AutoCAD*, показали, що при стабільній лінійній віддалі між вершинами крайок сусідніх лез БРІ із зміною віддалі лез

від центра повороту КЖБ змінюється центральний кут лез, а кількість одночасно задіяних в процесі обрізування лез залишається незмінною. Щільність розташування лез безпосередньо впливає на лінійні розміри БРІ.

На основі розрахованої довжини РІ проведено аналітичні дослідження сили, що виникатиме в процесі безвистійного обрізування КЖБ при їхньому русі за коловою траєкторією. Результати представлені у вигляді графічних залежностей (рис. 2.23).

З графіків видно, що сила затиску КЖБ під час обрізування змінюється відповідно до кількості одночасно задіяних в процесі обрізування лез РІ. Максимальні значення величини сили затиску становлять 3500 Н для обрізування КЖБ за допомогою БРІ із кутом між вершинами сусідніх лез  $1,5^\circ$ .

Досягнення значних величин сили затиску недопустимо з огляду на виникнення пластичних деформацій аркушів блока, що негативно впливатиме на якість книг та брошуру. Крім того виникають труднощі щодо забезпечення необхідної величини сили затиску транспортуючими системами відомих конструкцій.

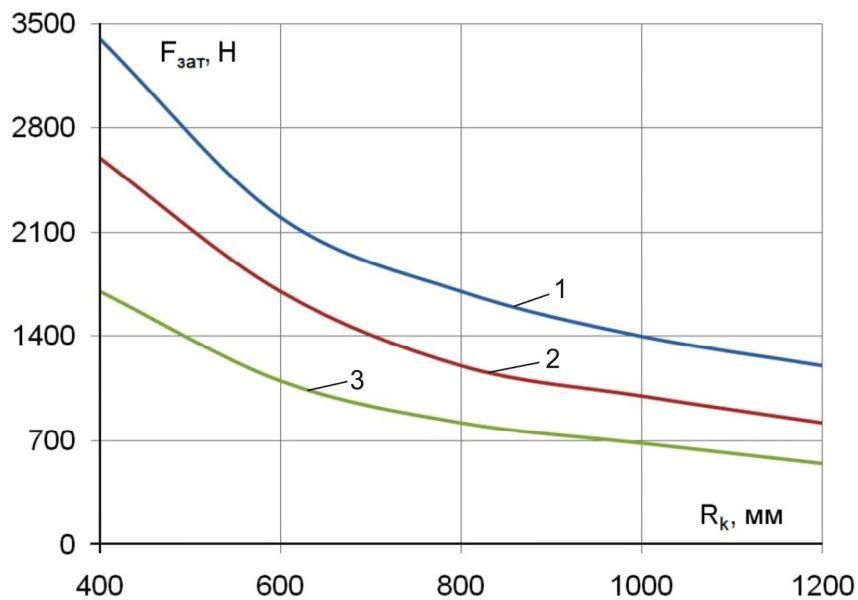


Рис. 2.23. Залежності сили затиску від радіуса повороту КЖБ висотою 290 і товщиною 30 мм кут  $\gamma$  між вершинами сусідніх лез: 1 –  $1,5^\circ$ , 2 –  $2^\circ$ , 3 –  $3^\circ$

Отже, з огляду на величину зусилля затиску КЖБ, а також габаритів РІ, радіус повороту блока під час його обрізування рекомендовано приймати не меншим за 400 мм.

## **2.5. Енергосилові параметри процесу обрізування КЖБ багатолезовим різальним інструментом спеціальної конструкції**

Сили, що виникають в процесі обрізування безпосередньо впливають на споживану потужність різального устаткування. При обрізуванні КЖБ БРІ потужність різання рівна сумі потужностей всіх одночасно задіяних лез інструмента. Основними факторами, що впливають на потужність різання окремого леза є швидкість переміщення блока під час його обрізування, сили різання, а також довжина лінії різання окремим лезом БРІ.

Для окремого леза БРІ робота сили різання:

$$A_i = F_{\Sigma} \times l_p, \quad (2.65)$$

де  $F_{\Sigma}$  – сила різання окремим лезом РІ,  $l_p$  – довжина лінії різання окремим лезом РІ.

Потужність різання окремим лезом РІ:

$$N_i = \frac{A_i}{t_i} = F_{\Sigma} \cdot V_i, \quad (2.66)$$

де  $t_i$  – час різання окремим лезом БРІ,  $V_i$  – лінійна швидкість в точці контакту блока з окремим лезом БРІ.

Час різання блока окремим лезом РІ залежить від швидкості транспортування блоків  $V_b$  під час обрізування. При переміщенні блока за коловою траєкторією  $V_b$  – лінійна швидкість внутрішньої (найближчої до центра повороту блока) точки блока. Виходячи з величини необхідної швидкості  $V_b$  кутова швидкість  $\omega$  книжкового блока:

$$\omega = \frac{V_\delta}{R_k}. \quad (2.67)$$

Лінійна швидкість  $V_i$  в точці контакту КЖБ з окремим лезом БРІ, враховуючи 2.66:

$$V_i = \frac{V_\delta}{R_k} \cdot r_i. \quad (2.68)$$

Тоді потужність різання окремим лезом РІ:

$$N_i = F_\Sigma \cdot \frac{V_\delta}{R_k} \cdot r_i. \quad (2.69)$$

Як показали проведені параметричні дослідження на завершальному етапі процесу обрізування кількість лез, що одночасно знаходяться в контакті з блоком, є максимальною. В контакті з блоком знаходяться як леза зовнішнього, так і леза внутрішнього комплектів лез БРІ.

Миттєва потужність різання  $N_\Sigma$  БРІ блоків, що рухаються за коловою траекторією, є сума потужностей різання усіх лез, задіяних у даний момент в процесі обрізування. Максимальна миттєва потужність різання при максимальній кількості задіяних в процесі обрізування КЖБ лез БРІ:

$$N_{\max} = N_{i1} + N_{i2} + \dots + N_{in} \quad (2.70)$$

*2.5.1. Визначення потужності приводу транспортуючої системи переміщення КЖБ під час обрізування.*

Розроблена методика розрахунку дозволяє виконати аналіз впливу геометричних параметрів БРІ на величину потужності приводу системи транспортування КЖБ під час обрізування.

Потужність різання одним лезом БРІ становить:

$$N_{pi} = F_\Sigma \times \omega \times r_i. \quad (2.71)$$

де  $F_\Sigma$  – сила різання окремим лезом БРІ (не залежить від місця розташування леза в комплекті БРІ),  $r_i$  – віддаль вершини окремого леза від центра повороту КЖБ,  $\omega$  – кутова швидкість блока під час обрізування.

Миттєва потужність різання леза зовнішнього комплекту:

$$N_{\text{zpi}} = F_\Sigma \times \omega \times r_{zi}. \quad (2.72)$$

Миттєва потужність різання леза внутрішнього комплекту:

$$N_{\text{epi}} = F_\Sigma \times \omega \times r_{ei}. \quad (2.73)$$

Сумарна миттєва потужність різання лезами зовнішнього комплекту:

$$N_{\text{zp}\Sigma} = F_\Sigma \times \omega \times r_{z1} + F_\Sigma \times \omega \times r_{z2} + \dots + F_\Sigma \times \omega \times r_{zn}. \quad (2.74)$$

Сумарна миттєва потужність різання лезами внутрішнього комплекту:

$$N_{\text{ep}\Sigma} = F_\Sigma \times \omega \times r_{e1} + F_\Sigma \times \omega \times r_{e2} + \dots + F_\Sigma \times \omega \times r_{en} \quad (2.75)$$

Представимо добуток  $F_\Sigma \times \omega = \kappa$  як коефіцієнт рівняння  $N_{\text{zpi}} = F_\Sigma \times \omega \times r_{zi}$ , тобто  $N_{\text{zpi}} = \kappa \times r_i$ , а множину  $r_i$  у вигляді матриці-рядка:  $R_z = (r_{z1}; r_{z2}; \dots; r_{zn})$ ,  $R_e = (r_{e1}; r_{e2}; \dots; r_{en})$ .

Споживана потужність різання залежно від радіуса повороту траекторії, за якою рухається КЖБ, представлено на рисунку 2.24 для КЖБ різного формату.

З графіків (рисунок 2.24 а, б, в) видно, що із збільшенням радіуса повороту блока від 400 до 1200 мм споживана потужність БРІ в процесі обрізування КЖБ зростає нелінійно. Під час обрізування блока висотою 290 мм і товщиною 30 мм при збільшенні радіуса повороту до 600 мм споживана потужність зростає на 3,6 %. При подальшому збільшенні радіуса повороту блока від 600 мм до 1200 мм споживана потужність зростає на 1 %. Цей факт можна пояснити зростанням збільшенням величини моменту від сили різання внаслідок збільшення радіуса повороту КЖБ з одночасним зменшенням кількості задіяних в процесі

обрізування лез БРІ. Так, при збільшенні радіуса повороту до 600 мм КЖБ висотою 290 кількість одночасно задіяних лез БРІ в процесі обрізування зменшується вдвічі (рисунок 2.22), а при збільшенні радіуса повороту блока від 600 мм до 1200 – на 20%.

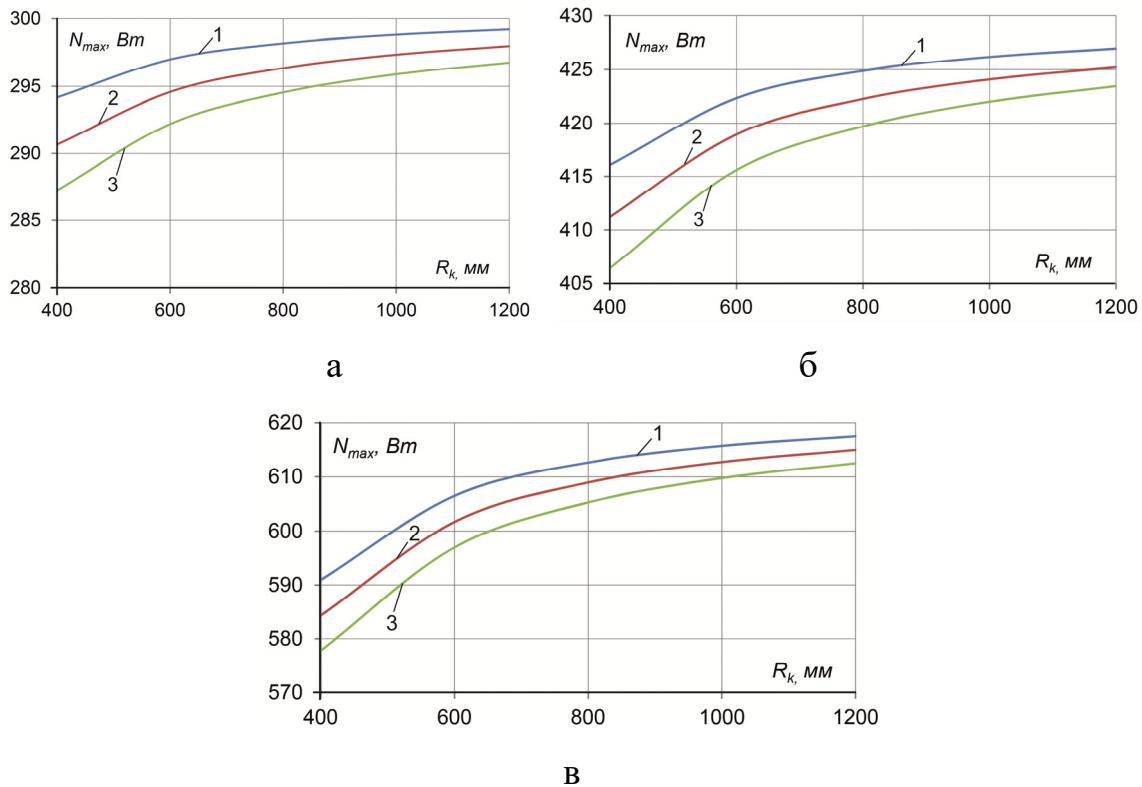


Рис. 2.24. Графіки залежності споживаної потужності від радіуса повороту КЖБ висотою 140 (а), 200 (б), 290 (в) мм, товщиною:

1 – 10мм, 2 – 20мм, 3 – 30мм

Суттєвий вплив на споживану потужність чинять як формат блоків так і їх товщина. Максимальна споживана потужність в процесі обрізування КЖБ висотою 290 мм і товщиною 30 мм становить 0,62 кВт, а мінімальна – 0,29 кВт для КЖБ висотою 140 мм і товщиною 10 мм. При радіусі повороту 400 мм для КЖБ усіх форматів збільшення товщини блоків від 10 мм до 30 мм призводить до зростання споживаної потужності на 2,5 %, а при радіусі повороту 1200 мм – на 1 %. При збільшенні висоти КЖБ від 140 мм до 290 мм споживана потужність зростає в два рази. Отже, чинниками, що суттєво впливають на споживану потужність при обрізуванні під час переміщення за коловою траєкторією є висота (формат) КЖБ, яка визначає кількість одночасно задіяних лез.

## 2.6. Висновки до розділу

За результатами виконаних у розділі аналітичних досліджень процесу обрізування КЖБ за допомогою БРІ отримано наступні висновки:

1. Дослідження процесу обрізування КЖБ при русі блока за коловою траєкторією із використанням суцільного РІ показали, що зміна величини кута атаки леза інструменту обумовлена геометричними параметрами, радіусом повороту блока під час обрізування та розмірами самого РІ. Кут атаки в процесі знаходиться в межах  $0^\circ - 17,5^\circ$ , що обумовлює зміну довжини лінії різання (0–160 мм) протягом циклу обрізування блока. Такий діапазон зміни величин кута атаки РІ, а також довжини лінії різання протягом циклу призводить до нестабільності енергосилових параметрів процесу обрізування, що вказує на недоцільність застосування суцільного РІ для обрізування КЖБ при русі за коловою траєкторією.

2. Запропонована конструкція БРІ дає змогу уникнути недоліків, які виникають із використанням суцільного РІ, оскільки уможливлено регулювання кута атаки, а також глибини різання кожного окремого леза. Проведені аналітичні дослідження процесу обрізування КЖБ за допомогою БРІ показали, що створюються значно кращі умови обрізування, забезпечується зменшення зусилля різання за рахунок плавного зростання глибини врізання лез БРІ, а також трансформації кута різання окремих лез.

3. Виявлено інтенсивне зростання величини кута атаки на проміжку зміни радіуса повороту блока 200 – 400 мм, що обумовлено значною кривиною траєкторією блока. На проміжку зміни радіуса повороту блоків  $>500$  мм кут атаки зростає плавно. На підставі отриманих результатів досліджень, з метою стабілізації кута атаки радіус повороту КЖБ під час обрізування рекомендується приймати в межах 550–750 мм.

4. З врахуванням геометричних розмірів КЖБ та властивостей паперу, як основного матеріалу, ( $E, n$ ) при стисненні ( $\sigma = E_y \times \varepsilon^n$ ) та зусиль руйну-

вання виведена аналітична залежність зусилля обрізування КЖБ, як функція характеристик ( $E, n, \delta$ ) і геометричних параметрів РІ.

5. На основі аналітичної залежності визначення зусилля обрізування КЖБ при русі за коловою траєкторією із використанням БРІ побудовані діаграми зміни довжини лінії різання від кута встановлення леза та зміни зусилля обрізування залежно від глибини врізання леза в КЖБ.

6. Доведено, що кут встановлення леза впливає на довжину лінії різання та кут різання, а відтак і на силу різання. З огляду на це, з врахуванням виду паперу із якого виготовлено КЖБ рекомендовано встановлювати окремі леза БРІ під кутом  $18^\circ - 25^\circ$ . Для оптимізації лінійних розмірів БРІ та зменшення сили різання, що виникає під час обрізування КЖБ із забезпеченням належної якості обрізування доцільною є глибина різання окремим лезом 0,3–0,7 мм.

7. За результатами проведених досліджень зусилля затиску КЖБ, необхідного для якісного обрізування при їх транспортуванні встановлено, що сила затиску КЖБ під час обрізування змінюється відповідно до зміни сил різання. Максимальні значення величини сили затиску 3500 Н (радіус повороту блока 400 мм, щільність розташування лез  $1,5^\circ$ , мінімальні – 600 Н, при радіусі повороту блока 1200 мм і щільності розташування лез  $3^\circ$ ).

8. Вперше розроблено методику розрахунку потужності приводу системи транспортування КЖБ під час обрізування і проведено аналіз впливу геометричних параметрів БРІ на величину потужності. Так оптимальною з огляду на якість обрізування блоків є конструкція БРІ, із кількістю лез зовнішнього комплекту 75...80% від кількості лез внутрішнього комплекту.

## РОЗДІЛ 3

# МАТЕРІАЛЬНА БАЗА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОБРІЗУВАННЯ ПЕРЕДНЬОГО ПОЛЯ КНИЖКОВО-ЖУРНАЛЬНИХ БЛОКІВ, ЩО РУХАЮТЬСЯ ЗА КОЛОВОЮ ТРАСКТОРІЄЮ

### **3.1. Мета і програма експериментальних досліджень**

Метою експериментальних досліджень є визначення оптимальних геометричних параметрів різального інструмента та технологічних режимів процесу обрізування КЖБ для практичного застосування при створенні нового та уdosконаленні існуючого устаткування для обрізування КЖБ під час їх транспортування за коловою траєкторією. Отримано результати експериментальних досліджень є критерієм оцінювання достовірності результатів проведених теоретичних досліджень [3, 20, 46].

Силові параметри процесу обрізування КЖБ експериментально досліджено в лабораторних умовах на спеціально сконструйованому і виготовленому стенді, встановленому на ділянці повороту кареток агрегата незшивного клейового скріplення Trendbinder TB-18 [126]. Силові параметри процесу різання визначалися методом тензометричної реєстрації лінійної деформації трикомпонентного динамометра. За величиною деформації трикомпонентного динамометра визначено величину складових сили різання окремими лезами багатолезового різального інструмента [46, 47, 54, 78, 87, 88].

Програмою експериментальних досліджень передбачено визначення впливу фізико-механічних властивостей різних видів паперу, швидкості переміщення (транспортування) блоків, глибини різання, кута атаки окремих лез багатолезового різального інструмента, відстані між площинами різання та затиску, розмірів КЖБ на зусилля затиску, силові характеристики та якісні показники процесу обрізування блоків.

### 3.2. Метод і засоби експериментального дослідження.

#### 3.2.1. Лабораторний стенд для експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження проводились з використанням дослідного пристрою, який являє собою окрім різальної секцію (рисунок 3.1), встановлену на ділянці повороту транспортера з картками агрегата Trendbinder TB-18, що призначений для незшивного клейового скріплення КЖБ. Встановлення різальної секції на ділянці повороту кареток транспортера імітує безвистійне обрізування КЖБ в машинах карусельного типу.

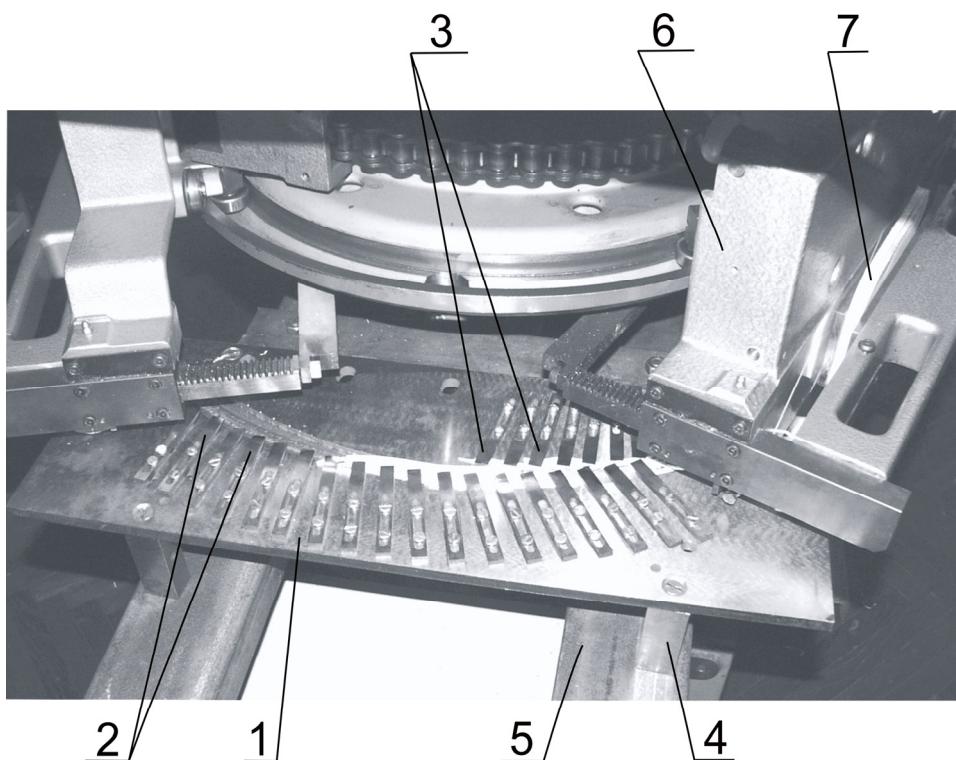


Рис. 3.1. Загальний вигляд різальної секції:

*1 – монтажна плита, 2 – основний різальний інструмент,  
3 – допоміжний інструмент, 4,5 – засоби регулювання положення різального  
інструменту*

Конструкцією РІ передбачено наявність основного 2 та допоміжного 3 різальних інструментів, закріплених на монтажній плиті 1 (4 і 5 – засоби регулювання відстані між площинами різання та затискування КЖБ затискачами картки). При цьому леза основного РІ 2 зрізують більшу частину КЖБ, а леза допоміжного забезпечують якісне «дорізування» блока, що досягається «перек-

риттям» крайок останніх лез основного різального інструмента крайками лез допоміжного інструмента.

Для забезпечення можливості регулювання глибини різання кожним окремим лезом інструмента і, як результат, зміну силових та якісних параметрів процесу обрізування у конструкції різальних інструментів передбачено можливість зміни їх положення на монтажній плиті. Okрім цього передбачено можливість регулювання положення різального інструмента відносно каретки транспортера. Регулювання відстані між площиною розташування ріжучих крайок лез різального інструмента (площиною обрізування) та губками кареток транспортера (рисунок 3.2) здійснюється шляхом заміни калібриваних шайб 1, встановлених між монтажною плитою 2 різального інструмента і стійками 3.

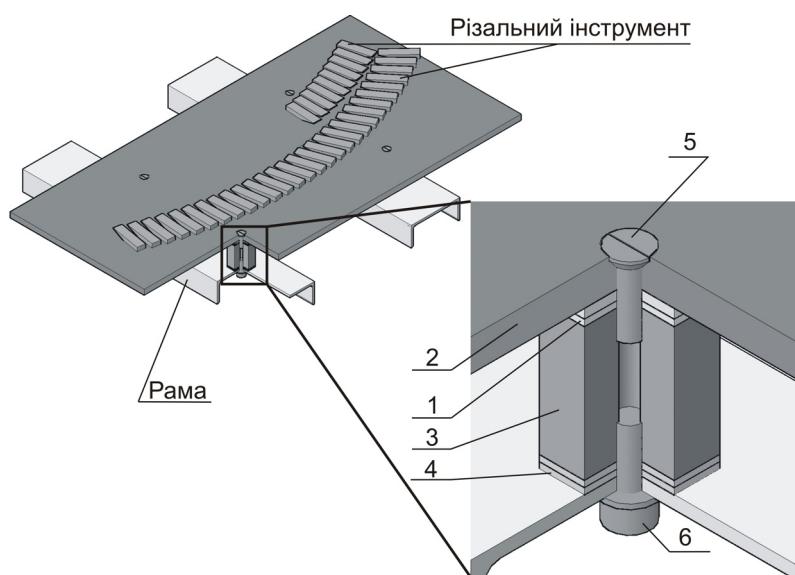


Рис. 3.2. Регулювання відстані між площиною різання та каретками транспортера:

*1 – шайби калібровані, 2 – монтажна плита, 3 – стійки, 4 – дистанційні пластини, 5, 6 – гвинти*

Конструкцією різальної секції передбачено зміну відстані між площиною різання та губками кареток транспортера у межах від 0,3 мм до 1 мм. З цією метою між стійками 3 та рамою встановлено набори дистанційних пластин 4 для регулювання горизонтального положення монтажної плити 2 стосовно губок кареток транспортера. Гвинти 5 служать для з'єднання монтажної плити 2 зі

стійками 3, а гвинти 6 – для з’єднання стійок 3 і рами різальної секції на корпусі агрегата.

Каретки агрегату Trendbinder TB-18 (рисунок 3.3) шарнірно з’єднані з ланцюговим транспортером 2, який приводиться в рух ведучою зірочкою (на рис.4.3 умовно не зображене) від блока привода 3. Швидкість руху кареток (транспортера) регулюється за допомогою пульта управління 4.

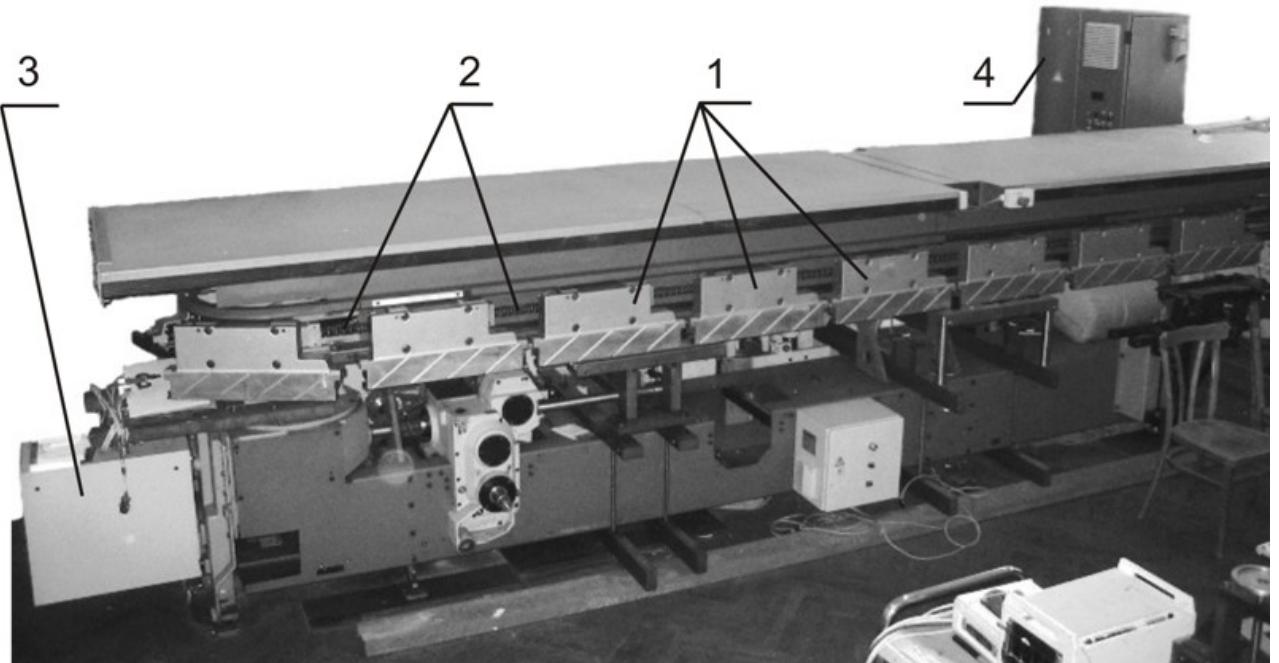


Рис. 3.3. Загальний вигляд агрегату Trendbinder TB-18:

*1 – каретки, 2 – ланцюговий транспортер, 3 – блок приводу,*

*4 – пульт керування*

Основні технічні характеристики агрегата незшивного скріплення Trendbinder TB-18 наведені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика агрегата Trendbinder TB-18

Параметр	Величина
Швидкість транспортера, м/с мінімальна	0,3
максимальна	1,3
Регулювання швидкості	безступінчате
Товщина книжкового блока, мм мінімальна	3
максимальна	60
Формат книжкового блока, мм мінімальний	100 × 75
максимальний	480 × 320
Зусилля затиску, Н мінімальне	400
максимальне	1176

Основними складовими елементами каретки (рисунок 3.4,а) транспортера агрегата незшивного скріplення Trendbinder TB-18 є корпус (опорна губка) 1 і рухома (затискна) губка 2. В корпусі каретки 1 знаходиться пружина 3 (рисунок 3.4,б), що забезпечує затиск КЖБ рухомою губкою. Перед встановленням книжкового блока рухома губка 2 відкритої каретки утримується від закривання храповим колесом 4 і фіксатором 5.

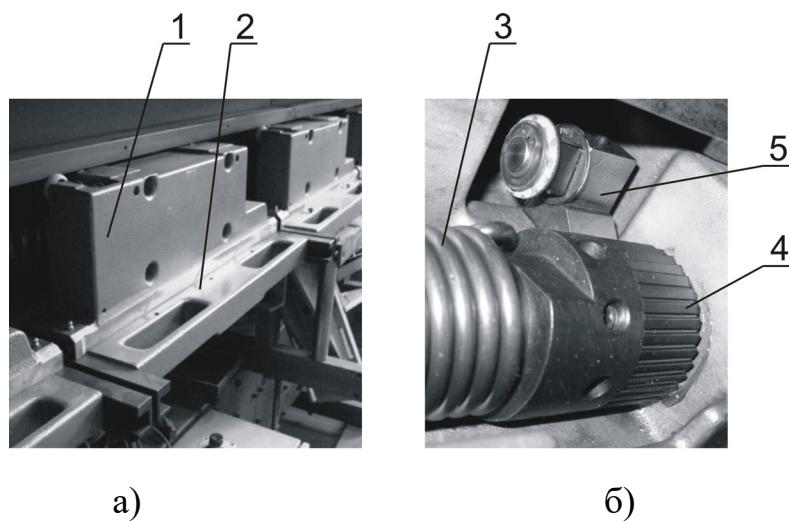


Рис. 3.4. Каретка ланцюгового транспортера –  
а) загальний вигляд; б) привод механізму затиску

1 – опорна губка каретки, 2 – рухома губка каретки, 3 – пружина розтягу, 4 – храпове колесо, 5 – фіксатор

Під час встановлення книжково- журнального блока у відкриту каретку головка блока вирівнюється відносно упора, закріпленого на корпусі каретки (рисунок 3.5), а переднє поле відносно плити установочного стола з метою забезпечення точного позиціювання книжкового блока відносно різального інструменту.

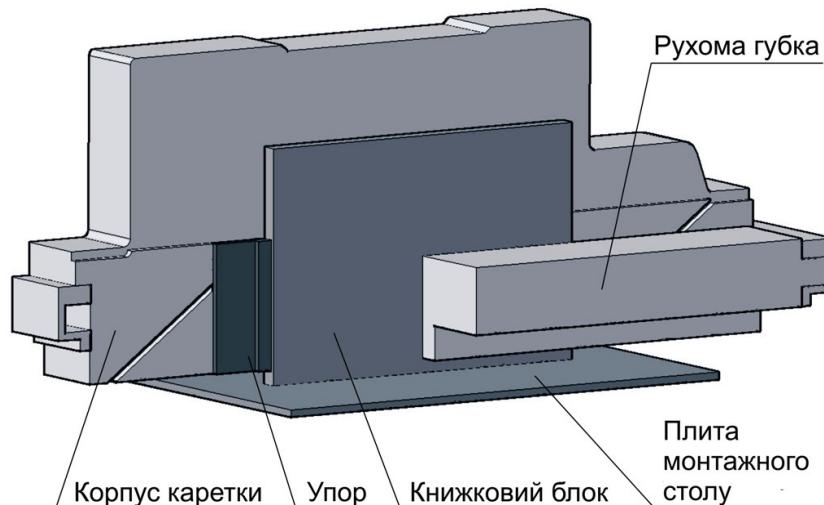


Рис. 3.5. Схема вирівнювання книжкового блока в каретці

Переміщуючи плиту 1 монтажного стола встановлюємо припуск на обрізування КЖБ, зазор між площею різання та губками каретки (рис. 3.6).

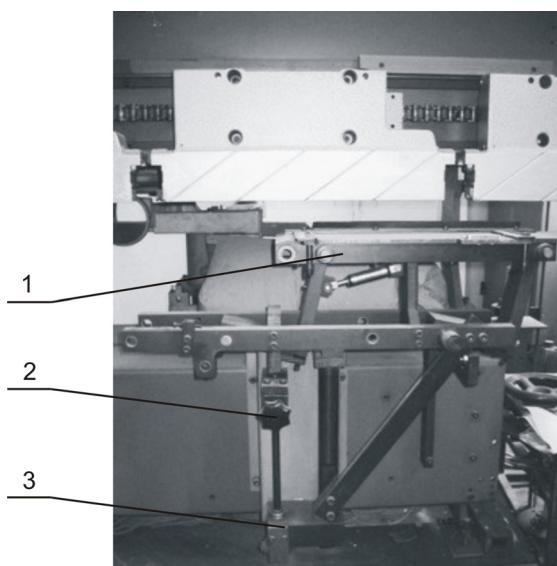


Рис. 3.6. Налаштування припуску на обрізування КЖБ:

*1 – опорна плита монтажного стола, 2 – регулювальна рукоятка,*

*3 – станина стола*

Переміщення опорної плити 1 установочного столу здійснюється поворотом регулювальної рукоятки 2. Установочний стіл змонтовано на окремій станині 3. Механізм переміщення (рис. 3.7) опорної плити установочного столу працює наступним чином.

Обертання рукоятки 1, конічних зубчастих коліс 2 і 3 забезпечує вертикальне переміщення ходового гвинта 4. Колесо 3 конічної передачі з'єднане з ходовим гвинтом 4 ковзаючою шпонкою 5. Осьова фіксація конічного колеса 3 забезпечує вертикальне переміщення ходового гвинта 4. При відсутності контакту між упорним підшипником 6 і траверсою 7 відбувається регулювання ухилу монтажного стола (шатуна) 8 стосовно площини різання. Натиск ходового гвинта 4 через сферичний упор 9 на важіль 10, призводить до зміни нахилу опорної плити (шатуна) 8. Гідроциліндр 11 слугить для надійного притиску важеля 10 до сферичного упора 9. Внаслідок натиску ходового гвинта 4 через підшипник 6 на траверсу 7 відбувається вертикальне переміщення опорної плити 8. Переміщення траверси 7 відбувається у напрямній 12.

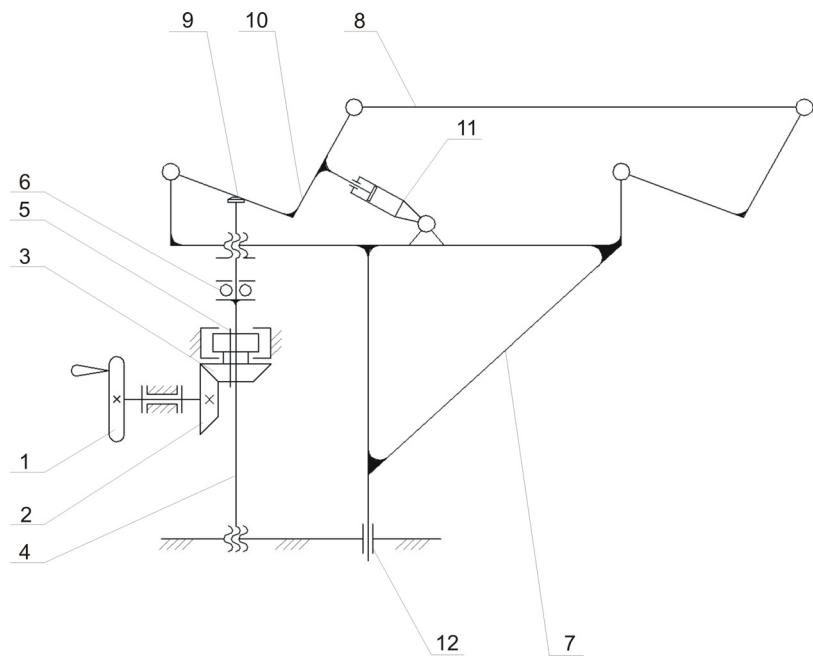


Рис. 3.7. Кінематична схема механізму переміщення монтажного стола:  
 1 – рукоятка, 2 – конічна зубчаста шестерня, 3 – конічне зубчасте колесо,  
 4 – ходовий гвинт, 5 – шпонка, 6 – упорний підшипник, 7 – траверса, 8 – опорна  
 плита, 9 – сферичний упор, 10 – важіль, 11 – гідроциліндр, 12 – направлена

При подальшому переміщенні транспортера відбувається замикання губок каретки під дією пружини шляхом відведення фіксатора від храпового колеса. Затиснутий у каретці книжковий блок переміщується транспортером до різальної секції. Зміна швидкості переміщення кареток транспортера під час проведення експериментальних досліджень здійснювалась плавно (в межах від 0 до 1,5 м/с).

### 3.2.2. Методика вимірювання сил різання та зусилля затиску КЖБ

З метою визначення оптимальних, з огляду на силові показники процесу обрізування КЖБ, були проведені експериментальні дослідження сил різання, що виникають під час обрізування КЖБ, виготовлених з різних видів паперу.

Одночасно визначалися межі зусилля затиску книжкових блоків під час обрізування, які в значній мірі визначають якісні показники процесу обрізування. Так, при недостатньому зусиллі затиску неможливо досягти рівної площини обрізування, оскільки під дією сил різання книжковий блок може зміщуватись у затискачах. Надмірне зусилля затиску призводить до пластичної деформації крайніх аркушів блоку, що є недопустимим.

Визначення характеру зміни та величини складових зусиль різання здійснювалось методом, який базується на здатності провідника струму змінювати власний опір внаслідок деформації під дією зовнішніх сил. Провідники (тензорезистори), з'єднані згідно мостової схеми (рисунок 3.8).

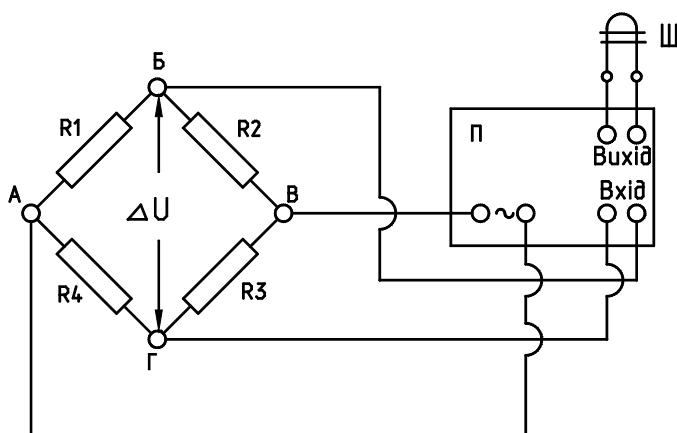


Рис. 3.8. Схема підключення тензорезисторного моста

До однієї з діагоналей контуру (діагональ АВ електричного мосту) підведений постійний струм, а до іншої (БГ) під'єднано вимірювальну апаратуру. Внаслідок деформації тензорезисторів у контурі виникає дисбаланс, що супроводжується зміною електричного опору провідників і, відповідно, зміною напруги на діагоналі БГ.

Вимірювальний прилад розроблено та виготовлено у вигляді трикомпонентного динамометра (рисунок 3.9). Ефективність застосування вимірювального приладу даної конструкції для визначення величини сил різання, що виникають під час обрізування КЖБ, доведена в дослідженнях [32, 40, 41, 44, 98, 108].

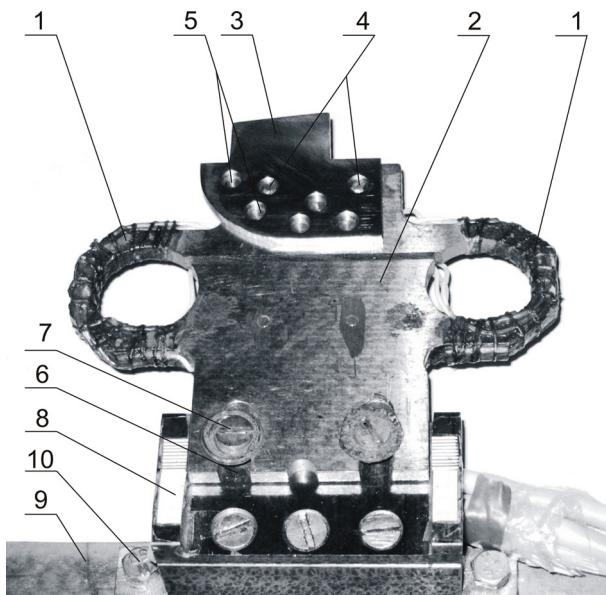


Рис. 3.9. Динамометр з наклеєними тензорезисторами

Лезо 3 приєднане до динамометра 2 за допомогою гвинтів 4. В корпусі різального інструмента 3 передбачені різьбові отвори 5 для зміни кута між різальною крайкою леза 3 і траекторією переміщення книжкового блока. Пази 6 в корпусі динамометра 2 уможливлюють регулювання глибини врізання леза у книжковий блок. Динамометр 2 через пази 6 гвинтами 7 з'єднується з кронштейном 8, який з'єднується з монтажною плитою 9 гвинтами 10. Деформація динамометра 2 під дією прикладеного через лезо 3 зусилля різання призводить до зміни опору тензорезисторів 1. Наклеєні у відповідних місцях на динамоме-

трі тензорезистори з'єднані між собою в три незалежні мостові схеми. Кожен контур забезпечує вимірювання однієї з взаємно-перпендикулярних складових сили різання (горизонтальної, вертикальної, лобової). Величина сигналу в контурах знаходиться в прямій залежності від деформації динамометра під дією прикладеного зусилля.

Проведення досліджень передбачає реєстрацію показів тензорезисторів модулем *USB – 3000*, що призначений для побудови систем збору і опрацювання аналогової та цифрової інформації з подальшим експортуванням до системи *MathCAD* та обробки даних. Для співставлення показів модуля із реальними величинами проводиться тарування елементів, що деформуються.

Тарування проводимо шляхом поступового навантаження динамометра заданими силами у трьох напрямках для запису показів тензодатчиків трьох мостових контурів. Тарування динамометра виконувалось на окремому пристосуванні з оцінкою сили за показниками зразкового динамометра стиску «ДОС 0,5». Конструкція динамометра забезпечує йому лінійність тарувальної характеристики (рис. 3.10). При цьому для кожного мостового контура проведено по 7 вимірювань показів. На підставі отриманих даних побудовано графік тарування показів динамометра для:  $F_G$  – горизонтальної,  $F_V$  – вертикальної,  $F_L$  – лобової складових сили різання. Аналіз показів тарування вимірювальної апаратури дозволив зробити висновок про те, що взаємний вплив складових сил різання не перевищував 7%.

Під час проведення вимірювань сили затиску КЖБ товщиною  $B$  встановлювався в каретку транспортера агрегата незшивного скріplення *Trendbinder TB-18*. Після затиску у каретці товщина блока склала:

$$b = B - \delta, \quad (3.1)$$

де  $B$  – товщина КЖБ у вільному стані;  $\delta$  – лінійна деформація, що виникає внаслідок дії сили затиску губок каретки на книжковий блок.

Зусилля затиску КЖБ визначалася за методикою [98]. Досліджувалися блоки висотою 145 мм і товщиною 15, 30, 45 мм з різних видів паперу.

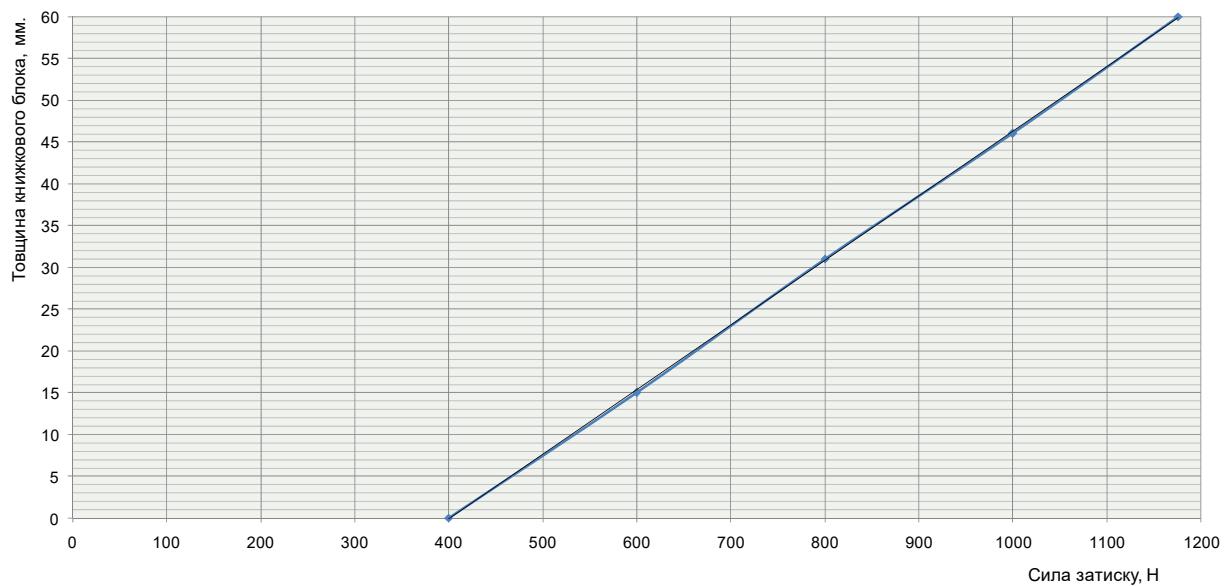


Рис. 3.10. Тарувальний графік зусилля затиску книжкових блоків, виготовлених з паперу масою  $m = 120 \text{ г/м}^2$

Регулювання сили затиску блока в каретці транспортера здійснювалось шляхом встановлення або демонтажу на опорній та рухомій губках каретки додаткових пластин заданої товщини (рисунок 3.11), що забезпечувало збільшення сили затиску книжкового блока у каретці внаслідок додаткової деформації пружини.

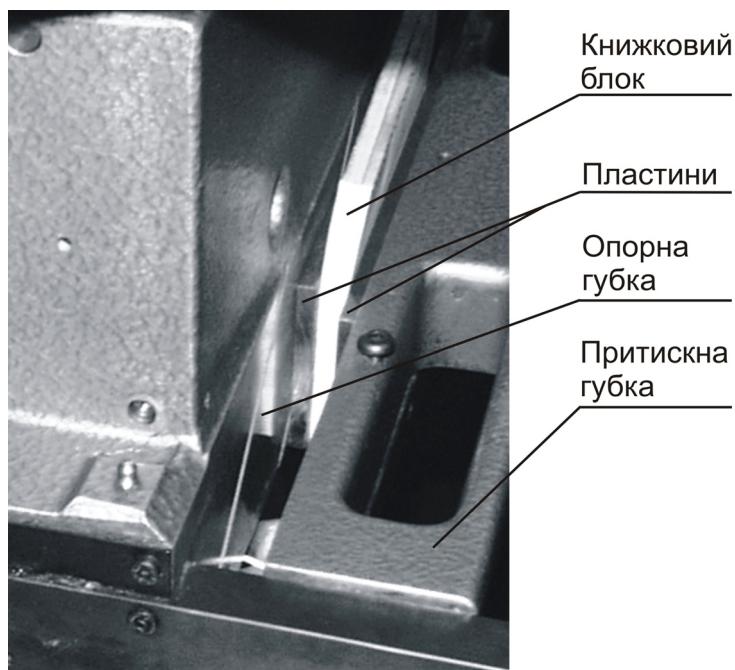


Рис. 3.11. Регулювання сили затиску кареток

### 3.3. Результати експериментальних досліджень

Виявити переваги та недоліки способу обрізування КЖБ багатолезовим різальним інструментом в машині карусельного типу можливо лише за умови проведення ґрунтових аналітичних та експериментальних досліджень. Проведення експериментальних досліджень зумовлене:

- 1) необхідністю підтвердження результатів попередньо проведених аналітичних досліджень, а також визначення оптимальних параметрів процесу обрізування книжкових блоків з огляду на силові та якісні показники процесу обрізування КЖБ їх;
- 2) необхідністю виявлення впливу геометричних параметрів лез різального інструмента (кута загострення  $\alpha_3$  леза), кінематичних параметрів процесу різання (лінійної швидкості переміщення блока  $V_B$ ), технологічних параметрів процесу різання (кута атаки ріжучої крайки леза  $\beta$ , глибини врізання леза в блок  $\delta$ ), відстані між площинами різання і затиску, а також фізико-механічних властивостей паперу, з якого виготовлені КЖБ, на характер зміни та величину складових сил різання.

На рисунку 3.12 представлено типову осцилограму зміни величини складових сили різання. Під час проведення експериментальних досліджень використовувалися блоки з таких видів паперу та картону:

- № I офсетний № 2 (марка Б), масою  $m = 65 \text{ г}/\text{м}^2$ , густина  $\rho = 0,64 \text{ г}/\text{см}^3$ ;
- № II офсетний № 1 (сорт перший), масою  $m = 75 \text{ г}/\text{м}^2$ , густина  $\rho = 0,74 \text{ г}/\text{см}^3$ ;
- № III офсетний № 1 (сорт вищий), масою  $m = 80 \text{ г}/\text{м}^2$ , густина  $\rho = 0,81 \text{ г}/\text{см}^3$ ;
- № IV крейдований, масою  $m = 120 \text{ г}/\text{м}^2$ , густина  $\rho = 1,30 \text{ г}/\text{см}^3$ ;
- № V – картон палітурний (марка А), масою  $m = 280 \text{ г}/\text{м}^2$ , густина  $\rho = 0,80 \text{ г}/\text{см}^3$ ;
- № VI – картон палітурний (марка Б), масою  $m = 400 \text{ г}/\text{м}^2$ , густина  $\rho = 0,74 \text{ г}/\text{см}^3$ .

За результати вимірювань прийнято максимальні лінійні відхилення сигналу. Напрямок переміщення вказано стрілкою.

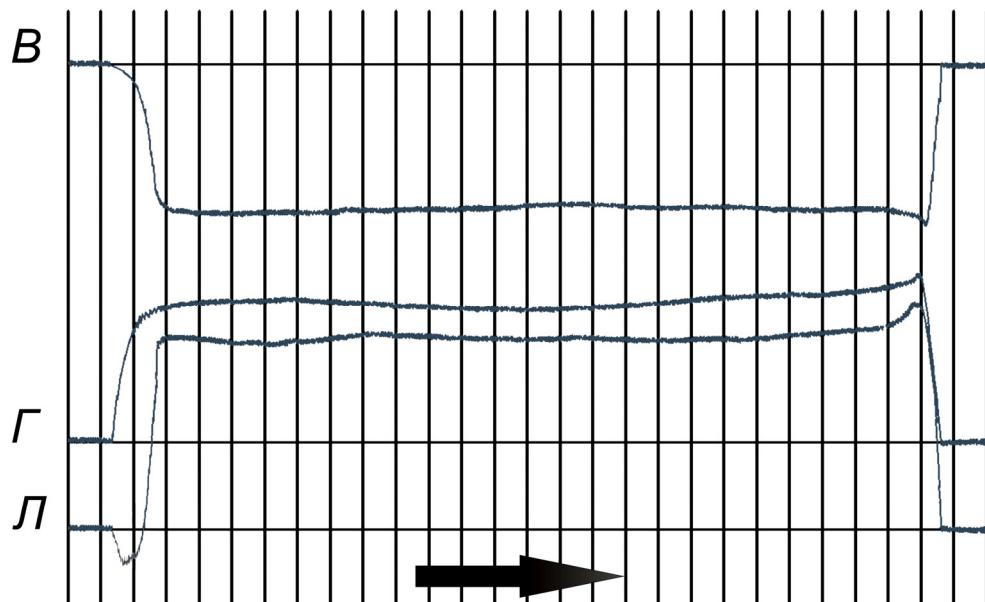


Рис. 3.12. Типова осцилограмма зміни складових сили різання:

*B – вертикальної, Г – горизонтальної, Л – лобової*

### 3.3.1. Вплив кута атаки леза на величину складових зусилля обрізування КЖБ

Сили різання та якість обрізування КЖБ суттєво залежать від кута атаки  $\beta$  лез БРІ. З метою визначення впливу кута атаки на величину складових сили різання окремим лезом багатолезового різального інструмента проведено експериментальні дослідження, під час яких використовувались блоки висотою  $L = 100$  мм, товщиною  $B = 10$  мм. Вибір розмірів блоків для проведення експериментів обумовлений особливостями конструкції дослідного стенда.

З огляду на те, що швидкість роботи агрегата незшивного клейового скріplення в умовах книжкового виробництва складає  $0,5 - 1,3$  м/с [119, 120], експериментальні дослідження проводились при швидкості транспортування книжкових блоків до  $V_{бл} = 1$  м/с.

Проведені експериментальні дослідження процесу обрізування КЖБ повнокомплектним різальним інструментом показали, що якість обрізування КЖБ

суттєво залежить від відстані між площиною обрізування та губками кареток. Тому, з огляду на пружне деформування скоби динамометра під дією сил різання, відстань  $\Delta$  від площини обрізування до губок каретки була вибрана 0,5 мм.

Глибина різання (розрахункова)  $\delta$  окремим лезом багатолезового різального інструмента під час обрізування блоків, що переміщаються за коловою траєкторією визначається відстанню вершини леза від центра повороту КЖБ (див. розділ 2). Проте фактична глибина різання окремим лезом багатолезового різального інструмента є меншою від теоретичної, що обумовлено фізико-механічними властивостями паперу. З огляду на якість обрізу, а також на габарити РІ фактична глибина різання одним лезом не повинна перевищувати 0,7 – 1 мм. Тому для проведення експериментальних досліджень впливу кута атаки леза на силові параметри та якісні показники процесу обрізування книжкових блоків встановлюємо глибину різання  $\delta = 1$  мм.

У довідковій літературі [39, 48, 113, 123] залежно від виду паперу, що підлягає обробці, рекомендовано різні кути загострення ножа: від  $16^\circ$  для «пухких» типів паперу до  $22 - 23^\circ$  для «щільних». Під час проведення експериментальних досліджень використано лезо з кутом загострення  $\alpha_s = 18^\circ$ .

Проведені експериментальні дослідження показали, що величина трьох складових сили різання внаслідок збільшення кута атаки леза носить нелінійний характер (рисунок 3.13).

Зокрема, мінімальне значення горизонтальної складової (рисунок 3.13, а) під час обрізування блоків виготовлених із паперів № I, № III та № IV спостерігається при куті атаки леза  $\beta = 18^\circ$ , а для паперу № II при  $\beta = 8^\circ$ . При збільшенні кута атаки  $\beta$  до  $40^\circ$  відбувається різке зростання горизонтальної складової зусилля обрізування для паперів № I, № III та № IV. Для паперів № II горизонтальна складова зростає в 1,4 рази, № III – в 1,6 рази, № IV – в 1,2 рази і № I – в 2,2 рази. Можна зробити висновок, що густота паперу суттєво впливає на величину горизонтальної складової сили обрізування КЖБ.

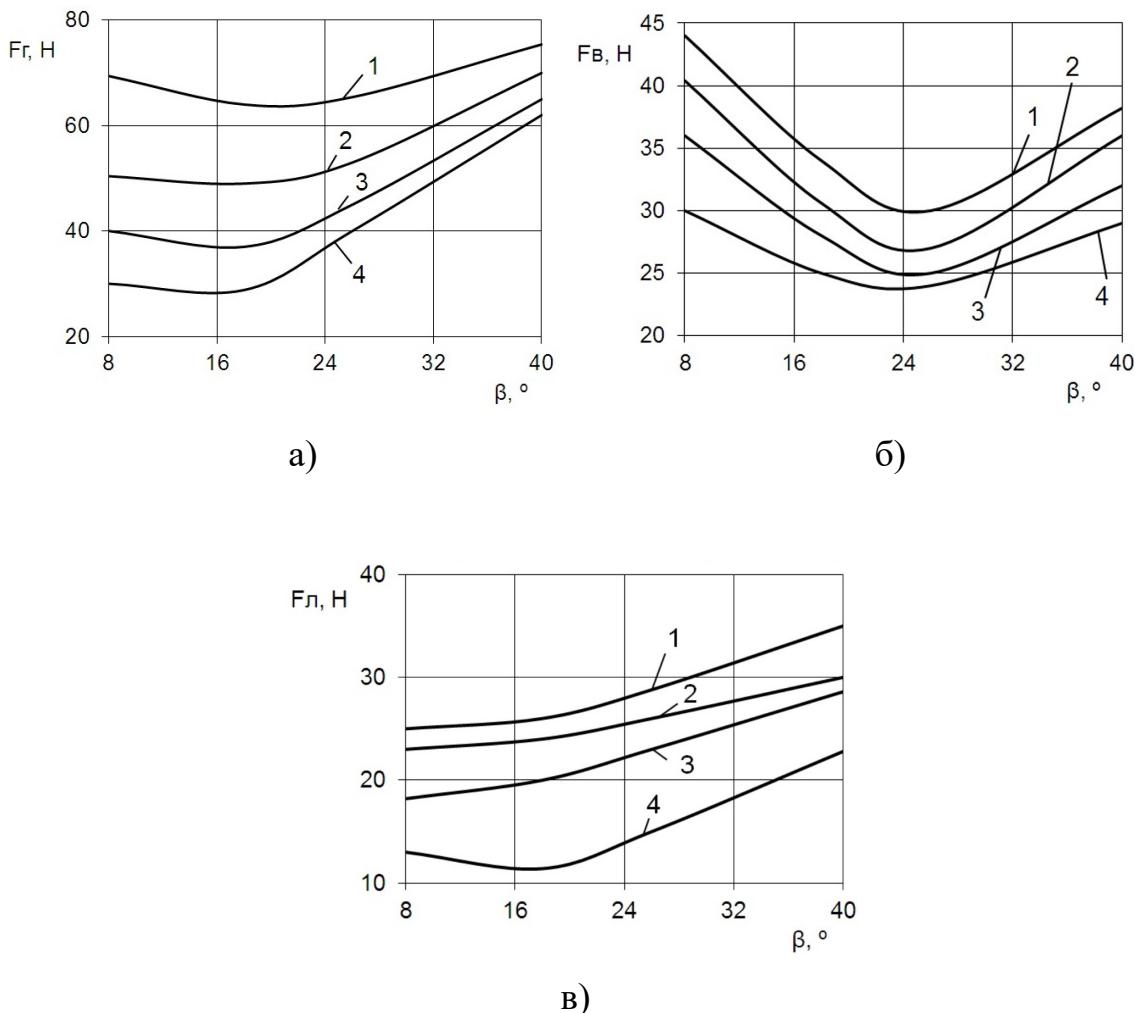


Рис. 3.13. Залежність складових сил різання від кута атаки леза:

*а – горизонтальна складова, б – вертикальна складова, г – лобова складова*

Мінімальне значення вертикальної складової (рисунок 3.13, б) сили обрізування спостерігається при куті атаки  $\beta = 26^\circ$  для всіх чотирьох зразків.

На відміну від горизонтальної складової величина вертикальної складової зусилля обрізування набуває максимальних значень при куті атаки  $\beta = 8^\circ$ . Різниця між максимальним та мінімальним значеннями величини вертикальної складової особливо виражена при обрізуванні книжкових блоків, виготовлених із більш щільних паперів, а саме № III – в 2,4 рази та № IV – в 3,2 рази. Для «пухкіших» типів паперу – № I і № II різниця між максимальним та мінімальним значеннями величини вертикальної складової складає, відповідно, 1,1 і 1,3 рази. Із подальшим збільшенням кута атаки відбувається плавне зростання величини вертикальної складової.

Лобова складова (рисунок 3.13 в) під час обрізування блоків, виготовлених із паперу № I, незначно зменшується при  $\beta = 18^\circ$ . Збільшення кута атаки від  $8^\circ$  до  $40^\circ$  призводить до стрімкого зростання величини лобової складової сили обрізування. Отже, отримані результати експериментальних досліджень дають підставу рекомендувати значення кута атаки окремих лез в межах  $18^\circ - 20^\circ$ .

### *3.3.2. Дослідження впливу швидкості переміщення книжкового блока на величину складових сили обрізування*

Для виявлення залежності складових сили обрізування від швидкості транспортування КЖБ було проведено експериментальні дослідження із наступними параметрами: кут атаки  $\beta$  леза –  $18^\circ$ ; встановлені глибини врізання  $\delta$  леза в книжковий блок:  $\delta_1 = 0,5$  мм;  $\delta_2 = 1$  мм;  $\delta_3 = 1,5$  мм.

Результати досліджень впливу швидкості переміщення книжкового блока на величину горизонтальної складової сили обрізування наведені у вигляді графіків на рисунку 3.14, вертикальної – на рисунку 3.15, а лобової – на рисунку 3.16.

Аналізуючи результати досліджень (рисунок 3.14) встановлено, що збільшення швидкості переміщення блока від 0,3 м/с до 1 м/с призводить до зростання горизонтальної складової сили різання. Інтенсивніше горизонтальна складова зростає при обрізуванні блоків, виготовлених із менш щільних паперів, а саме: для паперів № IV та № III при глибині обрізування  $\delta = 0,5$  мм збільшення швидкості переміщення блока від 0,3 до 1 м/с призводить до зростання горизонтальної складової на 38%, а для № II та № I відповідно на 67% та 84%. При глибині обрізування  $\delta = 1,5$  мм зі збільшенням швидкості блока горизонтальна складова зростає: для № IV – на 47%, а для № I – на 73%.

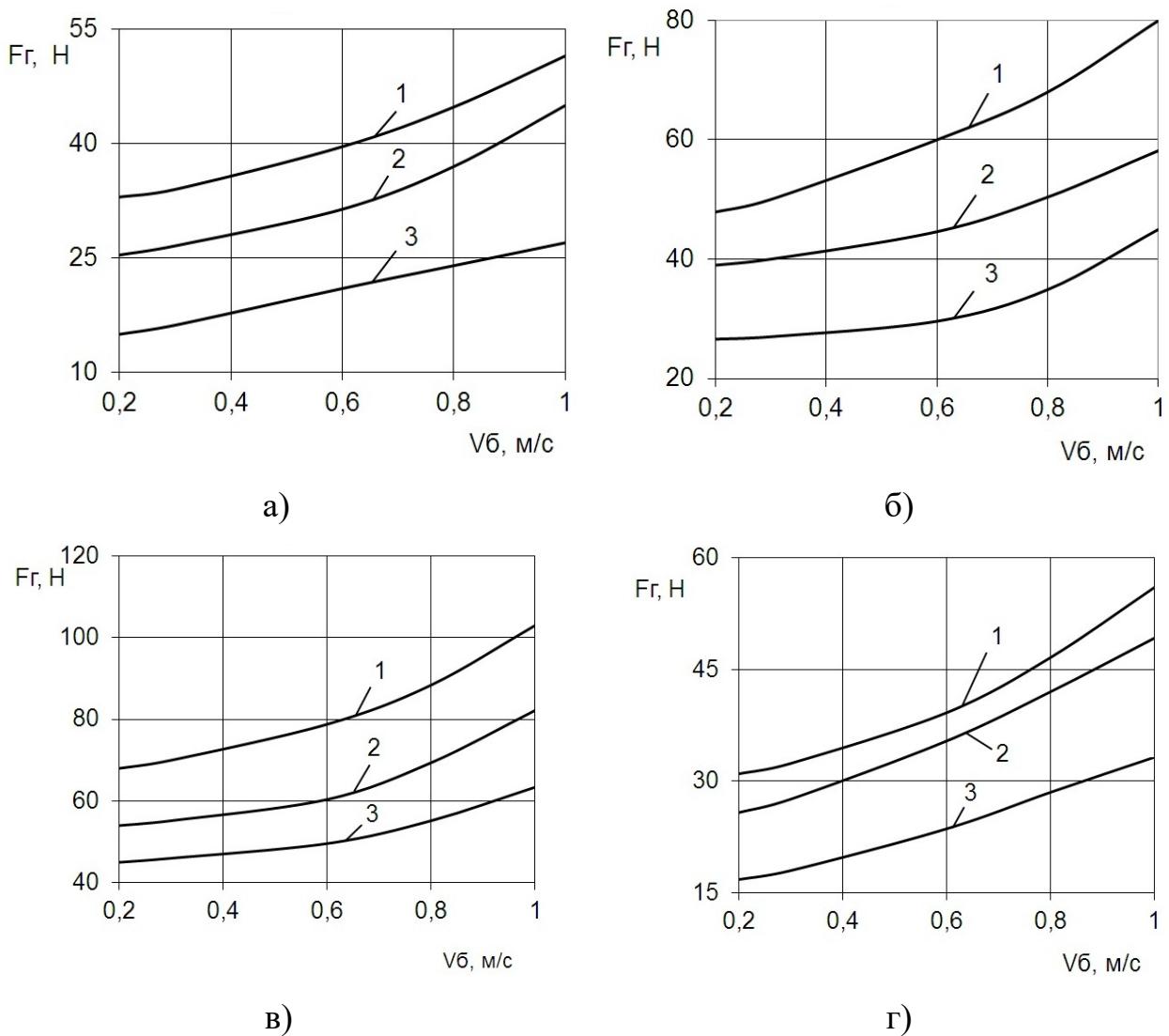


Рис. 3.14. Залежність горизонтальної складової сили різання від швидкості транспортування КЖБ за різних значень величини обрізування:  
*a – офсетний № 1 (сорт перший), б – офсетний № 1 (сорт вищий),  
в – крейдований paper, г – офсетний № 2 (марка Б)*

Під час обрізування КЖБ, виготовлених із відносно «пухких» паперів (густиною  $\rho = 0,64 - 0,74 \text{ г}/\text{cm}^3$ ) найбільш інтенсивне зростання горизонтальної складової, спричинене збільшенням швидкості переміщення блока, спостерігається при глибині обрізування  $\delta = 1 \text{ мм}$  (на 78% і 73% відповідно). При подальшому збільшенні глибини обрізування вплив швидкості переміщення блока на горизонтальну складову сили різання зменшується. Під час обрізування КЖБ виготовлених із щільних паперів густинорою  $\rho = 1,30 \text{ г}/\text{cm}^3$  та  $\rho = 0,81 \text{ г}/\text{cm}^3$  вплив

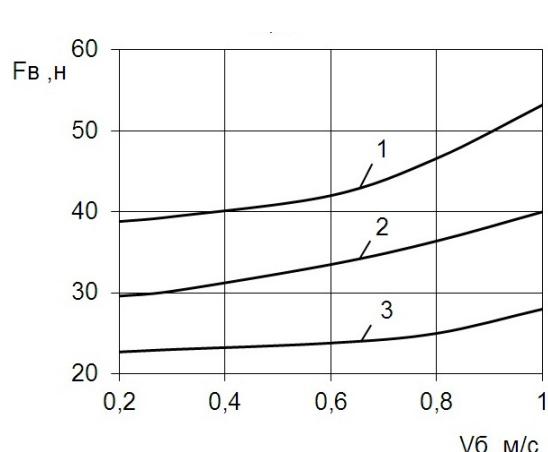
швидкості переміщення книжкового блока поступово зростає із збільшенням глибини обрізування від 0,5 до 1,5 мм (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Зростання горизонтальної складової сили обрізування при зміні швидкості переміщення блока (для різної глибини врізання леза в блок)

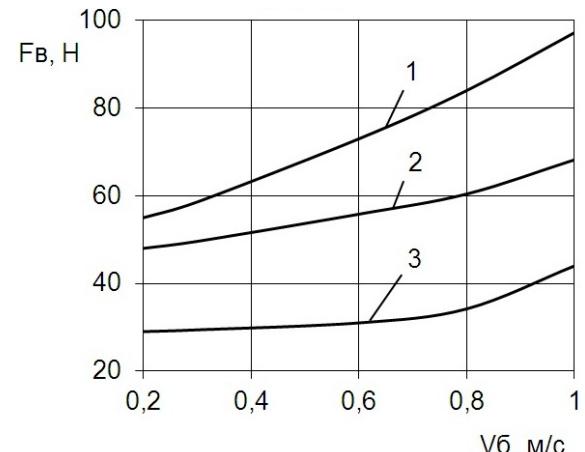
Вид паперу	Глибина обрізування, мм.		
	0,5	1	1,5
	Зростання горизонтальної складової, %		
Офсетний № 1 (сорт перший) ( $m = 75 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 0,74 \text{ г}/\text{см}^3$ )	67	73	52
Офсетний № 1 (сорт вищий) ( $m = 80 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 0,81 \text{ г}/\text{см}^3$ )	45	46	61
Крейдований ( $m = 120 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 1,30 \text{ г}/\text{см}^3$ )	38	50	47
Офсетний № 2 (марка Б) ( $m = 65 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 0,64 \text{ г}/\text{см}^3$ )	84	78	73

Характер та величини зростання вертикальної складової зусилля обрізування внаслідок збільшення швидкості переміщення блока від 0,2 до 1 м/с представлений у вигляді графіків (рисунок 3.15). Так, для паперів № I і № IV характерне поступове зростання впливу швидкості переміщення блока під час обрізування на величину вертикальної складової при збільшенні глибини обрізування від 0,5 до 1,5 мм. Під час обрізування блока, виготовленого з паперу № III максимальне зростання (на 66%) вертикальної складової внаслідок збільшення швидкості переміщення блока відбувається (при глибині обрізування  $\delta = 1,5 \text{ мм}$ ), мінімальне – на 38 %, при  $\delta = 1 \text{ мм}$ . Для паперу № I максимум зростання вертикальної складової (на 55%) внаслідок збільшення швидкості переміщення блока спостерігається при встановленій глибині обрізування блока  $\delta =$

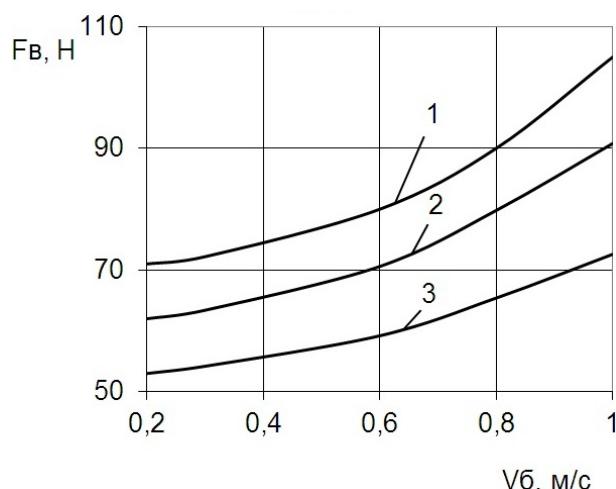
1мм. При подальшому збільшенні глибини обрізування до  $\delta = 1,5$  мм величина вертикальної складової зростає на 32 %.



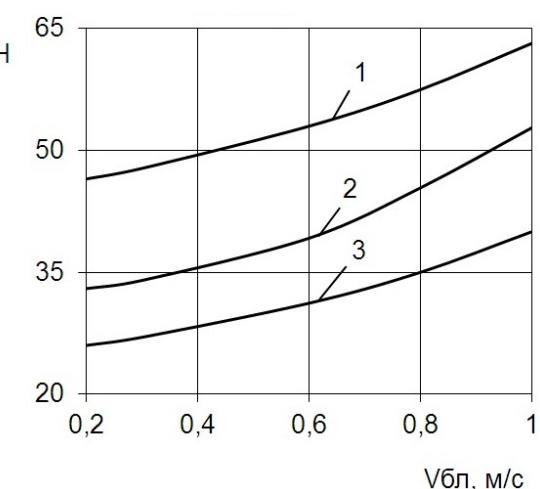
a)



б)



в)



г)

Рис. 3.15. Залежність вертикальної складової сили різання від швидкості транспортування КЖБ за різних значень величини обрізування:  
 а – офсетний № 1 (сорт перший), б – офсетний № 1 (сорт вищий),  
 в – крейдований напір, г – офсетний № 2 (марка Б)

Таблиця 3.2 – Величини зростання вертикальної складової сили обрізування при зміні швидкості переміщення блока

Тип паперу	Глибина обрізування, мм		
	0,5	1	1,5
	Зростання вертикальної складової, %		
Офсетний № 1 (сорт перший) ( $m = 75 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 0,74 \text{ г}/\text{см}^3$ )	22	33	35
Офсетний № 1 (сорт вищий) ( $m = 80 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 0,81 \text{ г}/\text{см}^3$ )	49	38	66
Крейдований ( $m = 120 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 1,30 \text{ г}/\text{см}^3$ )	34	43	45
Офсетний № 2 (марка Б) ( $m = 65 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 0,64 \text{ г}/\text{см}^3$ )	48	55	32

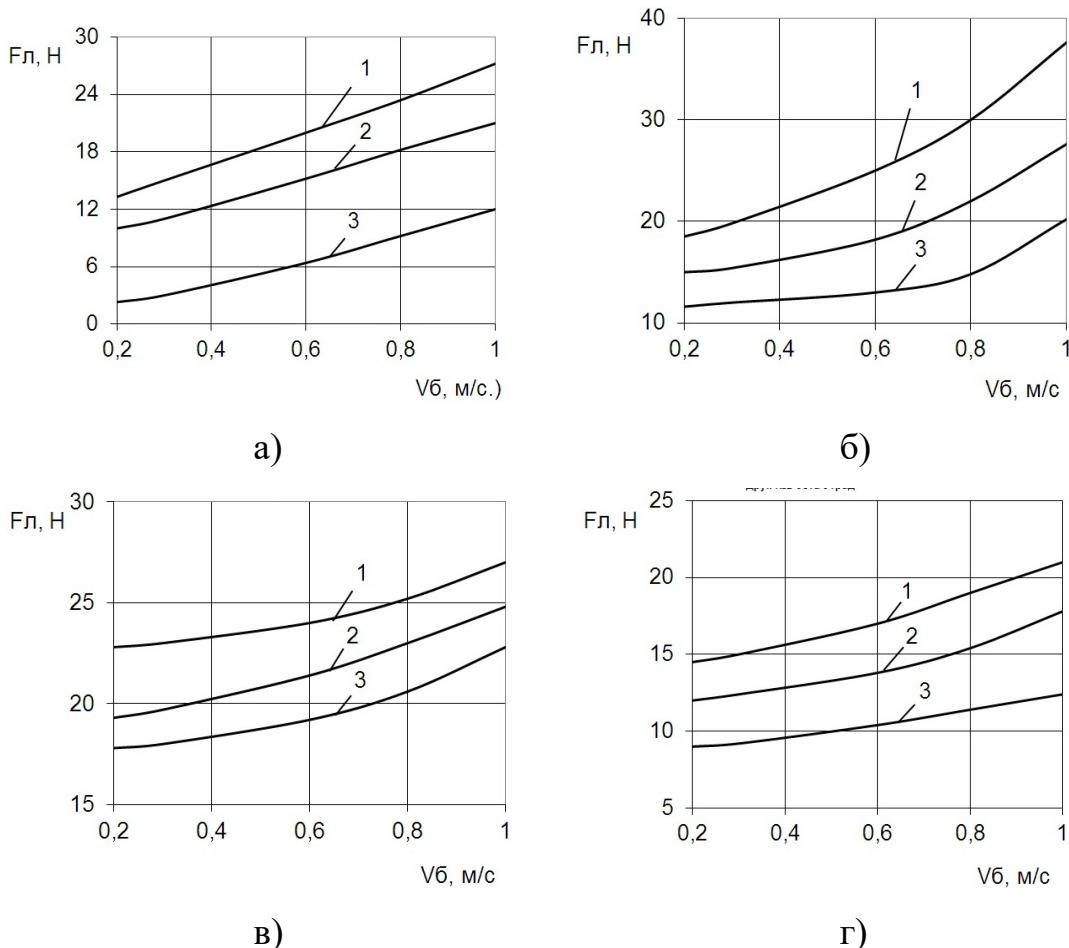


Рис. 3.16. Залежність лобової складової сили різання від швидкості транспортування КЖБ за різних значень величини обрізування:  
а – офсетний № 1 (сорт перший), б – офсетний № 1 (сорт вищий),

в – крейдований папір, г – офсетний № 2 (марка Б)

Вплив швидкості  $V_{бл}$  переміщення блока на величину лобової складової зменшується при обрізуванні паперів № I, № II, № IV із збільшенням глибини обрізування  $\delta$  (див. табл.4.3). Наприклад, для паперу № IV при глибині різання  $\delta = 0,5$  мм лобова складова зростає на 27%, а при глибині різання  $\delta = 1,5$  мм – на 17%. Найбільший вплив швидкості переміщення книжкових блоків, виготовлених з паперів № I та № II, на величину лобової складової зусилля обрізування спостерігається при глибині різання  $\delta = 1$  мм. Для блока, виготовленого з паперу № III при глибині обрізування  $\delta = 0,5$  мм внаслідок зростання швидкості блока від 0,3 м/с до 1 м/с лобова складова зростає на 68%, а при глибині обрізування  $\delta = 1,5$  мм – на 89%.

Таблиця 3.3 – Величини зростання лобової складової сили обрізування при зміні швидкості переміщення блока

Тип паперу	Глибина обрізування, мм.		
	0,5	1	1,5
	Зростання лобової складової, %.		
Офсетний № 1 (сорт перший) ( $m = 75 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 0,74 \text{ г}/\text{см}^3$ )		91	81
Офсетний № 1 (сорт вищий) ( $m = 80 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 0,81 \text{ г}/\text{см}^3$ )	68	79	89
Крейдований ( $m = 120 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 1,30 \text{ г}/\text{см}^3$ )	27	26	17
Офсетний № 2 (марка Б) ( $m = 65 \text{ г}/\text{м}^2$ , $\rho = 0,64 \text{ г}/\text{см}^3$ )	35	44	30

Аналізуючи результати експериментальних досліджень робимо висновок про те, що збільшення швидкості транспортування блоків має суттєвий вплив на силові параметри процес обрізування, що необхідно врахувати під час проектування РІ. Окрім того, на зростання горизонтальної складової зусилля обрізуван-

ня внаслідок збільшення швидкості переміщення книжкового блока під час обрізування, суттєво впливають два фактори – густина паперу, з якого виготовлено КЖБ, та глибина врізання леза в блок.

### *3.3.3. Дослідження впливу глибини різання леза в блок на величини складових зусилля обрізування*

Важливим параметром БРІ, що суттєво впливає на силові характеристики та якісні показники процесу обрізування книжкових блоків, а також на габарити різального інструмента, є глибина різання окремим лезом. З метою визначення доцільної, з огляду на якість обрізування, глибини різання проведено експериментальні дослідження із сталими показниками – кут атаки леза –  $8^\circ$ , кут загострення  $\alpha_3$  леза –  $18^\circ$ , відстань  $\Delta$  від площини обрізування до губок каретки – 0,5 мм, швидкість переміщення блока під час обрізування – 1 м/с за змінної глибини різання:  $\delta_1 = 0,5$  мм;  $\delta_2 = 1$  мм;  $\delta_3 = 1,5$  мм.

Результати досліджень при зміні глибини різання представлені у вигляді графіків (рисунок 3.17).

Слід зауважити, що встановлене положення леза стосовно кареток (книжкового блока) не відповідає заданій глибині різання, що пояснюється деформуванням паперу, а відтак і книжкового блока в цілому. Тому дійсну глибину різання визначено у кожному конкретному випадку шляхом вимірювання товщини відрізаної частини блока (стружки).

Як видно з графіків, наведених на рисунку 3.17, найбільш інтенсивне зростання горизонтальної, вертикальної та лобової складових сили різання спостерігається під час обрізування блоків, виготовлених з паперів № III та № IV. Під час обрізування блоків виготовлених з паперів № I та № II зростання складових сили різання внаслідок збільшення глибини врізання леза в блок відбувається менш інтенсивно. Пік інтенсивності зростання горизонтальної та лобової складових спостерігається при глибині врізання леза  $\delta = 1$  мм.

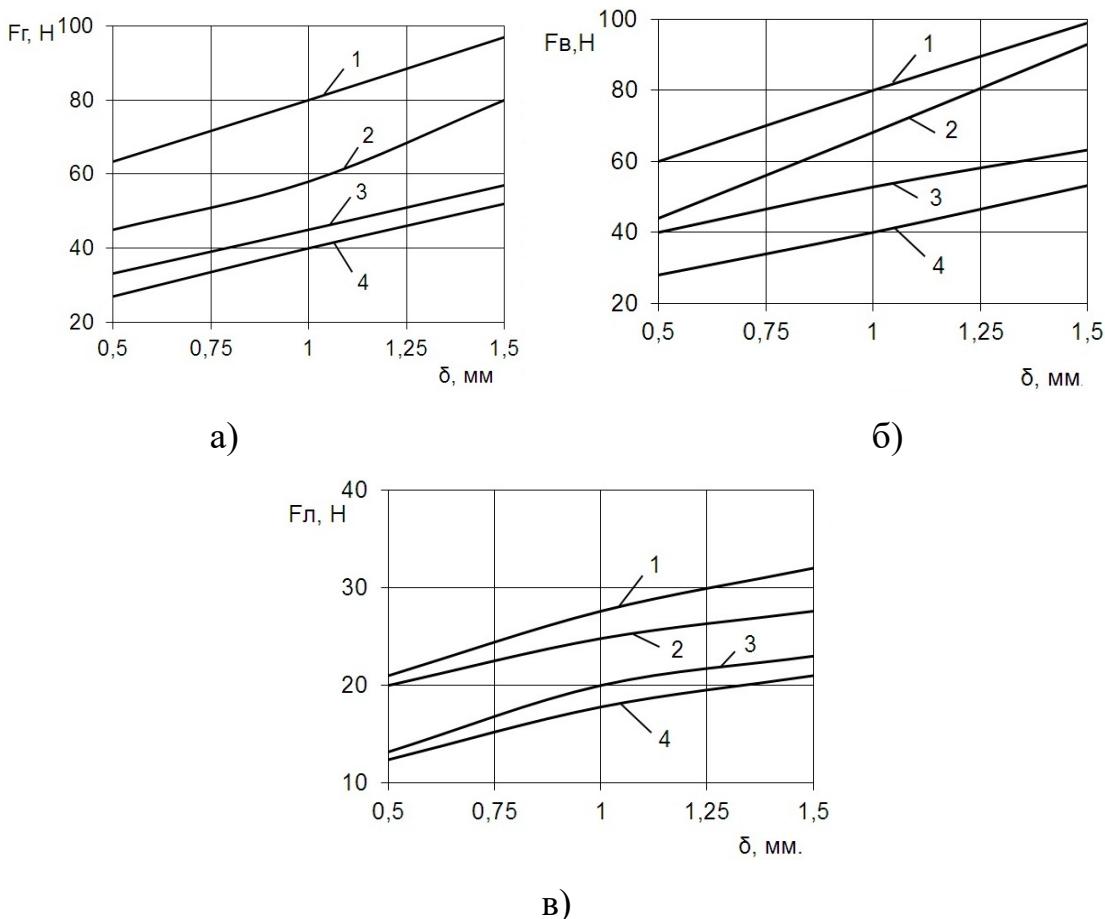


Рис. 3.17. Залежність складових сил різання від глибини врізання леза в блок: а – горизонтальної; б – вертикальної; в – лобової

Проведені експериментальні дослідження показали, що зростання горизонтальної, вертикальної та лобової складових сили різання при збільшенні глибини різання леза носить характер, близький до лінійного незалежно від виду паперу, з якого виготовлені КЖБ. Зростання сили різання окремим лезом призводить до збільшення сумарної сили різання багатолезовим різальним інструментом, і, як наслідок, необхідності збільшення зусилля затиску книжкових блоків каретками транспортера, а відтак може спричинити погрішення якості обрізування книжкових блоків.

### 3.4. Висновки до розділу

1. Збільшення швидкості переміщення блока від 0,3 м/с до 1 м/с призводить до зростання горизонтальної складової сили різання. Інтенсивніше горизонтальна складова зростає при обрізуванні блоків, виготовлених із менш щільних паперів, а саме: для паперів № IV та № III при глибині обрізування

$\delta = 0,5$  мм збільшення швидкості переміщення блока від 0,3 до 1 м/с призводить до зростання горизонтальної складової на 38%, а для № II та № I відповідно на 67% та 84%. При глибині обрізування  $\delta = 1,5$  мм зі збільшенням швидкості блока горизонтальна складова зростає: для № IV – на 47%, а для № I – на 73%.

2. Зміна величини трьох складових сили різання внаслідок збільшення кута атаки леза носить нелінійний характер.

Мінімальне значення горизонтальної складової при  $\beta = 8^\circ$ . При збільшенні кута атаки  $\beta$  до  $40^\circ$  відбувається різке зростання горизонтальної складової зусилля обрізування для паперів № I, № III та № IV. Для паперів № II горизонтальна складова зростає в 1,4 рази, № III – в 1,6 рази, № IV – в 1,2 рази і № I – в 2,2 рази. Густина паперу суттєво впливає на величину горизонтальної складової сили обрізування КЖБ.

Мінімальне значення вертикальної складової (рисунок 3.13, б) сили обрізування спостерігається при куті атаки  $\beta = 26^\circ$  для всіх чотирьох зразків.

На відміну від горизонтальної складової величина вертикальної складової зусилля обрізування набуває максимальних значень при куті атаки  $\beta = 8^\circ$ . Різниця між максимальним та мінімальним значеннями величини вертикальної складової особливо виражена при обрізуванні книжкових блоків, виготовлених із більш щільних паперів, а саме № III – в 2,4 рази та № IV – в 3,2 рази. Для «пухкіших» типів паперу – № I і № II різниця між максимальним та мінімальним значеннями величини вертикальної складової складає, відповідно, 1,1 і 1,3 рази. Із подальшим збільшенням кута атаки відбувається плавне зростання величини вертикальної складової.

Лобова складова під час обрізування блоків, виготовлених із паперу № I, незначно зменшується при  $\beta = 18^\circ$ . Збільшення кута атаки від  $8^\circ$  до  $40^\circ$  призводить до стрімкого зростання величини лобової складової сили обрізування. Отже, отримані результати експериментальних досліджень дають підставу рекомендувати значення кута атаки окремих лез в межах  $18^\circ – 20^\circ$ .

3. При обрізуванні блоків, виготовлених із менш щільних паперів, а са-  
ме: для паперів № IV та № III при глибині обрізування  $\delta = 0,5$  мм збільшення  
швидкості переміщення блока від 0,3 до 1 м/с призводить до зростання горизо-  
нтальної складової на 38%, а для № II та № I відповідно на 67% та 84%. При  
глибині обрізування  $\delta = 1,5$  мм зі збільшенням швидкості блока горизонтальна  
складова зростає: для № IV – на 47%, а для № I – на 73%.

## РОЗДІЛ 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ ОБРІЗУВАННЯ КНИЖКОВО- ЖУРНАЛЬНИХ БЛОКІВ БАГАТОЛЕЗОВИМ РІЗАЛЬНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

#### **4.1. Визначення оптимальних параметрів БРІ з огляду на якість обрізування КЖБ**

Суттєвою перевагою БРІ у порівнянні з пласким РІ є можливість встановлення окремих лез інструмента на необхідну глибину різання (0,3 – 0,7 мм). Глибина різання кожного леза інструмента (крім первого) є сталою на протязі циклу обрізування блока. За рахунок незначної (до 1 мм) довжини лінії різання окремим лезом розподілом кутів атаки вздовж лінії контакту лезо – блок можна знектувати, а зусилля різання вважати сконцентрованим при вершині леза.

Процес обрізування КЖБ можна умовно розділити на два етапи: 1 – обрізування основної частини блока; 2 – дорізування окремих аркушів блока при завершенні обрізування. На першому етапі умови обрізування найсприятливіші для досягнення необхідних якості й точності обрізування. Тут жорсткість аркушів блока (в зоні різання) буде максимальною, оскільки опорою для них є решта аркушів. Особливо важливим, з точки зору досягнення необхідних якості та точності обрізування блоків, є завершальний етап, в процесі якого відбувається дорізування решти аркушів блока.

Під час проведення експериментальних досліджень обрізування КЖБ (товщиною до 20 мм, висотою до 200 мм) здійснювалось БРІ, що складається з одно комплекту лез (однокомплектний інструмент), а також за допомогою інструмента із основним (кількість лез – 18) та допоміжним (кількість лез – 7) комплектами лез. Під час проведення досліджень основний комплект лез було розташовано як з зовнішнього так і з внутрішнього боку траекторії переміщення КЖБ.

Проведені дослідження виявили, що умови обрізування є кращими при застосуванні БРІ конструкцією якого передбачено два комплекти лез – основний і допоміжний. Необхідні якість та точність обрізування досягається симетричною дією лез БРІ обох комплектів на необрізану частину аркушів на завершальному етапі обрізування КЖБ.

На рисунку 4.1 представлена просторова модель розроблену в системі AutoCAD, що демонструє взаємодію КЖБ з БРІ під час обрізування, порядок взаємного розміщення та кількість одночасно задіяних під час обрізування лез різального інструмента.

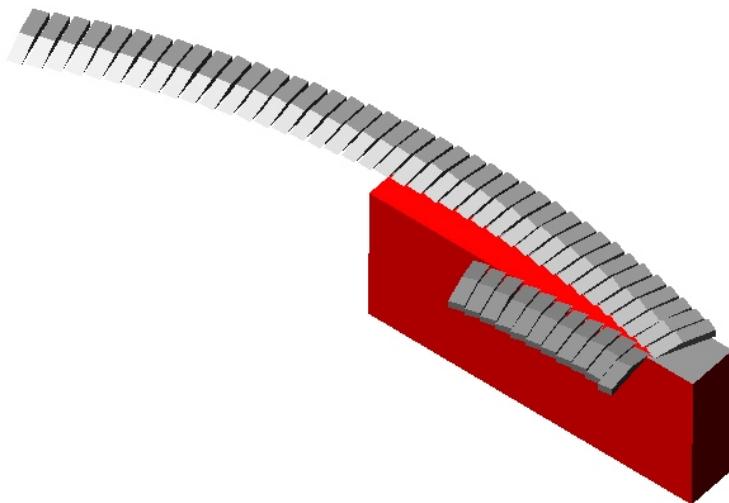


Рис. 4.1. Просторова модель БРІ

З метою підтвердження працездатності запропонованої конструкції БРІ розроблено метод автоматизованого розрахунку площ зрізу КЖБ окремими лезами інструмента на алгоритмічній мові AutoLisp інтегрованій в систему AutoCAD, що дозволяє визначити кількість одночасно задіяних в процесі обрізування КЖБ за допомогою БРІ, а також періоду взаємодії окремих лез інструмента з блоком [3, 8, 45, 49, 50, 51, 53, 134].

На рисунку 4.2. представлено блок-схему алгоритму розрахунку площин зрізу БРІ КЖБ, що рухаються за коловою траєкторією. У блоці 1 задаємо вихідні умови: в просторі моделі на екрані монітора маніпулятором вказуємо центр повороту КЖБ, вибираємо БРІ, вибираємо КЖБ; у командному рядку задаємо з

клавіатури крок повороту КЖБ. У блоці 2 відбувається розрахунок площі  $S_6$  поверхні блока, що підлягає обрізуванню.

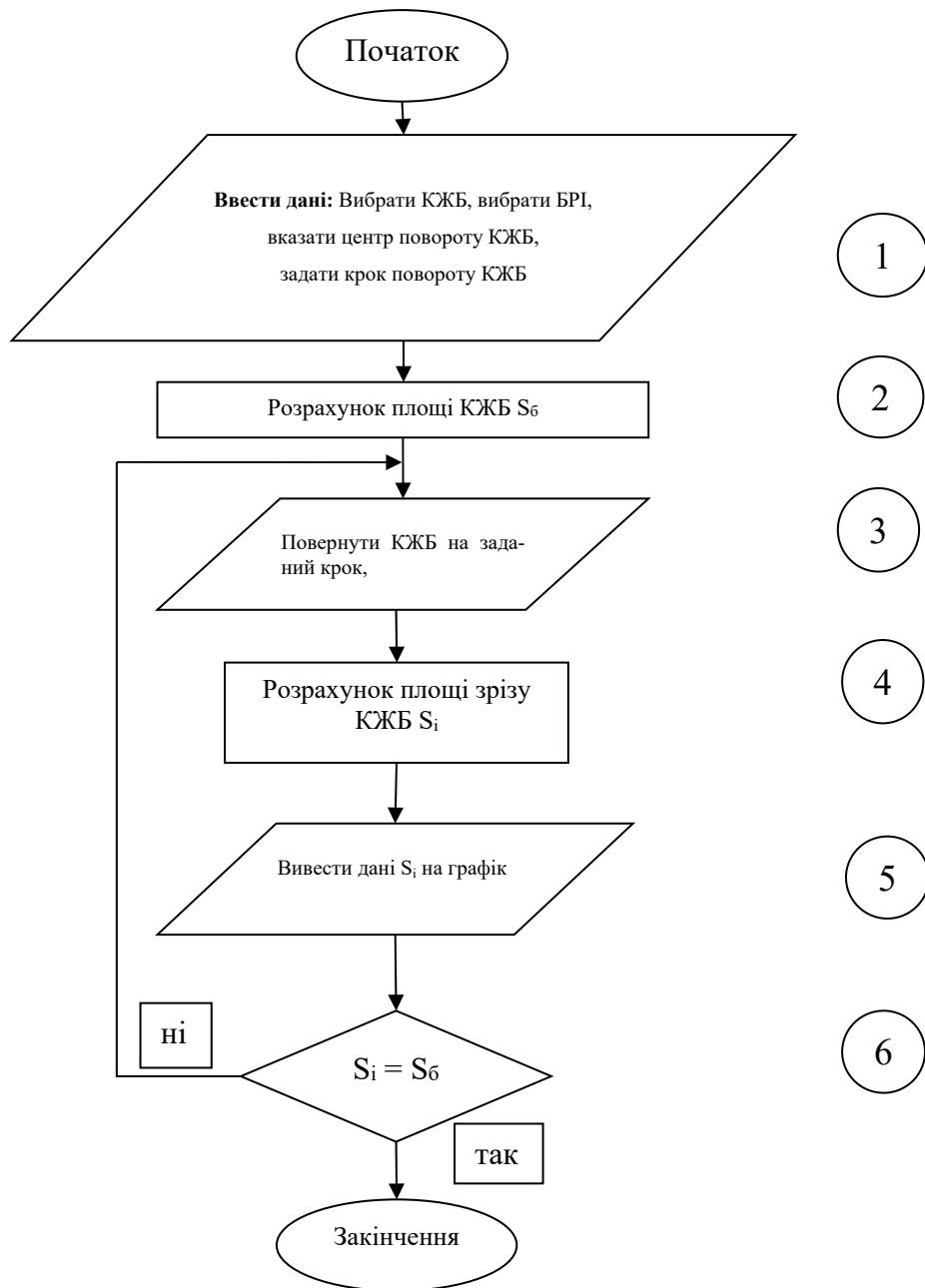


Рис. 4.2. Блок-схема алгоритму розрахунку площі зрізу КЖБ

У блоці 3 програма здійснює поворот КЖБ з відображенням результату на екрані монітора. У блоці 4 відбувається розрахунок площі зрізу  $S_i$ . У блоці 5 відбувається виведення даних у вигляді графіка  $S_i=f(\varphi)$  на екран. Після цього, у

блоці 6 програма розгалужується, якщо умова  $S_i = S_b$  не виконується (тобто  $S_i < S_b$ ), то відбувається новий цикл розрахунку до виконання вказаної умови.

На рисунку 4.3. представлено робоче поле програми розрахунку поточних площ зрізу КЖБ в системі AutoCAD в процесі побудови залежності  $S_i = f(\varphi)$ . Напрям повороту КЖБ вказаний стрілкою.

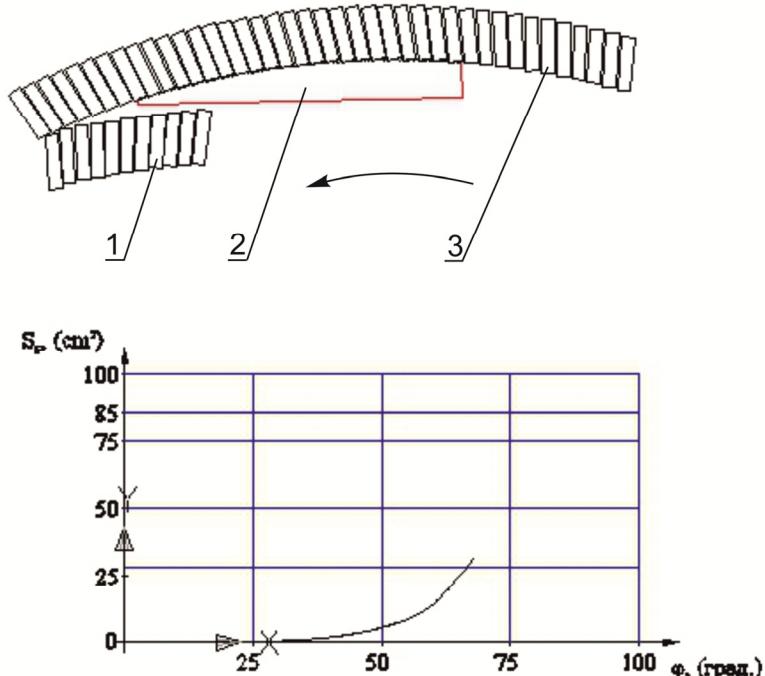


Рис. 4.3. Робоче поле програми розрахунку поточних площ зрізу КЖБ в системі AutoCAD  
1 – внутрішній комплект лез БРІ, 2 – КЖБ, 3 – зовнішній комплект лез БРІ

На робочому полі програми відбувається одночасне відображення взаємного розташування КЖБ стосовно БРІ в процесі обрізування і побудови графічної залежності  $S_i = f(\varphi)$ .

На рисунку 4.4 представлена графік залежності площин зрізу КЖБ  $S_i$  від кута повороту блока висотою 290 і товщиною 35 мм, радіус повороту блока  $R_k$  800 мм, кут між вершинами сусідніх лез  $\gamma = 1,5^\circ$ , глибина різання лез  $\delta = 1$  мм. З графіка (рис. 4.4) видно, що площа зрізу КЖБ лезами БРІ зростає плавно до значення кута повороту блока  $\varphi = 60^\circ$ , після чого починає стрімко зростати до значення  $\varphi = 80^\circ$ , що можна пояснити збільшенням задіяних в процесі обрізування лез БРІ. При куті повороту блока  $\varphi$  від  $80^\circ$  до  $85^\circ$  відбувається деяке змен-

шення інтенсивності зростання площі зрізу зумовлене поступовим виходом лез БРІ із контакту з блоком.

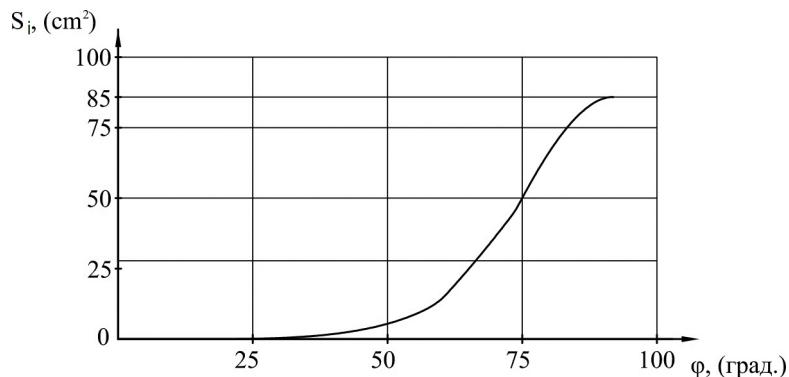


Рис. 4.4. Графік залежності поточного значення площі зрізу КЖБ  $S_i$  від кута повороту блока

Конструкція різального інструмента повинна забезпечити якісне обріування основної частини аркушів блока та дорізування серединної частини – на завершальному етапі циклу обріування. Якісне обріування досягається конструктивними особливостями БРІ, а саме: вершинами окремих лез основного комплекту БРІ перекривають вершини лез допоміжного комплекту БРІ. Під час дорізування незрізана частина аркушів блока (рисунок 4.5) набуває форми клину, що позитивно впливає на якість і точність обріування.

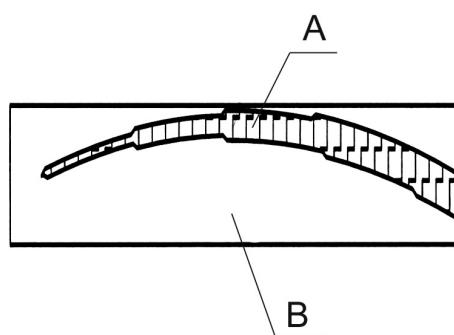


Рис. 4.5. Завершальний етап процесу обріування КЖБ:  
A – необрізана частина; B – обрізана частина

Проведені дослідження із використанням просторової моделі показали, що якість та точність обріування в значній мірі визначаються взаємним розміщенням лез БРІ.

На рис. 4.6. представлена схема взаємного розміщення лез зовнішнього 1 (допоміжного) та внутрішнього 2 (основного) комплектів лез БРІ при обрізуванні КЖБ 3, що рухається за коловою траєкторією (вказано стрілкою).

З метою оптимізації геометричних параметрів різального інструменту запропонованої конструкції побудуємо циклограму, котра відображає процес обрізування книжкового блока.

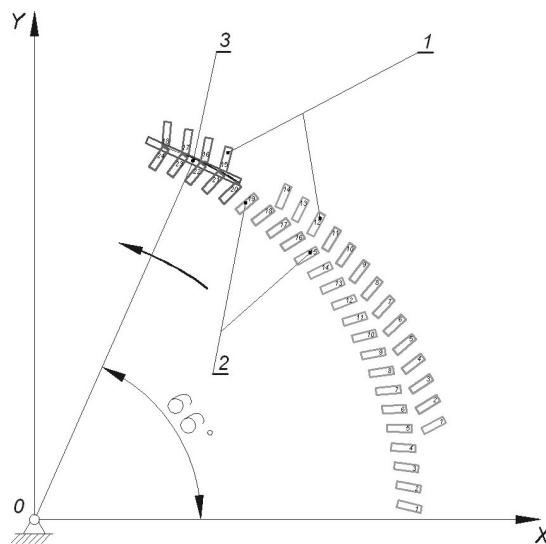


Рис. 4.6. Схема розміщення комплектів лез БРІ

З програмами розрахунку отримуємо величини кутів повороту КЖБ, що відповідають періоду різання окремими лезами зовнішнього та внутрішнього комплектів БРІ. Результати розрахунків внутрішнього комплекту лез БРІ наведено на рисунку 4.7 та у таблиці 4.1.

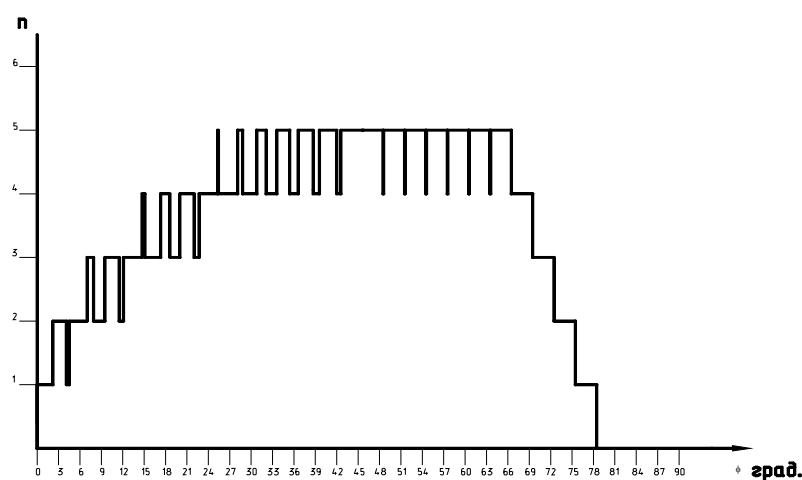


Рис. 4.7. Циклограма задіювання лез в процесі обрізування КЖБ внутрішнім комплектом БРІ

Таблиця. 4.1 – Кути повороту КЖБ 200×20 мм, що відповідають періоду різання окремими лезами внутрішнього комплекту БРІ

Порядковий номер леза, n	Кут повороту каруселі φ, °	
	Врізання леза в блок	Вихід леза з блока
1	0	4,05
2	2,16	7,89
3	4,52	11,53
4	6,98	15,07
5	9,5	18,55
6	12,07	21,98
7	14,68	25,38
8	17,31	28,75
9	19,97	32,1
10	22,65	35,43
11	25,34	38,74
12	28,05	42,04
13	30,77	45,33
14	33,58	48,53
15	36,58	51,52
16	39,58	54,51
17	42,58	57,5
18	45,58	60,5
19	48,58	63,49
20	51,58	66,48
21	54,58	69,47
22	57,58	72,47
23	60,58	75,76
24	63,58	78,45

Результати розрахунків кутів повороту КЖБ для зовнішнього комплекту лез БРІ наведено в таблиці 4.2 та на рисунку 4.8.

Таблиця 4.2 – Кути повороту КЖБ 200×20 мм, що відповідають періоду різання окремими лезами зовнішнього комплекту БРІ

Порядковий номер леза, n	Кут повороту каруселі $\phi$ , °			
	Врізання леза в блок		Вихід леза з бло- ка	
1	13	27,8	13,14	28,06
2	16	30,5	16,32	30,92
3	19	33	19,72	33,92
4	22	35,9	23,3	36,93
5	25	38,6	26,36	39,96
6	28	41,6	29,71	43,01
7	31	43,9	33,08	45,98
8	34	46,5	36,47	48,97
9	37	49	39,9	51,9
10	40	51,6	43,38	54,98
11	43	54,1	46,92	58,02
12	46	56,4	50,56	60,96
13	49	58,6	54,4	64
14	52		64,02	
15	55		69,83	
16	58		72,84	
17	61		75,85	
18	64		78,86	

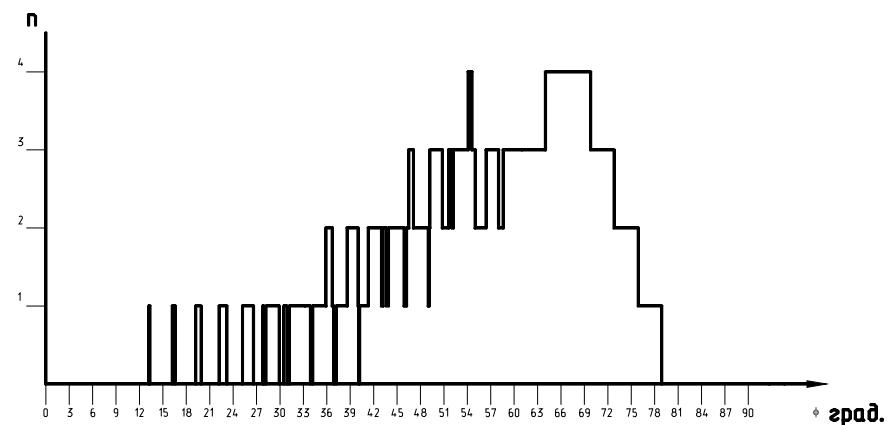


Рис. 4.8. Циклограмма задіювання лез в процесі обрізування КЖБ зовнішнім комплектом БРІ

Одержані циклограми ілюструють процес взаємодії окремих лез БРІ з КЖБ. Так, найбільше задіяних в процесі обрізування КЖБ лез БРІ спостерігається на куті повороту блока  $50^\circ - 72^\circ$ . Із циклограмм видно, що кількість задіяних лез внутрішнього комплекту є більшою за кількість лез зовнішнього комплекту. Максимальна кількість одночасно задіяних лез внутрішнього комплекту БРІ становить 5 одиниць на куті повороту КЖБ  $25^\circ - 72^\circ$ .

Для оцінки максимальної кількості одночасно задіяних лез повного комплекту БРІ, необхідних для обрізування КЖБ розміром  $200 \times 20$  мм, побудовано загальну циклограму їхньої роботи (рис. 4.9).

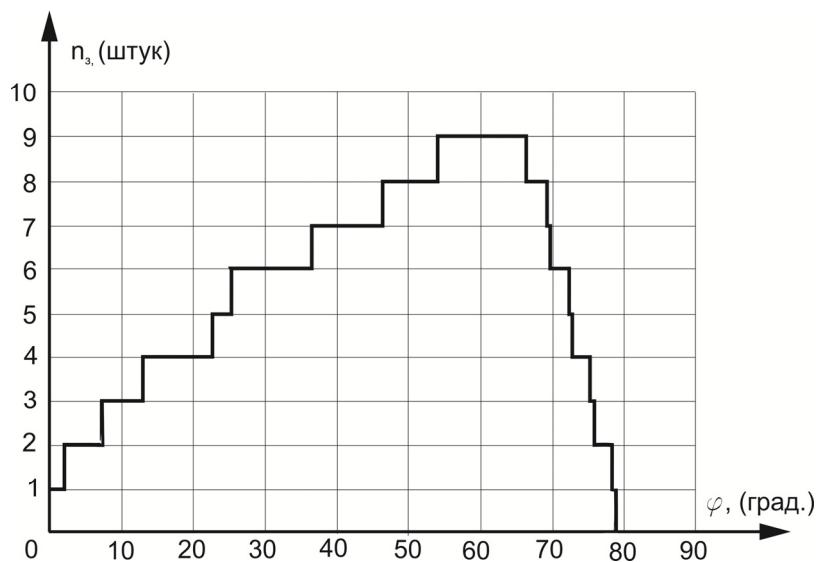


Рис. 4.9. Циклограмма роботи повного комплекту БРІ

При лінійному розташування ножів і прямолінійному переміщенні блоків під час обрізування недоліком є значна довжина різального інструмента (від 500 до 1000 мм.) і, відповідно, габарити устаткування, а також спостерігається значне зростання сил різання. Довжина ліній різання, а отже і величина навантаження будуть залежати від кута розташування РІ. Для мінімізації довжини лінії різання запропоновано БРІ, що уможливлює зміну кутів встановлення окремих лез вздовж колової траєкторії КЖБ. Для визначення оптимального положення лез БРІ проведено дослідження процесу обрізування КЖБ методом комп'ютерного моделювання. Як видно з рисунка 4.9 кількість одночасно задіяних лез поступово зростає по мірі повороту книжкового блока, досягаючи ма-

ксимального значення при повороті КЖБ на кут близько  $70^\circ$ . Збільшення кількості одночасно задіяних лез БРІ відбувається плавно на ділянці кута повороту блока від  $0^\circ$  до  $55^\circ$ .

#### **4.2. Комп'ютерний експрес-аналіз якості обрізування КЖБ за допомогою БРІ**

Згідно методики [38] проведено аналіз якості площини обрізування. Комп'ютерним експрес-аналізом перш за все здійснюємо оцифрування зображення досліджуваного зразка певної довжини за допомогою сканера із роздільною здатністю не менше 5000 дрі. Для подальшої обробки, зображення слід отримати в режимі відтінків сірого (grayscale).

Отриманий об'єкт збільшуємо за розмірами з одночасним встановленням роздільної здатності приблизно на 600 дрі засобами редакторів растрової графіки (рисунок 4.10, а). Відповідними інструментами, забезпечується максимально доцільний контраст між зразком (особливо його мікронерівностями) і фоном (рисунок 4.10, б). Метою проведених дій є отримання максимально очищеного зображення (видалення недоліків сканування).

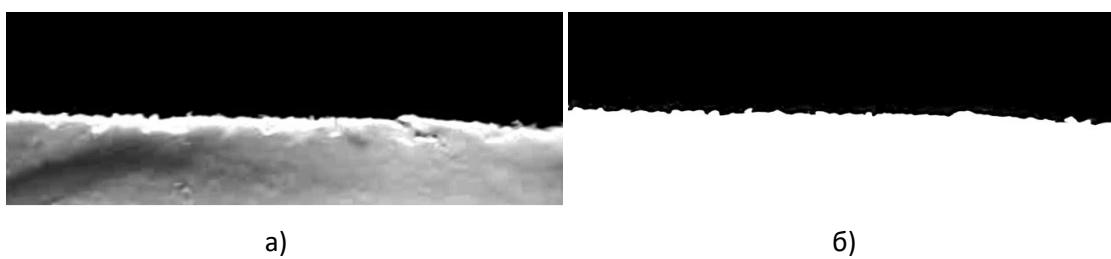


Рис. 4.10. Вигляд відсканованого зразка:

*a) до обробки, б) після обробки*

На наступному етапі здійснюється векторизацію обробленого зображення мікронерівностей. Із цією метою методами та засобами програми обробки векторної графіки CorelDraw проводимо трасування растрових зображень, застосовуючи модуль CorelTRACE. В процесі векторизації задається точність обробки растрового зображення, що впливатиме на точність отриманого век-

торного контура. Варто відмітити, що задаючи значення точності обробки, на рівні 80...100 одиниць якість отриманого векторного контура буде найкращою, проте час обробки, кількість векторних об'єктів і розмір файла із зображенням збільшиться, що небажано для наступної обробки. Задаючи точність обробки 10...30 одиниць при обробці зображення втрачаються дрібні елементи, що негативно впливатиме на точність розрахунку рівня мікронерівностей. Тому для векторизації зображення використовувалось значення точності обробки 45...60 одиниць.



Рис. 4.11. Обробка зразка в програмі CorelDraw.

З метою отримання тільки ліній контуру мікронерівностей, очищуємо зображення від зайвих об'єктів, що не несуть інформації про мікронерівності. Засобами програмного забезпечення обробки векторної графіки (рисунок 4.11), для візуалізації контура, проводяться налаштування об'єкта (наприклад властивість об'єкту Outline і властивості контура: Hairline і чорний колір лінії контуру). Виділений об'єкт експортуємо в файл формату \*.dwg. Вимірювання величини мікронерівностей проходить у системі автоматизованого проектування *AutoCAD* із використанням *AutoLisp*. Отриманий файл рисунка відкриваємо у графічному редакторі AutoCAD, та застосовуємо спеціально розроблений модуль quality.vlx, який призначений для оцінювання середнього значення висоти мікронерівностей досліджуваного зразка.

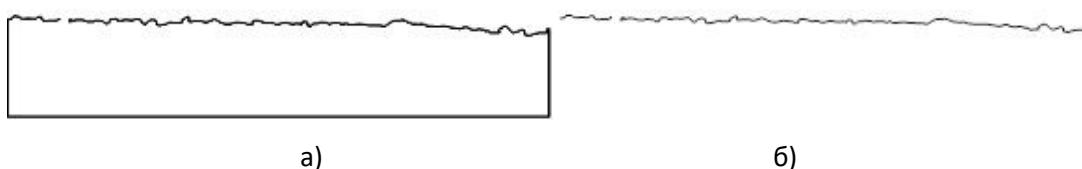


Рис. 4.12. Обробка зразка в програмі CorelDRAW:

*a)* до змін властивостей об'єкта, *б)* після властивостей об'єкта

Задаємо команду – aww, яка проводить підготовку зображення для обробки. При цьому в діалоговому вікні необхідно вказати систему, в якій створено файл AutoCAD – у Corel Draw або Adobe Illustrator (рисунок 4.12).

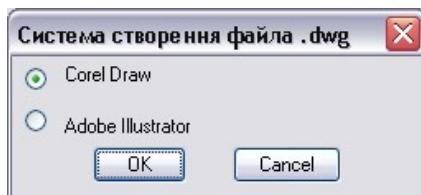


Рис. 4.13. Діалогове вікно вибору системи створення файла

У разі успішного завершення підготовки необхідно провести видалення зайвих відрізків, решту відрізків контуру зрізу виділити, перетворити їх у полілінії і об'єднати в суцільну полілінію.

Зауважимо, що в результаті обробки зображення розміри об'єкта постійно змінювались. Ці зміни враховуються коригуючим коефіцієнтом.

Команда aww, розпочинаючи роботу, запитує реальну довжину об'єкта замірів та кількість координатних точок (рисунок 4.14, а і в). Після проведення обробки даних (рисунок 4.14, б) отримуємо кінцевий результат – значення величини мікронерівностей лінії обрізу (рисунок 4.14, в).

Застосування запропонованого методу експрес-аналізу на виробництві уможливлює об'єктивний контроль якості обрізування КЖБ. Якщо за результатами розрахунків для кількох відібраних зразків середнє значення мікронерівностей перевищує 0,07 мм якість обрізування КЖБ є незадовільною, а різальний інструмент підлягає перезагостренню.

Порівнюючи результати оцінювання якості обрізування КЖБ (таблиця 4.3) на розробленому пристрої величина мікронерівностей  $\Delta Y$  коливається в межах 0,155 – 0,192, що менше за мікронерівності зразків КЖБ обрізаних різальними машинами.

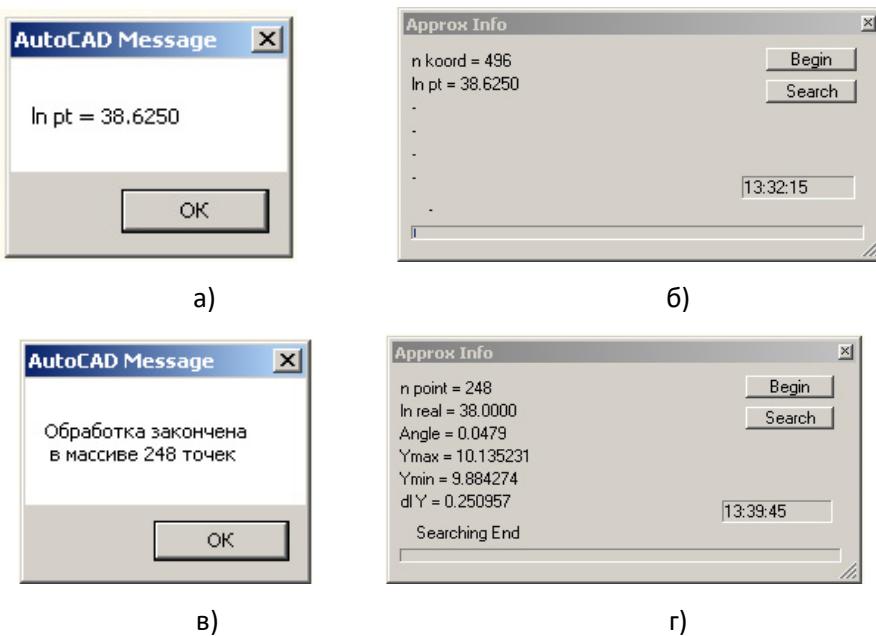


Рис. 4.14. Діалогові вікна послідовності виконання експрес-аналізу

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок про доцільність застосування розробленої секції обрізування КЖБ, як таку, що забезпечує достатню якість площини обрізу.

Таблиця 4.3 – Результати для оцінки якості обрізування КЖБ

№ п/п	К-сть точок	Розмір, мм	$Y_{\max}$	$Y_{\min}$	$\Delta Y$
1	358	49	10.025	9,940	0.031
2	361	50	10.045	10,003	0.042
3	359	49	10.063	10,030	0.033
4	360	49	10.042	9,985	0.057
5	356	50	10.011	9,981	0.030
6	365	51	10.002	9,979	0.023
7	363	49	10.014	9,999	0.015

#### **4.3 Висновки до розділу**

За результатами комп’ютерного експрес-аналізу якості обрізування КЖБ, розраховано параметр показника якості – значення величини мікронерівностей ліній обрізу. Встановлено, що для зразків, отриманих на експериментальному стенді,  $\Delta Y = 0,015 - 0,057$  мм, що менше за значення  $\Delta Y = 0,282 - 0,385$  мм, отримані за результатами дослідження зразків, виготовлених у виробничих умовах на різальній машині.

За результатами автоматизованого розрахунку площ зрізу КЖБ та візуалізації процесу обрізування визначено доцільне з огляду на силові та якісні показники розташування РІ відносно КЖБ і його конструкцію. Проведені дослідження виявили, що умови обрізування є кращими при застосуванні БРІ конструкцією якого передбачено два комплекти лез – основний і допоміжний. Необхідні якість та точність обрізування досягається симетричною дією лез БРІ обох комплектів на необрізану частину аркушів на завершальному етапі обрізування КЖБ.

Конструкція різального інструмента забезпечує якісне обрізування основної частини аркушів блока та дорізування серединної частини – на завершальному етапі циклу обрізування. Якісне обрізування досягається конструктивними особливостями БРІ, а саме: вершинами окремих лез основного комплекту БРІ перекривають вершини лез допоміжного комплекту БРІ.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу удосконалення процесу обрізування книжково-журналльних блоків, що рухаються за коловою траєкторією.

При цьому отримано такі результати:

1. На основі аналізу засобів обрізування книжково-журналльних блоків встановлена можливість удосконалення процесу обрізування багатолезовим різальним інструментом книжково-журналльних блоків, що рухаються за коловою траєкторією.

2. На основі теоретичних і експериментальних досліджень встановлена ефективність застосування багатолезового різального інструмента для обрізування книжково-журналльних блоків, що рухаються за коловою траєкторією – сумарна сила різання наближено у 2 рази менша за силу різання під час обрізування книжкових блоків пласким різальним інструментом.

3. Теоретичні дослідження впливу геометричних параметрів багатолезового різального інструмента на силові та якісні показники процесу обрізування показали, що якість та точність обрізування блоків забезпечується плавним збільшенням зусилля різання в процесі врізування інструмента шляхом поступового зростання глибини врізання лез багатолезового різального інструмента. З врахуванням геометричних розмірів книжково-журналльних блоків та властивостей паперу виведена аналітична залежність зусилля обрізування книжково-журналльних блоків.

4. Проведені експериментальні дослідження виявили, що умови обрізування є кращими при застосуванні багатолезового різального інструмента, конструкцією якого передбачено два комплекти лез. Необхідні якість та точність обрізування досягається симетричною дією лез багатолезового різального інструмента обох комплектів.

5. Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень дозволили розробити практичні рекомендації щодо проектування, конструкції та геометричних параметрів різального інструмента і застосування секції обрізування багатолезовим різальним інструментом книжкових блоків, що рухаються за коловою траєкторією:

- при радіусі повороту книжкового блока, наприклад,  $R_k = 800$  мм, з огляду на сили різання та габарити різального інструмента, слід приймати величину кутової відстані між вершинами сусідніх лез  $2^\circ$ .
- для застосування різального модуля в агрегаті незшивного клейового скріplення для обрізування переда книжково-журнальних блоків (при виготовленні «англійської брошури»)  $R_k = 400...600$  мм (згідно конструкції агрегата).
- для якісного обрізування блоків відстань між площинами обрізування та затиску не повинна перевищувати 0,5 мм (при обрізуванні книжкових блоків виготовлених з м'яких паперів відстань повинна бути мінімальною);
- для лез, що задіяні під час обрізування крайніх аркушів, глибина різання повинна бути у межах 0,2 – 0,4 мм; для лез, що задіяні під час обрізування середньої частини блока глибина різання не повинна перевищувати 0,7 мм;
- кут атаки лез різального інструмента, залежно від виду паперу, з якого виготовлений блок рекомендується у межах  $17^\circ – 23^\circ$ ; для м'яких паперів, наприклад друкарський – кут атаки  $17^\circ$ ; для жорстких (наприклад крейдований –  $23^\circ$ ;
- при розробленні устаткування для обрізування книжково-журнальних блоків з трьох боків ділянка повороту каретки (кут, на якому розміщений багатолезовий різальний інструмент) доцільно вибирати у межах  $120^\circ$ : обрізування переда блока –  $60^\circ$ , зміна положення каретки з блоком для обрізування головки та хвостика (поворот на  $90^\circ$ ) –  $15^\circ$ , обрізування головки та хвостика –  $30^\circ$ , повернення каретки у вихідне положення –  $15^\circ$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акатьев Д.Ф. Исследование процесса резания стоп бумаги колеблющимся ножом: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.15. Москва, 1968. 195 с.
2. Акатьев Д.Ф. Физические явления при резании стоп бумаги плоским ножом. Труды ВНИИОПИТ. 1973, №45. С.13 – 23.
3. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. Санкт-Петербург: БХВ – Петербург, 2008. 1028 с.
4. Альтшуль Е.А. Исследование основных параметров для создания систем безмарзанной обрезки блоков: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.15. Москва, 1972. 231 с.
5. Ананьина Е.В., Коцарь Ю.Н., Мордовин Б.М. Машины брошюровочно-переплетного производства. в 2 ч. Ч.1. Москва: Книга, 1974. 221 с.
6. Ананьина Е.В., Коцарь Ю.Н., Мордовин Б.М. Машины брошюровочно-переплетного производства. в 2 ч. Ч.2. Москва: Книга, 1975. 234 с.
7. Березин Б.И. Полиграфические материалы. Москва.: Книга, 1981. 430 с.
8. Берндт Г., Каинка Б. Измерение, управление и регулирование с помощью макросов VBA в Word и Excel. Київ: МК-Прес; Санкт-Петербург: Корона-Век, 2008. 256 с.
9. Биткова К.М., Кузнецов К.М. Брошюровочно-переплетное производство. Москва: Книга, 1980. 416 с.
10. Бронштейн И.Н., Семенджяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Москва.: Наука, 1986. 544 с.
11. Ватуляк Ю.В. Визначення технологічно необхідного зусилля затискування книжкових блоків, що рухаються за коловою траекторією під час їх обрізування. Поліграфія і видавнича справа. 2014. № 4 (68). С. 20 – 26.
12. Величко О. Папір: особливості складу та друкарсько-технічні властивості. Друкарство. 1998. Спецвипуск. С.6 – 8.

13. Воробьев, Д. В. Технология послепечатных процессов: учебник Москва: МГУП, 2000. 393 с.
14. Гавенко С., Кулік Л., Мартинюк М. «Конструкція книги». Львів: «Фенікс», 1999. 136 с.
15. Гавенко С.Ф. Актуальність і перспективи розвитку кваліології книги. Кваліологія книги. 1998. С.12–14.
16. Гавенко С.Ф. Нормалізація технологій незшивного клейового скріплення книг: теоретичні та практичні аспекти. Львів: Каменяр, 2002. 320 с.
17. Ганичев И. В., Половко А. М. Mathcad для студента. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 336 с.
18. Германиес Э. Справочная книга технолога-полиграфиста: пер. с нем. Москва: Книга, 1982. 336 с.
19. Гинзбург В.В. Исследование процесса резания на одноножевых бумагорезальных машинах: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.15. Москва, 1958. 218 с.
20. Глушаков С.В., Жакин И.А., Хачиров Т.С. Математическое моделирование (Mathcad 2000, Matlab 5) : Учеб. курс. Харьков: Фолио; М.: ООО «Издательство АСТ», 2001. – 528 с.
21. Говорухин В., Цибулин В. Компьютер в математическом исследовании. Санкт-Петербург: Питер, 2001. 624 с.
22. Говорухин В.Н., Цибулин В.Г. Введение в Maple. Математический пакет для всех. Москва: Мир, 1997. - 208 с.
23. Головач В.И., Головач В.В. Adobe FrameMaker 6.0. Учебный курс. Санкт-Петербург: Питер, 2002. — 352 с.
24. ГОСТ 13525.8 – 86. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения сопротивления продавливанию. Київ, 2007. 8 с.
25. ГОСТ 17586 – 80. Бумага. Термины и определения. Москва, 1980. 49 с.
26. ГОСТ 17926 – 80. Картон и фибра. Термины и определения. Москва, 1980. 20 с.

27. Грушевский В.С. Исследование процесса обрезки книжных блоков дисковыми ножами: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.15. Москва, 1965. 202 с.
28. Гузела О.І., Босак І.П. Виробниче підприємництво. Львів: Укр. акад. друкарства, 2011. 380 с.
29. Джанфранко Виньяти. Упаковочные материалы. Колос, Тара и упаковка. 1993. Вип. №3. С.26 – 27.
30. Дулькин, Д.А., В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск: Издво АГТУ, 2007. 1118 с.
31. Дьяконов В. Mathcad 2000. Санкт-Петербург: Питер, 2001. 592 с.
32. Жидецкий В.Ц. Разработка технологического процесса вибрационной обрезки книжных блоков: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.15. Львов, 1990. 221 с.
33. Жидецький В. Ц., Лазаренко О. В., Лотошинська Н. Д. Поліграфічні матеріали. Львів.: ПТВФ Афіша, 2001. 115с.
34. Ильин В.Я. Машины и оборудование для переработки бумаги и картона. Москва: Лесная пром., 1988. 200 с.
35. Исследование свойств бумаги и картона: Сборник трудов ЦНИИБ. Москва, 1981. 67 с.
36. Іванко А. І., Маржієвський Р. В. Конструкція пристрою для безупинного обрізування аркушевого матеріалу в потокових лініях. Технологія і техніка друкарства. 2012. Вип. 3. С. 109–113
37. Іванко А. І., Панов С. Л. Пристрій для фігурного обрізування аркушевих матеріалів в потокових лініях. Технологія і техніка друкарства. 2015. Вип. 4. С. 105–110.
38. Сенчина К. Я. Удосконалення аркушерізальних машин шляхом застосування комбінованого кулісно-важільного механізму привода ножа. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.01. Львів, 2013. 153 с.
39. Кипхан. Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства: пер. с нем. Москва: МГУП, 2003. 1280 с.

40. Книш О. Б., Слобода Т. В. Механіка руйнування картону при ножичному різанні з використанням гострого ножа та незагостреного контрножа. Технологічні комплекси. 2013. № 2. С. 117 – 122.
41. Книш О.Б. Розробка технології та засобів дискретно-дотичного способу підготовки корінця книжкового блока до нанесення клею при клейовому скріпленні: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.15. Львів, 2001. 178 с.
42. Козак О., Кучма М. Якісний папір – що це? Друкарський кур'єр. Львів: Афіша, 1997. С. 25 – 27.
43. Коломиець А.Б. Кинематика процесса резания стопы бумаги ножом с вращательным плоскопараллельным движением: Тезисы всесоюзного совещания по методам расчета полиграфических машин-автоматов. Львов, 1991. С.84 – 85.
44. Коломієць А.Б. Розробка технологічного процесу обрізування дискретно-дотичним способом книжково-журнальних блоків: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.15. Львів, 2002. 178 с.
45. Концевич В.Г. Твердотельное моделирование машиностроительных изделий в Autodesk Inventor. Киев, Москва: ДиаСофтЮП, ДМК Пресс, 2007. 672 с.
46. Косарев Е.Л. Методы обработки экспериментальных данных. Москва: Физматлит, 2008. 208 с.
47. Котюк А.Ф. Датчики в современных измерениях. Москва: Радио и связь, 2006. 96 с.
48. Кошелев Е.И., Пергамент Д.А., Филиппов В.П. Брошюровочно-переплетные машины. Москва: Книга,, 1986. 320 с.
49. Кречко Ю. AutoCAD: Программирование и адаптация. Москва: ДИАЛОГ – МИФИ, 1995. 240 с.
50. Кудрявцев Е.М. AutoLISP. Основы программирования в AutoCAD. Москва: ДМК Пресс, 2000. 320 с.

51. Кузнецов В.О., Коломієць А.Б. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Автоматизація проектування в системі AutoCAD». Львів: УАД,, 2011. 59 с.
52. Кулініч Г.Л., Таран Є.Ю., Бурим В.М. Вища математика. у 2 кн. Кн. 2. Київ: Либідь, 2003. 368 с.
53. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). Санкт-Петербург:Питер, 2004. 560 с.
54. Логинов В.Н. Электрические измерения механических величин. Москва: Энергия, 1976. 104с.
55. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad: учеб. курс. Санкт-Петербург:Питер, 2005. 448 с.
56. Механизм дискового ножа: пат. №2530556 ФРГ. Опубл. 17.08.1977.
57. Мордовин Б.М. Проектирование полиграфических машин. Москва: Книга, 1964. 327 с.
58. Непрерывная резка листов повторяющимися дуговыми движениями: пат. 4903559 США. Опубл. 27.02.1990.
59. Пергамент Д.А. Оборудование для скрепления книжных блоков термонитьми : Учеб. пособие для инж. Фак. Москва: МПИ, 1981. - 21 с.
60. Пергамент Д.А. Брошюровочно-переплетное оборудование. Москва: МПИ,, 1990. 452 с.
61. Перетятко Б.Т., Слоцька Л.С. Папір для офсетного друку. Львів: НВП «Мета», 2000. 98 с.
62. Петриашвили Г.Г. Совершенствование одноножевых бумагорезальных машин на основе комплексных исследований процесса виброрезания: автореф. Дис. ... канд. техн. наук. Львов, 1990. 220 с.
63. Полюдов И.А. Разработка и синтез механизмов увеличенного хода транспортно-подающих устройств полиграфических машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1990. 24 с.

64. Полюдов О. М., Ассад Бей Марван. Безвистійне обрізування книжкових блоків віброножами з дуговою траєкторією руху. Поліграфія і видавнича справа. 1994. № 29. С. 18 – 22.
65. Полюдов О.М. Безвистійне обрізування книжково-журнальної продукції багатолезовим інструментом. Поліграфія і видавнича справа. 1994. № 29, С. 6– 8.
66. Полюдов О.М. Механіка поліграфічних і пакувальних машин. Львів: УАД, 2005. 177 с.
67. Полюдов О.М. Проектування поліграфічних машин. Львів: Фенікс ЛТД., 1993. 104 с.
68. Полюдов О.М., Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Дослідження параметрів безвистійного обрізування книжкових блоків у машинах карусельного типу. Наукові записки. 2003. Випуск 6. С. 3–7.
69. Полюдов О.М., Топольницький П.В., Топольницький Р.П. Параметричний аналіз безвистійного обрізування книжкових блоків в машинах карусельного типу. Комп’ютерні технології друкарства. 2001. №6. С.364 – 368.
70. Полюдов О.М., Кузнецов В.О., Коломієць А.Б. Розрахунки циклових механізмів поліграфічних і пакувальних машин на персональному комп’ютері (теорія, програми, інструкції). Львів: УАД, 2004. 94 с.
71. Полюдов О.М., Петріашвілі Г.Г. Застосування віброрізання в поліграфії. Матеріали міжнародної конференції по застосуванні вібрацій в техніці і фізичних процесах. ПНР, Познань, 1990. С. 14 – 17.
72. Полюдов О.М., Топольницький П.В., Черненко О.Д. Віброрізання в поліграфії та пакуванні (перспективи застосування). Упаковка. 2002. №1(26). С. 18 – 19.
73. Призва Г.Й., Плахотник В.В., Гординський Л.Д., та ін. Вища математика. у 2 кн. Кн. 1. Київ: Либідь, 2003.400 с.
74. Примаков С.П., Барабаш В.А. Технологія паперу і картону. Київ, 2002. 396 с

75. Пристрій для обрізування книжкових блоків: пат. №76533 Україна. № 20040604418; заявл. 08.06.2004; опубл. 15.08.2006, Бюл. №8.
76. Пристрій для підготовки корінця книжкового блока до нанесення клею при незшивному скріпленні: пат. 42453 №2001031470. заяв. 02.03.2001; опубл. 15.10.2001, Бюл.№9. 4с.
77. Пристрій для різання стоп паперу: пат. №40253 А Україна. № 2000116196; заявл. 02.11.2000; опубл. 16.07.2001, Бюл. №6.
78. Пушкин Б.И. Приклеиваемые тензодатчики сопротивления. Москва: Энергия, 1966. 89 с.
79. Режущее устройство: пат. 5000070 США. Опубл. 19.03.1991.
80. Режущие устройства с тремя ножами для обрезки книг и брошюр. Пат. № 3513418 (ФРГ). Опубл. 12.09.1985.
81. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. Москва: Машиностроение, 1975. 311с.
82. Спосіб підготовки корінця книжкового блока до нанесення клею і пристрій для його реалізації: пат. 27567 Україна. №96020542; заявл.15.02.96. опубл.15.09.2000, Бюл.№4. 2 с.
83. Спосіб різання стоп паперу і пристрій для його здійснення: пат. 40253А Україна. №200116196; заявл. 02.11.2000. опубл. 16.07.2001. Бюл.№ 6. 2 с.
84. Способ и устройство для обрезки тетрадей: пат. №2552009 Франция. Опубл. 02.06.1988.
85. Способ обрезки брошюр и устройство для его осуществления: пат. №184893 (ГДР). Опубл. 11.09.1976.
86. Сурин, В. М. Прикладная механика: учебное пособие. Минск : Новое знание, 2008. 388 с.
87. Тензометрия в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1975. 288 с.
88. Технические средства диагностирования : Справочник / В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др.; под общ. ред. В.В. Клюева. Москва: Машиностроение, 1989. 672 с.

89. Технологические параметры резания брошюр дисковыми ножами. Москва, 1963, Вып. №23. С.37 – 49.
90. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Вдосконалення технології виготовлення брошури в обкладинці з клапанами. Кваліфікація книги. 2011. № 2(20). С. 110 – 114.
91. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Вплив взаємного розташування лез багатолезового різального інструмента на його розміри. Комп’ютерні технології друкарства. 2013. № 30. С. 187 – 190.
92. Топольницький П. В., Ватуляк Ю.В. Теоретичні дослідження впливу конструкції багатолезового різального інструмента на деформацію блоків, що виникає в процесі обрізування під час їх переміщення за коловою траєкторією. Комп’ютерні технології друкарства. 2017. № 37. С. 110 – 118.
93. Топольницький П.В. Аналіз залежності сил різання від кількості одночасно обрізаних блоків. Друкарство. 2002. №1(42). С.42 – 43.
94. Топольницький П.В. Визначення ефективності «ультразвукового» обрізування книжкових блоків. Машинознавство. 2000. №6/7. С. 36 – 37.
95. Топольницький П.В. Визначення сил різання, що виникають при різанні блоків скріплених термоклеєм. Наук.-техн. конф.: тези доп. звітн. Вип.5. Львів, 1999. С.17.
96. Топольницький П.В. Вплив відстані між площинами обрізування і затискування блока на силу різання та якість площини обрізу. Поліграфія і видавнича справа. 1995. № 31. С.44 – 47.
97. Топольницький П.В. Вплив механічних властивостей та розмірних показників паперу на сили різання. Наукові записки. 2000. №2. С.9 – 12.
98. Топольницький П.В. Наукові основи безвистійного обрізування книжково- журнальних блоків: технологія та устаткування: дис. ... д-р. техн. наук: спец. 05.05.01. Львів, 2003. 385 с.
99. Топольницький П.В. Методика автоматизованого проектування багатолезового різального інструмента. Наукові записки. 2001. №3. С.3 – 5.

100. Топольницький П.В. Пристрій для обрізування переду «англійської» брошюри. Друкарство. 2001. №3(38). С.51.
101. Топольницький П.В. Технологічно доцільне зусилля затискування книжкових блоків під час обрізування. Поліграфія і видавнича справа. Львів: УАД, 2002. – Вип. №38. – С.15 – 18.
102. Топольницький П.В. Трансформація кутів різання при використанні різальніх інструментів з закругленими вершинами лез. Поліграфія і видавнича справа. 1999. № 35. С.59 – 64.
103. Топольницький П.В. Умови подавання книжкових блоків у різальну секцію машини для безвистійного обрізування. Наукові записки. 1999. Вип.1. С.7 – 8.
104. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Кути атаки леза, як важливий фактор якості та точності обрізування книжково-журнальних блоків. Комп'ютерні технології друкарства. 2016. № 36. С. 96 – 103.
105. Топольницький П.В., Книш О.Б. Нові технології та пристрої для різання поліграфічних матеріалів та книжково-журнальних блоків. Львів: Афіша, 2003. 88 с.
106. Топольницький П.В., Стахів Р.Б. Експериментальні дослідження силових параметрів процесу обрізування книжкових блоків. Машинознавство. 2000. №3. С.49 – 50.
107. Топольницький П.В., Черненко О.Д. Експериментальні дослідження стійкості ножів для різання блоків паперу. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2002. № 4. С.72 – 77.
108. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Експериментальні дослідження процесу обрізування книжкових блоків багатолезовим різальним інструментом у машині карусельного типу. Наукові записки. 2006. № 9. С. 44 – 48.
109. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Конструктивні особливості різального інструмента для обрізування книжкових блоків у машині карусельного типу. Наукові записки. 2004. №7. С. 20 – 23.

110. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Теоретичні дослідження силових параметрів обрізування книжково-журнальних блоків при переміщенні за коловою траєкторією. Комп'ютерні технології друкарства. 2015. № 34, С. 110 – 114.
111. Тучков А.А., Покровский А.М. Среда программирования на AutoLISP в графической системе AutoCAD. Санкт-Петербург: Б-ка «Звезды», 1992. 64 с.
112. Тюканов А.С. Основы численных методов: [учеб. пособие для студ. фак. физики РГПУ им. А.И. Герцена. Санкт-Петербург: ГОУ ВПО РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 266 с.
113. Усилие резания и пути его снижения в бумагорезальных машинах. Тезисы докладов. Москва, 1965. С.21 – 22.
114. Устройство для безвыстойной трехсторонней обрезки книжных блоков: А.С. 1638003 СССР. №4611967/ 27; заявлено 02.12.88; опубл. 30.03.91, Бюл. №12. 3с.
115. Устройство для обрезки бумажных листов: пат. №2102717 Великобритания. Опубл. 25.11.1983.
116. Устройство для резки с возвратно-поступательным движением ножа: пат. 3–49719 Япония. Опубл. 30.07.1991.
117. Устройство для резки с возвратно-поступательным движением ножа: пат. №3-49719 Япония. Опубл. 30.07.1991.
118. Фляте Д.М. Свойства бумаги. Москва: Лесная пром., 1976. 648 с.
119. Хведчин Ю.Й. Брошурально-палітурне устаткування. Ч. 1. Брошурувальне устаткування. Львів: ТeРус, 1999. 336 с.
120. Хведчин Ю.Й. Брошурально-палітурне устаткування. Ч. 2. Палітурне устаткування. Львів: Вид-во УАД, 2007. 392 с.
121. Хведчин Ю.Й., Книш О.Б., Коломієць А.Б. Брошурально-палітурне устаткування. Розрахунки виконавчих механізмів. Л.:УАД, 2010. 128 с.
122. Чехман Я. І., Сенкусь В.Т., Дідич В.П., Босак В.О. Друкарське устаткування. Львів: УАД, 2005. 468 с.

123. Шакхельян Б. Н., Шакхельян Б. Н., Загаринська Л. А. Полиграфические материалы. Москва: Книга, 1988. 328с.
124. Europaische Patentanmeldung B26D 1/20. EP 1 273 401 A1 / Grapha-Holding AG.
125. Europaische Patentanmeldung B26D 9/00. EP 1 491 303 A1 / Kolbus GmbH & Co. KG.
126. Instruction Klebebinder Trendbinder 3009 / Muller-Martini Buchbinde-Systeme AG. – Felben-Wellhausen (Schweiz), 1996.
127. Krabisch K. Резание вращающимися ножами: пер. С нем. Лейпциг: Лейпцигский институт полиграфических машин, 1972. 62 с.
128. Poludov A., Petriashvili G., Kolomiets A., Tchernenko A. Parameters of vibrating cutting // XIV Ogolpolska Konferencja Teorii maszyn i mechanizmow. Bielsko-Biala, 1992.
129. Stefan Jakucewicz. Papier do drukowania: właściwości i rodzaje. Warszawa: Michael Hubert Polska, 2010. 432 s.
130. Sposob obrobki grzbietow wkladow ksiazkowych: пат. 177365B1 РП, №311726; Заявл. 06.12.95; Опубл. 30.11.99; WUP11/99. 4 с.
131. Topolnitskyj P. Die Abhandigkeit den kraftigen und qualitativen Zeugnissen des Schnaideprozesses von der Geschwindigkeit der Blockbewegung // Wissenschaftliches Seminar Schneidtechnologie. Muller Martini Buchbindesysteme AG in Felben CH. 1998. S.4 – 6.
132. Topolnitskyj P. Die Bestimmung der optimalen Lange Mehklingenes Schneide – instrumentes (MSIes) // Wissenschaftliches Seminar Schneidtechnologie. Muller Martini Buchbindesysteme AG in Felben CH. 1998. S.1 – 3.
133. Verfahren und Vorrichtung zum Schneiden von in ein Ries qestapeltes Papier: пат. 0 670 203 B1 EP, МКИ В 26 D 1/01. Европатент. №91906653; заявл. 21.01.91; опубл. 06.08.92; Gazette 1992/21. 16 с.
134. Visual LISP и секреты адаптации AutoCAD. Полещук Н.Н. Санкт-Петербург: БХВ – Петербург, 2001. 576 с.

## **ДОДАТКИ**

## ДОДАТОК А.

### Публікації

1. Полюдов О.М., Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Дослідження параметрів процесу безвистійного обрізування книжкових блоків у машинах карусельного типу. Наукові записки. 2003. № 6. С. 3 – 7.
2. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Конструктивні особливості різального інструмента для обрізування книжкових блоків у машині карусельного типу. Наукові записки. 2004. № 7. С. 20 – 23.
3. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Експериментальні дослідження процесу обрізування книжкових блоків багатолезовим різальним інструментом у машині карусельного типу. Наукові записки. 2006. №9. С. 44 – 48.
4. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Вдосконалення технології виготовлення брошури в обкладинці з клапанами. Квалілогія книги. 2011. № 2(20). С. 110 – 114.
5. Топольницький П. В., Ватуляк Ю.В. Вплив взаємного розташування лез багатолезового різального інструмента на його розміри. Комп’ютерні технології друкарства. 2013. № 30. С. 187 – 190.
6. Ватуляк Ю.В. Визначення технологічно необхідного зусилля затискування книжкових блоків, що рухаються за коловою траєкторією під час їх обрізування. Поліграфія і видавнича справа. 2014. № 4 (68). С. 20 – 26.
7. Топольницький П. В., Ватуляк Ю. В. Теоретичні дослідження силових параметрів обрізування книжково- журнальних блоків при переміщенні за коловою траєкторією. Комп’ютерні технології друкарства. 2015. № 34. С. 182 – 190.
8. Топольницький П. В., Ватуляк Ю.В. Кут атаки леза, як важливий фактор якості та точності обрізування книжково- журнальних блоків. Комп’ютерні технології друкарства. 2016. № 36. С. 96 – 101.
9. Топольницький П. В., Ватуляк Ю.В. Теоретичні дослідження впливу конструкції багатолезового різального інструмента на деформацію блоків, що виникає в процесі обрізування під час їх переміщення за коловою траєкторією. Комп’ютерні технології друкарства. 2017. № 37. С. 110 – 118.

Продовж. дод. А

*Публікації у збірниках наукових конференцій*

1. Ватуляк Ю.В. Вплив геометричних параметрів і виду паперу на силові параметри процесу обрізування книжкових блоків. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів: тези доп. (Львів, 31 січня – 3 лютого 2006 р.). Львів: УАД, 2006. С. 4.
2. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Особливості геометричних параметрів різального інструменту для обрізування переднього поля книжкових блоків у м'якій обкладинці з клапанами. XVI Міжнародна науково-практична конференція з проблем видавничо-поліграфічної галузі : тези доп. (м. Київ, 15 травня 2013 р.). Київ: УкрНДІСВД, 2013. С. 87 – 88.
3. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Обґрунтування геометричних параметрів різального інструмента залежно від радіусу переміщення книжкових блоків. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів : тези доп. (м. Львів, 4 – 7 лютого 2014 р.). Львів: УАД, 2014. С. 13.
4. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Вплив радіуса повороту книжкових блоків та геометричних характеристик багатолезового різального інструмента на зусилля затискування під час обрізування. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів : тези доп. (м. Львів, 16 – 20 лютого 2015 р.). Львів: УАД, 2015. С. 8.
5. Топольницький П.В., Ватуляк Ю.В. Теоретичні дослідження силових параметрів обрізування книжково-журналльних блоків при переміщенні за коловою траєкторією. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів : тези доп. (м. Львів, 16 – 19 лютого 2016 р.). Львів: УАД, 2016. С. 4.

Продовж. дод. А

***Публікації у збірниках наукових конференцій, патенти***

6. Топольницький П.В. Ватуляк Ю.В. Дослідження явища трансформації дійсного кута загострення леза під час обрізування книжково-журнальних блоків, що рухаються за коловою траекторією. Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників та аспірантів : тези доп. (м. Львів, 14 – 17 лютого 2017 р.). Львів: УАД, 2017. С. 6.
7. Ватуляк Ю.В. Безвистійне обрізування переднього поля книжково-журнальних блоків у обкладинці із клапанами. Скориновские чтения 2016: книга как феномен культуры, искусства, технологии: материалы II Международного форума. (г. Минск, 6–7 сентября 2016 г.). Минск : БГТУ, 2016. С. 170-172.

***Патенти***

1. Патент №76533 (Україна). МПК B26D 1/01. Пристрій для обрізування книжкових блоків/ Топольницький П. В. (Укр.), Полюдов О.М. (Укр.), Ватуляк Ю.В. (Укр.).— № 20040604418; заявл. 08.06.2004; опубл. 15.08.2006., Бюл. №8.

## Продовж. дод. А

## Патент



УКРАЇНА

(19) UA (11) 76533

(13) C2

(51) МПК (2006)  
B26D 1/01МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛІГЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБРІЗУВАННЯ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ

1

2

(21) 20040604418

(22) 08.06.2004

(24) 15.08.2006

(46) 15.08.2006, Бюл. № 8, 2006 р.

(72) Топольницький Петро Володимирович, Полюдов Олександр Миколайович, Ватуляк Юрій Володимирович

(73) Українська академія друкарства

(56) SU, 478752, 30.07.75

RU, 2125931, 1999.02.10

SU, 1757915, 30.08.92

(57) Пристрій для обрізування книжкових блоків, який складається з станини, транспортуючого при-

строю та інструментальних вузлів, який **відрізняється** тим, що транспортуючий пристрій виконаний як карусель з розміщеннями на ній затискними каретками, які повертаються на 90°, а інструментальний вузол складається з двох комплектів ножів, які встановлені на монтажній плиті, щонерухомо закріплена на станині, при цьому ножі розташовані на відстані один від одного, нахилені до напрямку переміщення блока, а кожен ніж розміщений на заданій відстані від центру повороту каруселі.

Винахід відноситься до поліграфії, а саме до брошувально-палітурних процесів і може використовуватись для обрізування книжкових блоків з трьох боків.

Відомий пристрій [1], в склад якого входять основний та допоміжний комплекти ножів, та система транспортування, що складається з тасьмового транспортера, який, притискаючи до опорного обертового циліндра переміщує брошув віздовж нерухомого різального інструмента. Обрізування відбувається одночасно з двох боків під час переміщення брошур каскадом за коловою траекторією.

Такий пристрій має ряд недоліків:

- обрізування брошур здійснюється лише з двох боків.
- максимальна товщина брошур складає 8 мм.
- тасьмовий транспортер має складний привод та потребує додаткових пристосувань для натягу тасьм,
- деформація брошур тасьмовими транспортерами, що притискають брошури до опорного циліндра під час обрізування, негативно впливає на точність та якість обрізування.

В основу винаходу поставлене завдання створення нового пристроя, в результаті, роботи якого за допомогою складаного багатоножкового інструмента відбувається обрізування книжкових блоків з трьох боків у кількох позиціях під час

переміщення за коловою траекторією в затискачах каруселі.

Поставлене завдання по створенню пристроя для обрізування книжкових блоків, що складається зі станини, транспортуючого пристрою та інструментальних вузлів вирішується тим, що транспортуючий пристрій виконаний як карусель з розміщеннями на ній затискними каретками які повертаються на 90°, а інструментальний вузол складається з двох комплектів ножів, які встановлені на плиті на відстані один від одного та під кутом β до напрямку переміщення блока і здійснюють обрізування на задану глибину δ.

Відмінні від прототипу ознаки винаходу:

- обрізування книжкових блоків з трьох боків відбувається в трьох різальніх секціях, при переході від однієї різальної секції до іншої із поворотом блока на 90°;
- системою транспортування книжкових блоків служать затискні каретки, що дозволяє досягти точного та надійного базування блоків стосовно різального інструмента;
- конструкція складаного багатоножкового інструмента і транспортуючого засобу дозволяють здійснювати обрізування не деформуючи книжкових блоків, що позитивно впливає на якість та точність обрізування;

(19) UA (13) C2

(19) UA (13) 76533

## Продовж. дод. А

## Патент

3

76533

4

- максимальна товщина блоків, що обрізаються до 40 мм.

Пристрій (Фіг.1) для обрізування книжкових блоків складається з станини 1, каруселі 2. на якій розміщені затисні каретки 3 та трьох інструментальних вузлів, а кожен інструментальний вузол складається з монтажної плити 4 та двох комплектів ножів 5, які встановлені на плиті на відстані один від одного та івд кутом до напрямку переміщення блока.

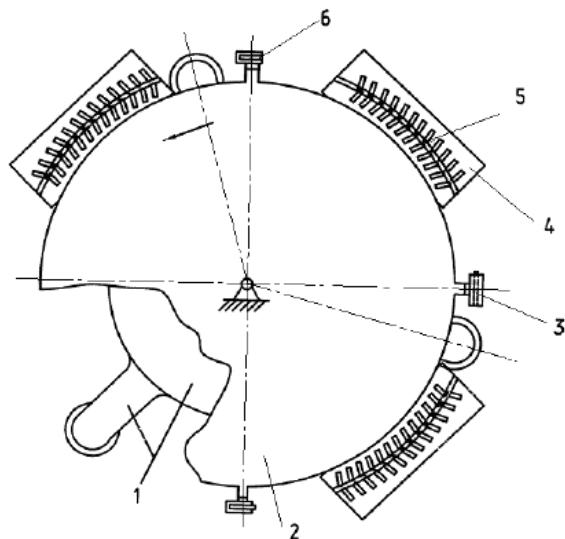
Пристрій для обрізування книжкових блоків з трьох боків працює наступним чином (Фіг.1). Книжковий блок б встановлюють та затискають в каретці 3 переміщують в напрямку різальної секції із складаними багатоножковими інструментами 5.

якими обрізають книжковий блок, після чого здійснюється поворот блока на 90° і транспортування книжкового блока до наступної різальної секції.

Під час обрізування книжковий блок контактує з складаним багатоножковим інструментом, кожен ніж встановлений під кутом до напрямку переміщення блока.

Література:

1. Європатент 1273401 A1 EP, MKI B26D1/20. Vornichtung zum Sehneiden von Produkten mittels eines Ziehschnittes / Merkli, Peter, Anmeldenummer. - №01810665.8.; Заявл. 05.07.2001; Опубл. 08.01.2003; Patentblatt 2003/02.



## ДОДАТОК Б.

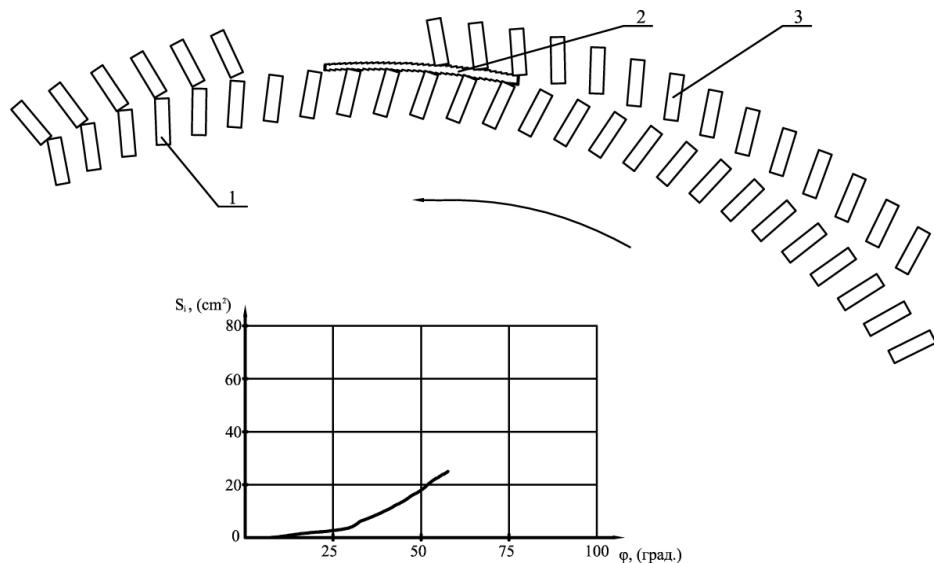
### Програма розрахунку площ зрізу КЖБ окремими лезами БРІ

```
(defun C:riz ()
  (setq
    a (car(entsel "\nВкажіть блок:"))
    b (car(entsel "\nВкажіть ніж:"))
    cent (GETPOINT "\nВкажіть точку поворота блока: ")
    rotate 0
    char 0
    area1 0
    area2 0
    angle_b (getreal "\nкут повороту блока=")
    repeat (getint "\nкількість кроків=")
    char_k (getreal "\nкрок графіка=")
    area_cm 100
  )
  (command "_AREA" "_O" a)(setq area_char (getvar "AREA"))
  (repeat repeat
    (command "copy" b "" cent cent)(setq format_pl_for0 (entlast))
    (setq b1 (entlast))
    (command "_AREA" "_O" a)(setq area1 (getvar "AREA"))
    (setq rotate (+ angle_b rotate))
    (command "Rotate" a "" cent rotate)
    (command "subtract" a "" b1 "")
    (command "_AREA" "_O" a) (setq area2 (getvar "AREA"))
    (setq char (+ char_k char))
    (command "line" (list (- char char_k) (- (/ area_char area_cm) (/ area1 area_cm)) 0.))
    (list char (- (/ area_char area_cm) (/ area2 area_cm)) 0.) "")
  )
  (command "line" (list 0 (/ area_char area_cm) 0.) (list 0. 0. 0.) (list (* repeat
    char_k) 0 0.) "")
)
```

### Продовж. дод. Б

#### **Модель БРІ для обрізування КЖБ під час їх переміщення за коловою трасекторією розроблена в системі AutoCAD**

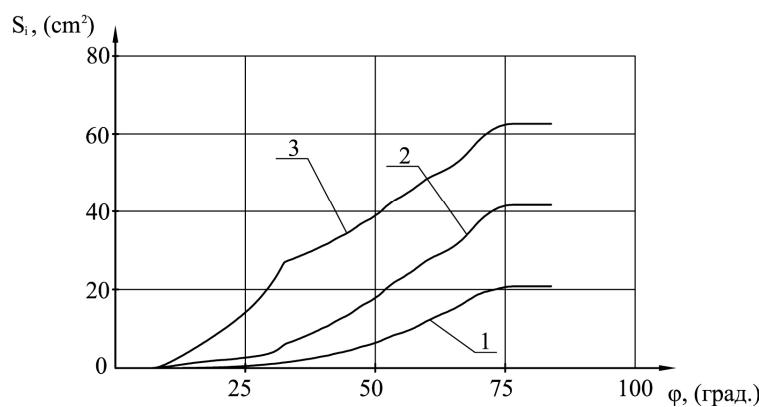
Робоче поле програми розрахунку поточних площ зрізу КЖБ в системі AutoCAD



1. Леза внутрішнього комплекта БРІ
2. Книжково-журнальний блок
3. Леза зовнішнього комплекта БРІ

Радіус повороту КЖБ  $R_k = 800 \text{ мм}$ , Параметри блока: 1 —  $H = 20 \text{ мм}$   $L = 200 \text{ мм}$ ,  $\gamma = 2^\circ$ .

Графік залежності поточного значення площин зрізу КЖБ  $S_i$  від кута повороту КЖБ



Радіус повороту КЖБ  $R_k = 800 \text{ мм}$ . Параметри блока: 1 —  $H = 10 \text{ мм}$   $L = 140 \text{ мм}$ ; 2 —  $H = 20 \text{ мм}$   $L = 200 \text{ мм}$ ; 3 —  $H = 30 \text{ мм}$   $L = 290 \text{ мм}$ .  $\gamma = 2^\circ$ .

## ДОДАТОК В

**Аналітична залежність кута різання  $\alpha_p$  від глибини різання  $\delta$  лезом БРІ під час обрізування КЖБ, що рухається за коловою траєкторією**

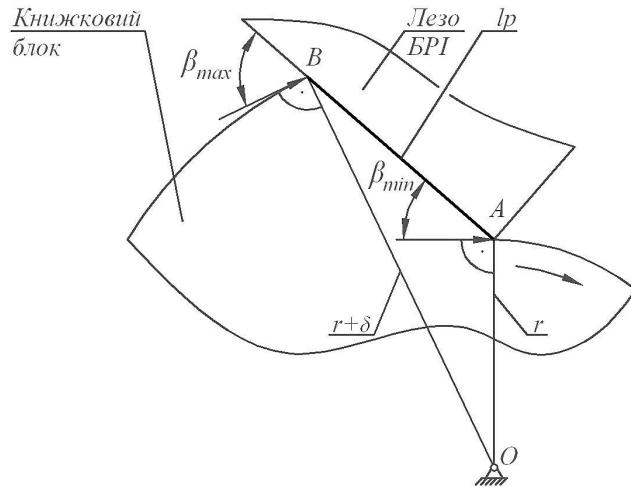


Рис.1(додаток В). Схема визначення кута атаки леза БРІ

У трикутнику  $\Delta OAB$  (рисунок 1 (додаток В)) співвідношення сторін і кутів:

$$\frac{r}{\sin \angle OBA} = \frac{r + \delta}{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \beta_{\min}\right)}, \quad \text{або} \quad \frac{r}{\sin \angle OBA} = \frac{r + \delta}{\cos \beta_{\min}},$$

де  $r$  – віддаль вершини леза від центра повороту книжкового блока;

$\delta$  – глибина різання;

$\beta_{\min} = \beta_{\Pi}$  – кут встановлення леза БРІ (кут між вектором швидкості переміщення книжкового блока в точці  $A$  і різальною крайкою леза  $AB$ ).

Визначаємо кут  $OBA$

$$\angle OBA = \arcsin\left(\frac{r \times \cos \beta_{\min}}{r + \delta}\right),$$

Кут атаки в точці  $B$ :  $\beta_{\max} = \frac{\pi}{2} - \angle OBA$ ,

## Продовж. дод. В

В процесі обрізування книжкового блока, що рухається за коловою траекторією кут атаки  $\beta_{\max}$  залежить від кута встановлення  $\beta_{II}$  леза БРІ, глибини різання  $\delta$ , віддалі  $r$  вершини леза від центра колової траєкторії переміщення книжкового блока під час обрізування.

$$\beta_{\max} = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{r \times \cos \beta_{II}}{r + \delta}\right),$$

Кут різання знаходиться в січній площині, положення якої відносно леза БРІ визначається вектором швидкості книжкового блока.

Підставивши вираз кута атаки леза при коловій траєкторії переміщення книжкового блока під час обрізування формула для визначення кута різання в точці В набуде виду:

$$\alpha_{\partial B} = \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg} \alpha_3 \cdot \cos\left(\arcsin\left(\frac{r \times \cos \beta_{II}}{r + \delta}\right)\right)\right).$$

де  $\alpha_3$  – кут загострення леза.

## ДОДАТОК Г

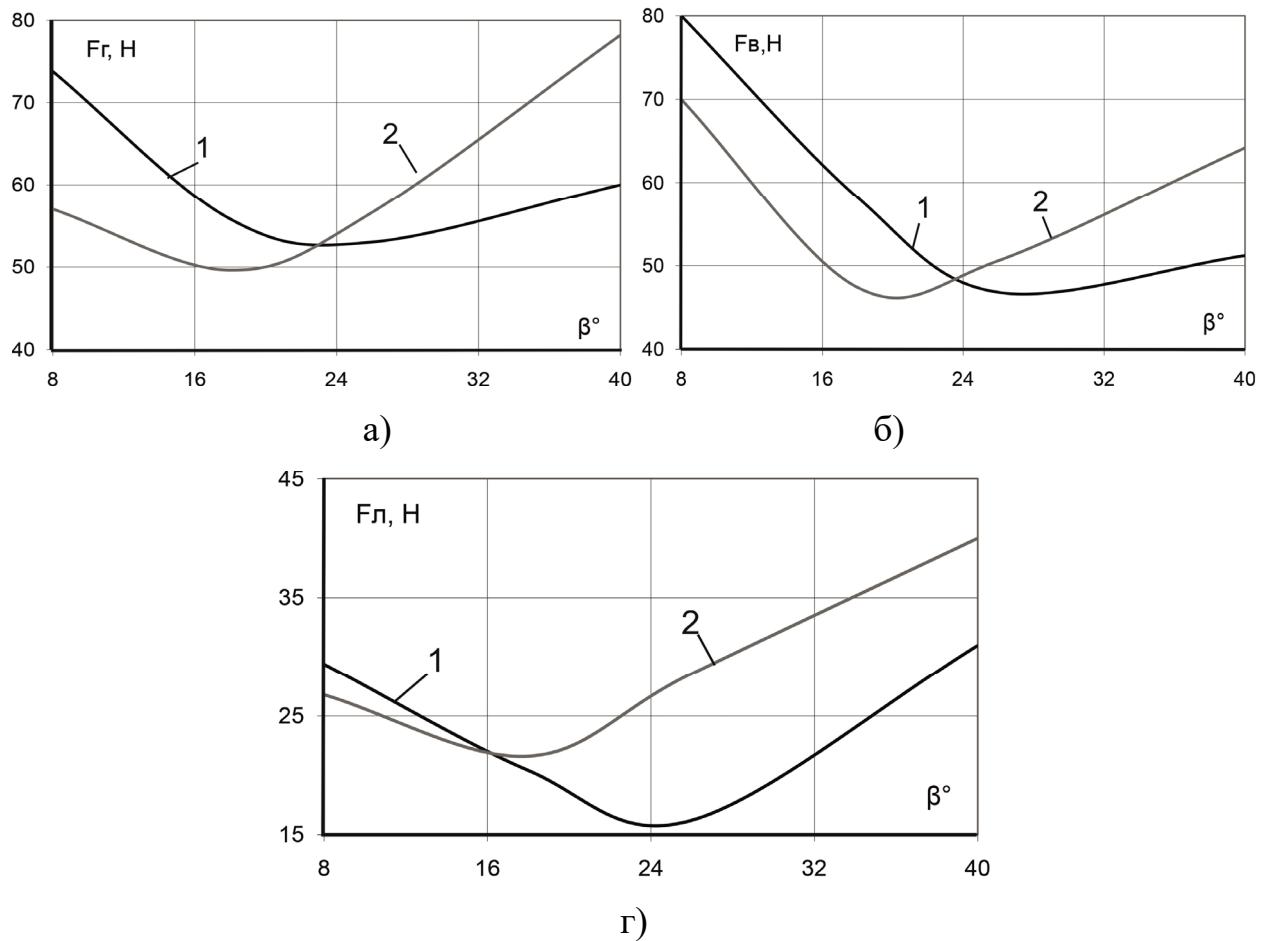
### *Результати експериментальних досліджень впливу кута атаки леза на величину складових сили обрізування аркушів картону*

Умови проведення експериментальних досліджень:

кут загострення леза:  $\alpha_3 = 15^\circ$ ;

глибина різання:  $\delta = 1$  мм;

швидкість переміщення аркушів картону:  $V_6 = 0,3$  м/с



*a – горизонтальна складова, б – вертикальна складова, г – лобова складова*

### Продовж. дод. Г

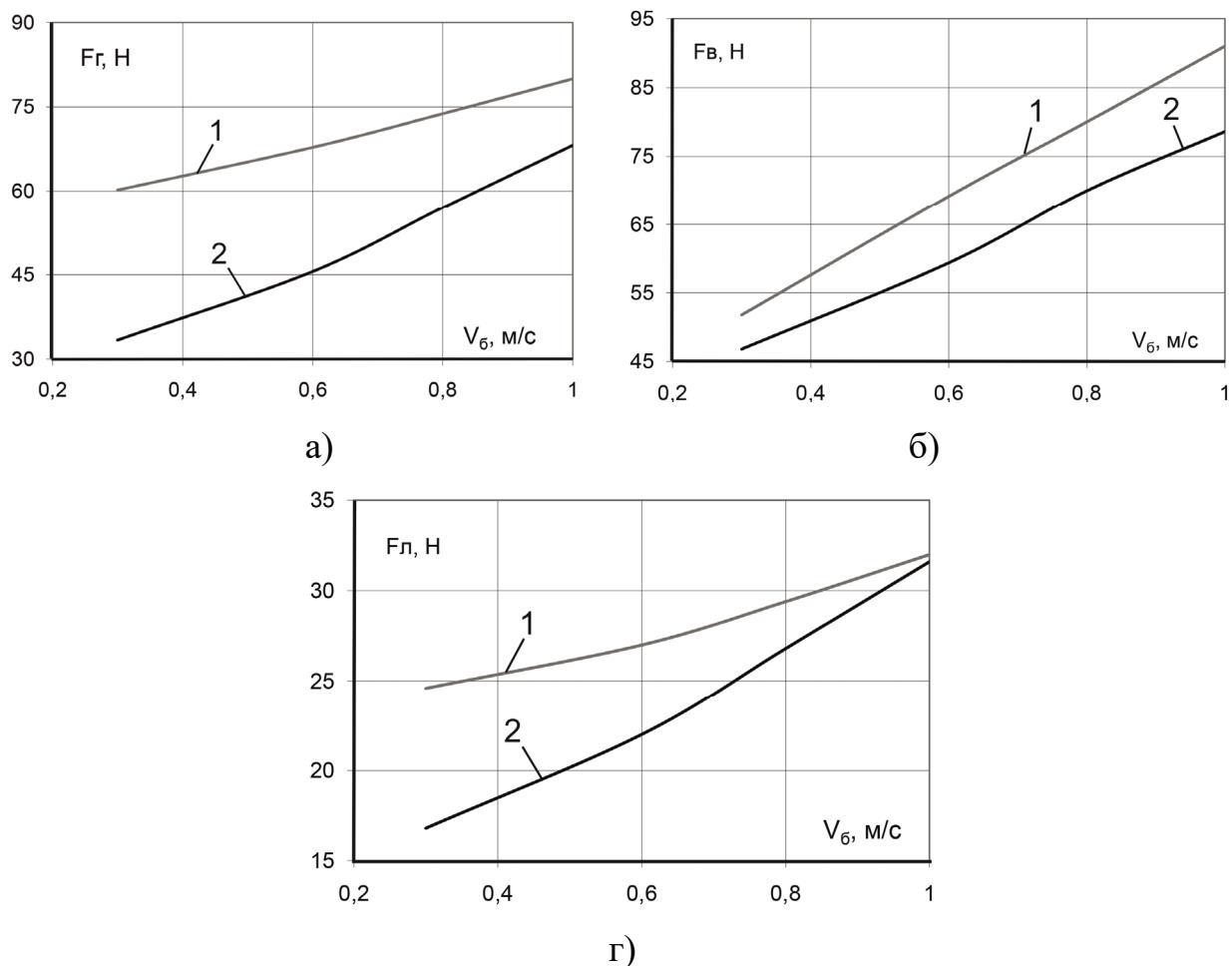
## Результати дослідження впливу швидкості переміщення аркушів картону на величину складових сили обрізування

Умови проведення експериментальних досліджень:

кут загострення леза:  $\alpha_3 = 15^\circ$ ;

кут атаки:  $\beta = 20^\circ$ ;

глибина різання:  $\delta = 1$  мм.

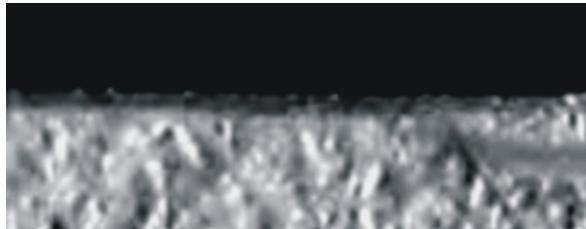


*а – горизонтальна складова, б – вертикальна складова, г – лобова складова*

*1 – картон палітурний (марка А); 2 – картон палітурний (марка Б)*

## Продовж. дод. Г

*Мікрофотографії зразків аркушів із блоків обрізаних за допомогою БРІ із різним радіусом заокруглень країки лез*



$$r_z=0,005 \text{ мм}$$

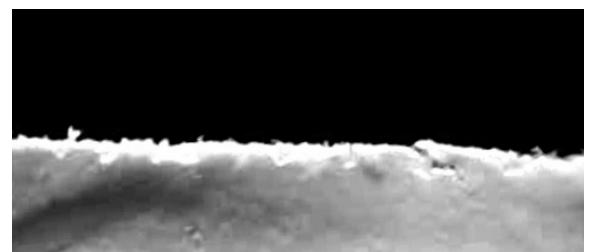


$$r_z=0,05 \text{ мм}$$

Папір офсетний № 2 (марка Б), масою  $m = 65 \text{ г/м}^2$ , густина  $\rho = 0,64 \text{ г/см}^3$



$$r_z=0,005 \text{ мм}$$



$$r_z=0,05 \text{ мм}$$

Папір крейдований, масою  $m = 120 \text{ г/м}^2$ , густина  $\rho = 1,30 \text{ г/см}^3$

## ДОДАТОК Д



### АКТ

#### ВПРОВАДЖЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

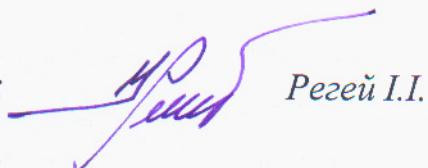
#### В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС

Напрямком наукової діяльності асистента Ватуляка Ю.В. є дослідження процесу обрізування книжково-журнальних блоків під час їх переміщення за коловою траєкторією. Удосконалення технологічного процесу обрізування книжково-журнальних блоків та пристрою для його реалізації спрощує технологічний процес виготовлення книг і, як результат, зменшує їх собівартість.

Результати наукових досліджень асистента Ватуляка Ю.В. впроваджені в навчальний процес Української академії друкарства. Науковими розробками укомплектовано дисципліну «Нові технології різання паперу та картону» яку вивчають студенти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

За тематикою наукових досліджень асистента Ватуляка Ю.В. студенти ОКР «магістр» виконують курсові та магістерські роботи.

Зав. кафедри ККППВ, проф., д-р техн. наук

  
Регей І.І.

## ДОДАТОК Е



### АКТ АПРОБАЦІЇ

#### РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗІ СТВОРЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБРІЗУВАННЯ КНИЖКОВО-ЖУРНАЛЬНИХ БЛОКІВ

Кафедра комп'ютеризованих комплексів поліграфічного і пакувального виробництв Української академії друкарства продемонструвала, а ПП «Штемпельна граверна майстерня САЮЛ 94» провів оцінку ефективності функціонування пристрою для обрізування книжково-журнальних блоків в складі агрегата незшивного клейового скріplення Trendbinder TB-18. Демонстрація включала:

- пристрій для обрізування книжково-журнальних блоків в складі агрегата незшивного клейового скріplення Trendbinder TB-18;
- загальну методику визначення геометричних розмірів багатолезового різального інструмента для обрізування книжково-журнальних блоків, що рухаються за коловою траєкторією;

Фахівцями ПП «Штемпельна граверна майстерня САЮЛ 94» проведено оцінку роботи пристрою для обрізування багатолезовим різальним інструментом книжково-журнальних блоків, що рухаються за коловою траєкторією. Встановлено, що конструкція багатолезового різального інструмента забезпечує точне і якісне обрізування книжково-журнальних блоків, виготовлених з різних за фізико-механічними властивостями видів паперу.

Завідувач кафедри ККППВ  
д-р техн. наук, проф.  
Регей І. І.

Пошукач кафедри ККППВ  
асистент  
Ватуляк Ю.В.

Директор  
ПП «Штемпельна граверна майстерня  
САЮЛ 94»



Бідний К.Б.