

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АКАДЕМІЯ ДРУКАРСТВА

**МЛИНКО
ОКСАНА ІВАНІВНА**



УДК 519.65+621.798

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ
ПОЛІГРАФІЧНОЇ ТА ПАКУВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ
З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕРІАЛОЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Спеціальність 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів — 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації та комп'ютерних технологій Української академії друкарства Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України
Дурняк Богдан Васильович,
Українська академія друкарства, ректор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Киричок Тетяна Юріївна,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», МОН України,
директор Видавничо-поліграфічного інституту

доктор технічних наук, професор
Пальчевський Богдан Олексійович,
Луцький національний технічний університет,
МОН України,
професор кафедри прикладної механіки

Захист відбудеться 27 вересня 2018 р. о 15 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.101.01 в Українській академії друкарства за адресою: 79020, м. Львів, вул. Під Голоском, 19, ауд. 101.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української академії друкарства за адресою: 79006, м. Львів, вул. Підвальна, 17.

Автореферат розіслано «23» серпня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В. Ц. Жидецький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні вимоги до друкованої продукції, паперово-картонних та полімерних засобів пакування диктують необхідність проведення реорганізації виробництв у поліграфічній галузі та пакувальній індустрії. Передусім вона пов'язана з розгортанням випуску нової за видом продукції, що характеризується принциповою заміною традиційної прямокутної форми криволінійною. Переваги такого удосконалення ґрунтуються на посиленні фактору дизайнерської виразності виробів, покращенні їх споживчих і функціональних властивостей. Об'єктивна особливість змін у виробництві нової продукції криється в його організації: внаслідок впливу економічних факторів на ринок вона поступає обмеженими обсягами, що спонукає до інтенсифікації пошуку нових форм виробів і вимагає оперативної підготовки технічних засобів для їх тиражування.

Поліграфічні технології широко використовуються пакувальною індустрією при виготовленні паковань. Разом із приростом населення планети обсяг споживання пакування і його кількість в умовних одиницях на одну людину вирости та будуть рости в період до 2020 р. і до 2025 р. Якщо в 2010 р. на одного жителя планети припадало 501 пакування (\$ 111), в 2015 р. – 514 (\$ 114), то за прогнозами фахівців на 2020 р. – 580 паковань (\$ 128), а в 2025 – 610 (\$ 135). Серед резервів енерго- та матеріалоощадного виробництва засобів пакування можна виокремити складові, що охоплюють процеси виготовлення пакувальних матеріалів; їх підготовку до виробництва; проектування тари оптимальної геометричної форми; виготовлення заготовок і формування з них об'ємної конструкції.

Вирішенню задач математичного опису форми криволінійних контурів у поліграфічних малооб'ємних виданнях, проектування технічних засобів та дослідження процесу їх виготовлення за енергоощадною технологією, оптимізації геометричних параметрів пакування присвячені наукові дослідження Регея І.І., Угриня Я.М., Кузнецова В.О., Дурняка Б.В., Коломійця А.Б., Шредера В.Л., Гавви О.М., Єфремова М.Ф., Ханлона Д.Ф. та інших.

Сучасні прогресивні зміни в розвитку поліграфічної галузі та пакувальної індустрії вимагають подальшого проведення науково-обґрунтованих досліджень, направлених на мінімізацію енерго- та матеріальних ресурсів, досягнення ефективної економії пакувальних матеріалів. Сформульовано важливу науково-прикладну задачу – наукове обґрунтування методів та засобів проектування робочих інструментів з криволінійними різальними крайками для енергоощадного ножичного різання поліграфічної малооб'ємної та пакувальної продукції, створення математичних моделей для встановлення раціональних геометричних параметрів матеріалоекономних паковань, виготовлених з різноманітних пакувальних матеріалів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Задачі, що вирішуються у дисертаційній роботі, впливають із завдань у сфері науки і техніки, сформульованих у Законі України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про внесення змін до Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки». Робота виконувалась також в рамках держбюджетної теми Б103-2006 «Розробка і створення теорії та методів проектування оптимальної картонної тари і оптимізації технологічних процесів її виготовлення» (№ держреєстрації 0106U000966). Наукові дослідження і практичні напрацювання, наведені в дисертації, безпосередньо пов'язані з напрямом програми науково-технічної діяльності Української академії друкарства, напрямами науково-дослідної роботи «Синтез, оптимізація і дослідження математичних моделей алгоритмів інформаційних технологій і систем» кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій; «Розроблення енергоощадної технології та засобів виготовлення паперово-картонних виробів», «Дослідження матеріаломісткості тари і упаковки» кафедри комп'ютеризованих комплексів поліграфічного і пакувального виробництва.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розроблення методів і засобів проектування робочих інструментів з криволінійними різальними крайками для енергоощадного ножичного різання поліграфічної малооб'ємної та пакувальної продукції, а також проектування матеріалоекономічних паковань з раціональними геометричними параметрами.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

– провести аналіз інформаційних джерел розвитку сучасних технологій та техніки з виготовлення малооб'ємних поліграфічних видань з криволінійними зовнішніми контурами, дослідити наукові підходи до проектування паковань, виготовлених з різноманітних пакувальних матеріалів;

– розробити спосіб виготовлення робочих інструментів з криволінійними різальними крайками для енергоощадного ножичного різання поліграфічних та пакувальних матеріалів;

– розробити метод проектування інструментів з криволінійними різальними крайками, виходячи з наявності підготовленого макету майбутнього виробу, потреби фіксування на отриманому об'єкті координат важливих вузлових точок, пошуку аналітичної функції, що описує форму криволінійного контуру;

– розв'язати задачу оперативного об'єктивного пошуку координат великого числа проміжних точок, розташованих між вузловими, необхідних для якісного виготовлення складних за конструкцією інструментів з криволінійними різальними крайками;

– створити математичні моделі для реалізації методики проектування раціональної конструкції вакуумованого пакування для сипкої продукції з плівкового пакувального матеріалу, виходячи з його об'єму та технологічно необхідних припусків на з'єднувальні шви;

– вирішити задачу зі знаходження мінімуму функції, що виражає площу пакувального матеріалу, за умови зв'язку між геометричними параметрами паперового пакета, призначеного для пакування сипкої продукції та встановити раціональні значення;

– розробити на основі математичних моделей універсальну методику проектування картонного пакування призматичної форми з різною конструкцією дна і покривки для пакування сипкої продукції для забезпечення результативної економії пакувального матеріалу;

– дослідити конструкцію засобу пакування з гнучкого плівкового матеріалу, отримати математичні вирази для пошуку основного об'єму пакування та об'єму зовнішніх кишень, за результатами дослідження на екстремум функції, що зв'язує площу заготовки гнучкого пакувального матеріалу та об'єм пакування, встановити раціональні значення його геометричних параметрів;

– розробити та дослідити математичні моделі, які відображають залежність об'єму пакування з комбінованих матеріалів на основі картону від раціональних значень ширини, довжини та висоти його корпусу, для розроблення нового ефективного пакування для рідинної продукції.

Об'єкт дослідження – процес проектування та спосіб виготовлення робочих інструментів з криволінійними різальними крайками, проектування матеріалоекономних пакувань з раціональними геометричними параметрами.

Предмет дослідження – методи та засоби створення робочих інструментів з криволінійними різальними крайками для енергоощадного виготовлення поліграфічної та пакувальної продукції, методи оптимізації матеріалоощадних конструкцій пакувань, виготовлених з різноманітних пакувальних матеріалів.

Методи дослідження. Для знаходження аналітичного виразу функцій, що описують криволінійні контури макетів малооб'ємних поліграфічних видань, використано методи побудови інтерполяційних многочленів Лагранжа і Ньютона та сплайн-функцій. Пошук раціональних конструкцій пакувань виконано застосуванням методу дослідження функцій на екстремум та умовний екстремум за допомогою функції Лагранжа. Задачу з математичного описування внутрішнього об'єму пакувань, виготовлених з гнучких пакувальних матеріалів, досліджено за допомогою аналітичного методу формоутворення просторових поверхонь. Для оцифрування дизайнських макетів використано сканер та цифрову камеру, а обробки растрових зображень – комп'ютерні програми Photoshop, Streamline, LifeTrace, AutoCAD. Оброблення даних та розрахунки виконані в програмних пакетах Microsoft Excel, MathCad. Унаочнення процесу виготовлення інструментів з криволінійними різальними крайками реалізовано застосуванням програми тривимірного проектування Solid Works. Візуалізацію процесу вирізування в заготовках криволінійних контурів обертовим ножом створено у програмі 3D Studio.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

вперше:

– отримано математичні залежності між основним об'ємом пакування з гнучкого плівкового матеріалу та об'ємом зовнішніх кишень у вигляді коноїдів за встановлених форм у вигляді еліпса та його складової, отриманих осьовими перетинами пакування взаємно-перпендикулярними площинами, що уможливило обґрунтування раціональних співвідношень його геометричних розмірів;

удосконалено:

– метод сплайн-функцій, які визначаються многочленом 3-го степеня, на основі розв'язання системи рівнянь за допомогою тридіагональної матриці, що забезпечує визначення коефіцієнтів апроксимаційної залежності та отримання координат потрібної кількості точок кривої;

набули подальшого розвитку:

– дослідження довжини дуг кривих, описаних математичними функціями, на основі використання методу інтегрального числення, що забезпечило встановлення значень відносних кінематичних параметрів контакту різальних крайок робочих інструментів та відносної миттєвої потужності, що тратиться засобом на вирізування в матеріалах криволінійних ділянок, описаних різними математичними функціями;

– метод дослідження функцій на екстремум шляхом розроблення математичних моделей, що зв'язують внутрішній об'єм пакування та площу пакувального матеріалу, яка витрачається на формування його внутрішнього корисного об'єму і технологічні припуски для з'єднання в об'ємну конструкцію, на основі яких отримано раціональні геометричні параметри пакувань, виготовлених з різних пакувальних матеріалів, для сипкої (вакуумованої, вільно фасованої) та рідинної продукції.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено методи та засоби проектування та виготовлення інструментів зі складними профілями різальних лез, запропоновано спосіб і пристрій для отримання комплекту інструментів за один технологічний прохід тонкою фрезою. Технічні рішення захищені патентами України № 90748, 99221, 104768, 104770.

Розроблено універсальну методiku проектування раціонального картонного пакування призматичної форми з різною конструкцією дна і кришки для пакування різноманітної продукції, що забезпечує результативну економію пакувального матеріалу. Розроблено методiku розрахунку раціональних (матеріалоекономних) конструкцій пакувань, виготовлених з плівкового, паперового та комбінованого картонного пакувальних матеріалів з урахуванням припусків на технологічні шви.

Результати наукових досліджень з розроблення матеріалоекономного споживчого пакування типу «Дой-Пак» з гнучких пакувальних матеріалів апробовані на міжгалузевому науково-практичному підприємстві «Аріс»

(м. Харків). Виокремлено такі позитивні результати, як ґрунтовна методика встановлення раціональних геометричних параметрів пакування, зручність використання математичних моделей, оперативність отримання кінцевого результату.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес Української академії друкарства. Науковими розробками укомплектовані дисципліни «Цифрова обробка сигналів та зображень», яку вивчають студенти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»; «Основи конструювання та дизайну паковань», «Обладнання для виготовлення паковань», які вивчають студенти спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітнього рівня «бакалавр». За тематикою наукових досліджень студенти спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітнього рівня «магістр» виконують курсові проекти та магістерські роботи.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок полягає в детальному вивченні науково-прикладної задачі, аналізі інформаційних джерел, розробленні методів проектування та виготовлення робочих інструментів з криволінійними різальними крайками для ножичного різання поліграфічних матеріалів, створенні математичних моделей для розроблення методики проектування раціональної конструкції паковань, виготовлених з різноманітних пакувальних матеріалів, практичній перевірці отриманих результатів, формулюванні висновків.

Роботи [5, 6, 9, 18, 26, 29] виконані здобувачем особисто. У спільних публікаціях автору належать такі результати: перевірка необхідних та достатніх умов існування екстремуму функцій [1, 2, 13, 14, 34, 35, 36]; моделювання процесу вирізування криволінійних контурів [4, 7, 8, 15, 27, 28, 31]; опис та апроксимування криволінійних контурів паперово-картонних виробів [10, 11, 12, 30, 32]; визначення площі розгортки пакування [16, 17, 19, 20, 29, 33]; патентний пошук, підготовка формули винаходу [22, 23, 24, 25]; дослідження об'єму зовнішніх кишень паковань з гнучких матеріалів [3, 21].

Апробація результатів дисертації. Наукові результати дисертаційної роботи здобувач наукового ступеня доповідала на: науково-практичній конференції «Математичне моделювання складних систем», 16 травня 2007 р., 12–14 травня 2009 р., Львівський державний інститут новітніх технологій та управління ім. В. Чорновола; Дев'ятому міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові, 20–22 травня 2009 р., НУ «Львівська політехніка»; IV науково-практичній конференції «Пакувальна індустрія (стан та перспективи)», 18–21 травня 2010 р., м. Алушта; міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодні та перспективи», 27–28 верес. 2010 р., Національний університет харчових технологій, м. Київ; науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального

проекування і експлуатації машинобудівних конструкцій», 11–13 жовтня 2010 р., НУ «Львівська політехніка»; V науково-практичній конференції «Пакувальна індустрія (стан та перспективи для харчових продуктів)», 1–2 червня 2011 р., м. Алушта; VII науково-практичній конференції «Пакувальна індустрія (інноваційні технології)», 21–24 травня 2013 р., м. Алушта; II Міжнародній спеціалізованій науково-практичній конференції «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності», 11 вересня 2013 р., Національний університет харчових технологій, м. Київ; III міжнародній науково-технічній конференції ТК-2014, 28–30 травня 2014 р., Луцький національний технічний університет; VIII науково-практичній конференції «Пакувальна індустрія (ринок, інновації, бізнес-практики)», 24–25 вересня 2014 р., м. Київ; IX науково-практичній конференції «Пакувальна індустрія (На шляху до європейських ринків)», 24–25 вересня 2015 р., Київська обл., Броварський р-н, с. Княжичі; X науково-практичній конференції «Пакувальна індустрія (полімерна упаковка для продуктів харчування)», 20–21 вересня 2016 р., Київська обл., Броварський р-н, с. Княжичі; XI науково-практичній конференції «Пакувальна індустрія (технічні рішення в рамках Save Food)», 20–21 вересня 2017 р., Львівська обл., смт Брюховичі; науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів Української академії друкарства в 2008, 2009, 2016 та 2017 роках.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 36-ти друківаних наукових працях, у тому числі: 1 стаття у науковому іноземному виданні; 20 статей опубліковані у наукових фахових виданнях (з них – 4 одноосібно, 2 в наукометричних базах Index Copernicus; 6 – у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій, що включені як додаток до номерів фахового видання); створені автором і за його участі новий спосіб та технічні засоби для виготовлення криволінійних контурів у виробі з паперу та картону захищено 4-ма патентами України; опубліковано 11 праць та тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основна частина дисертації представлена на 122 сторінках, містить 13 таблиць і 57 рисунків. Загальний обсяг роботи становить 196 сторінок, у тому числі 7 додатків на 33 сторінках і список використаних джерел зі 121 найменуванням на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтована актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання дослідження, відображено зв'язок роботи з науковими про-

грамами, планами, сформовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, відзначено особистий внесок здобувача та наведено апробацію результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** обґрунтована потреба в розгортанні наукових досліджень з розроблення ефективних технічних засобів для продукування малооб'ємних видань та засобів пакування з криволінійними зовнішніми формами (рис. 1), оскільки на зовнішньому та внутрішньому ринках відсутнє спеціалізоване обладнання, а традиційне виготовлення різальних засобів є трудомістким. Для створення інструментів з криволінійною різальною крайкою в першу чергу важливо отримати аналітичні функції, що достатньо точно описують форму майбутніх виробів (дизайнерські макети дитячого видання), шляхом апроксимування вихідних даних. Виконано аналіз методів апроксимації функцій. Аналізом наукових досліджень в напрямку розроблення технології та засобів різнопрофільного розділення паперово-картонних матеріалів встановлено, що вони, в основному, стосуються виготовлення розгортки паковань складної конфігурації по периметру.



Рис. 1. Ексклюзивна паперово-картонна продукція

Проаналізовано наукові дослідження з використанням методів проектування тари раціональної форми з різних пакувальних матеріалів. Виявлено, що досліджено раціональні співвідношення геометричних розмірів картонних пачок окремих типів, ящиків з гофрокартону та м'якого пакування вертикального типу з плоским дном.

Обґрунтовано необхідність вирішення задачі з пошуку аналітичних функцій, що описують форму криволінійних контурів ексклюзивних поліграфічних видань, виготовлених за енергоощадною технологією, та потребу створення на основі моделей оптимізаційного синтезу методик встановлення раціональної конструкції широкого діапазону паковань з різних пакувальних матеріалів для

реалізації матеріалоощадного виробництва засобів пакування.

У **другому розділі** викладено методичні та наукові підходи щодо організації енергоощадного виробництва нової за формою поліграфічної продукції з криволінійними зовнішніми контурами, що містить оперативну підготовку післядрукарських технічних засобів, пов'язаної з виготовленням складних за конструкцією інструментів з криволінійними різальними крайками.

Розроблено спосіб і пристрій для встановлення заготовок на столі фрезерного верстата для якісного виготовлення пластинкових інструментів з криволінійними різальними крайками. Тонку металеву пластину 4 (рис. 2)

встановлюють в пази різновисоких лівої 2 та правої 3 призми під кутом β до стола 1. За допомогою гвинтів 7, 8 і притисних планок 5, 6 на них фіксують тонку металеву пластину 4.

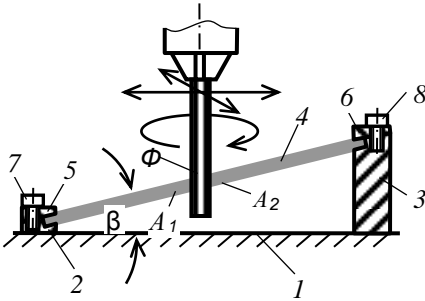


Рис. 2. Принципова схема пристрою для встановлення заготовок на столі фрезерного верстата для виготовлення складних профілів різальних лез інструментів

Механічну обробку складних профілів A_1 і A_2 різальних лез інструментів проводять шляхом фрезерування пластини 4 кінцевою фрезою Φ . Після завершення фрезерування отримують два інструменти, які мають загострені леза під кутом β .

Обробка малооб'ємної поліграфічної продукції ножичним різанням може бути реалізована комплектом інструментів, до якого входять нерухомий та рухомий ніж. Рухомий інструмент може переміщатися прямолінійно (рис. 3 а, б), виконувати обертовий (рис. 3 в) чи хитний (рис. 3 г) рухи. Окрім того, паралельне розміщення інструментів забезпечує обробку продукції одночасно уздовж криволінійного контуру, а зміщення рухомого ножа 2 відносно нерухомого 1 на кут α забезпечує послідовне різання напівфабрикату обмеженим контактом лез з поліграфічним матеріалом.

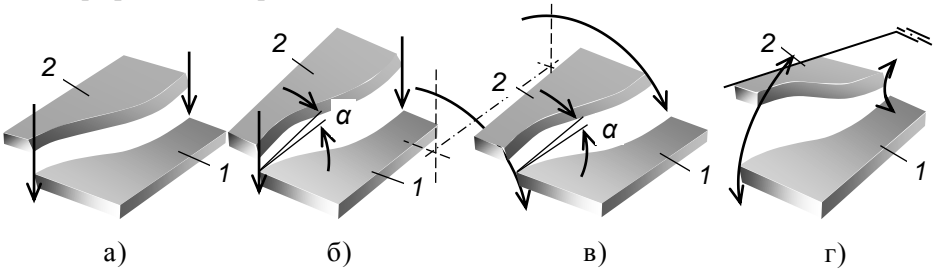


Рис. 3. Схема взаємодії пластинкових інструментів з криволінійними різальними крайками при обробці різанням малооб'ємної поліграфічної продукції нерухомим (1) та рухомим (2) ножами

Досліджено відносні переміщення, швидкість точки контакту різальних крайок інструментів та відносну потужність, що тратиться на вирізування у матеріалах криволінійних контурів, описаних математичними функціями. Виявлено тенденцію збільшення відносної швидкості контакту

різальних крайок інструментів та відносної споживаної потужності для випадків виготовлення у заготовках криволінійних контурів, описаних логарифмічною та тригонометричною функціями (рис. 4).

Розроблено автоматизований пошук аналітичних функцій, що описують форми криволінійних контурів, створених розробниками ексклюзивних малооб'ємних видань. Протягом першого етапу криволінійний профіль дизайнерського рішення (макет) передбачено оцифровувати за допомогою сканера чи цифрової камери. Недоліки отриманого зображення ліквідують за допомогою програми обробки растрових зображень *Photoshop*. Далі растрове зображення слід перетворити за допомогою програми *Streamline*, *LifeTrace* у векторне і зберегти у форматі *.ai* програми обробки векторних зображень *Adobe Illustrator*.

За допомогою цієї програми отримане зображення кривої, за потребою, коректують. Для подальшої математичної обробки векторного зображення кривої передбачено використання спеціальної конструкторської системи *AutoCAD*.

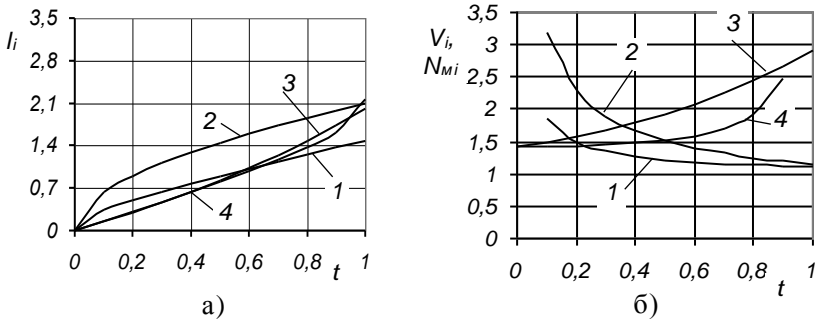


Рис. 4. Графіки залежності відносних параметрів: переміщення (а), швидкості контакту різальних крайок інструментів та миттєвої потужності (б), що тратиться на вирізування у заготовках криволінійних ділянок, описаних математичними функціями:

1 – степеневою, 2 – другого порядку, 3 – логарифмічною, 4 – тригонометричною

Встановлено, що для якісного виготовлення інструментів з криволінійними різальними крайками необхідно в робочу програму вводити координати достатньої кількості проміжних точок, розташованих між вузловими. Рекомендовано їх отримувати за допомогою апроксимування вихідних даних аналітичними залежностями методом сплайн-функцій. За цим методом значення (x_i, y_i) кривої передбачено інтерполювати набором функцій, кожна з яких визначена на окремому інтервалі між двома вузловими точками $[x_{i-1}, x_i]$. При цьому крива сплайн-функції $S(x)$ проходить через усі n вузлові точки і двічі неперервно диференційована на всьому інтервалі.

Запропоновано на i -му інтервалі сплайн-функцію визначати многочленом 3-го степеня:

$$S_i(x) = a_i(x-x_i)^3 + b_i(x-x_i)^2 + c_i(x-x_i) + d_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

а отримання координат потрібної кількості точок кривої – розв'язком системи рівнянь на основі тридіагональної матриці:

$$\begin{bmatrix} b_1 & c_1 & 0 & \dots & 0 \\ a_2 & b_2 & c_2 & \dots & 0 \\ 0 & a_3 & b_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & b_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \dots \\ d_n \end{bmatrix}. \quad (2)$$

У виразі (1) a_i, b_i, c_i, d_i – шукані коефіцієнти.

У **третьому розділі** розроблено універсальну методику проектування картонного пакування призматичної форми з різною конструкцією дна і покривки для пакування різноманітної продукції, що забезпечує результативну економію пакувального матеріалу при раціональному співвідношенні геометричних параметрів.

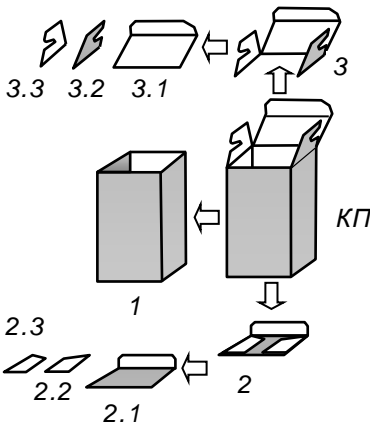


Рис. 5. Схема диференціювання конструкції картонної пачки на складові

У результаті аналізу широкого діапазону типів картонні пачки уніфіковано за конструкцією та функціональним призначенням їх складових елементів. За будь-якої конструкції картонна пачка *КП* (рис. 5) складається з корпусу 1, дна 2 та покривки 3. У свою чергу дно 2 пакування складається із закривного лицевого клапана 2.1 (лицевих клапанів) та бокових 2.2, 2.3. Покривка 3 картонної пачки може складатися з чотирьох чи трьох закривних клапанів (3.1, 3.2, 3.3).

Встановлено послідовність кроків оптимізації геометричних параметрів – ширини (x), довжини (y), висоти (z), розмірів (x_i) складових елементів – картонних пачок призматичної форми з різною конструкцією елементів дна та кришки, суть яких полягає у:

– вираженні їх об'єму через габаритні параметри:

$$V = x \times y \times z; \quad (3)$$

– математичному обґрунтуванні загальної площі пакувального матеріалу, необхідного для виготовлення розгортки:

$$S = S_1 + n_2 \times S_2 + \dots + n_l \times S_l, \quad (4)$$

де $S_1 = f_1(x, y, z)$ – площа корпусу пачки; $S_2 = f_2(x, y)$, ..., $S_l = f_l(x, y)$ – площі складових елементів пачки (тут f_1, f_2, \dots, f_l – вирази для їх розрахунку), n_2, \dots, n_l – кількість однотипних елементів розгортки;

– знаходженні частинних похідних, прирівняних до нуля:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial x} = f_{11}(x, y, z) + n_2 \times f_{21}(x, y) + \dots + n_l \times f_{l1}(x, y) = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial y} = f_{12}(x, y, z) + n_2 \times f_{22}(x, y) + \dots + n_l \times f_{l2}(x, y) = 0; \end{cases} \quad (5)$$

– розв’язуванні системи рівнянь (5), знаходженні раціональних геометричних параметрів картонних пачок і складових елементів:

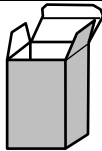
$$x = a_1 \sqrt[3]{V}, \quad y = a_2 \sqrt[3]{V}, \quad z = a_3 \sqrt[3]{V}, \quad x_1 = a_{11} \times a_1 \sqrt[3]{V}, \quad \dots, \quad x_l = a_{l1} \times a_1 \sqrt[3]{V},$$

де a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти, отримані за результатами розв’язування системи рівнянь (5); a_{11}, \dots, a_{l1} – задані коефіцієнти, що виражають геометричні співвідношення складових елементів розгортки.

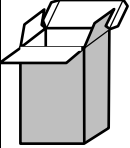
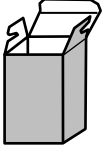
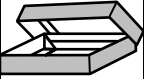
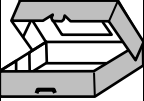
Обґрунтовано значення раціональних геометричних параметрів споживчого пакування різного типу: пачки П-1 з триклапанним дном та покривкою (ГОСТ 12303–80), К 4 та А 07 (європейська система FEFCO-ASSCO); коробки І-10 з покривкою на шарнірі (ГОСТ 12301–81) та J 15 (європейська система FEFCO-ASSCO). Результати розрахунків зведені у таблиці. Окрім співвідношення габаритних розмірів та раціональних параметрів пакування у ній наведено системи рівнянь частинних похідних площі пакувального матеріалу по шуканих параметрах.

Таблиця

Раціональні геометричні параметри споживчого картонного пакування

№ з/п	Тип пакування (діючий стандарт, система)	Зовнішній вигляд	Частинні похідні площі пакування	Раціональні параметри пакування, x y z	Співвідношення габаритних розмірів $y : x : z$
1	2	3	4	5	6
1	Пачка П-1 (пачки з триклапанними дном та покривкою за ГОСТ 12303–80)		$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial x} = z - \frac{V}{x^2} + 3,2x = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial z} = x - \frac{V}{z^2} = 0. \end{cases}$	$0,56(V)^{1/3}$ $1,33(V)^{1/3}$ $1,33(V)^{1/3}$	2,36:1:2,3

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6
2	Пачка К 4 (стандартні коробки і пачки європейської системи FEFCO-ASSCO)		$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial x} = 2y - \frac{V}{x^2} + 3x = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial y} = 2x - \frac{V}{y^2} = 0. \end{cases}$	$\begin{aligned} &0,53(V)^{1/3} \\ &0,97(V)^{1/3} \\ &1,94(V)^{1/3} \end{aligned}$	1,82:1:3,64
3	Пачка А 07 (нестандартні коробки і пачки європейської системи FEFCO-ASSCO)		$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial x} = z - \frac{V}{x^2} + 3x = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial z} = x - \frac{V}{z^2} = 0. \end{cases}$	$\begin{aligned} &0,57(V)^{1/3} \\ &1,32(V)^{1/3} \\ &1,32(V)^{1/3} \end{aligned}$	2,31:1:2,31
4	Коробка І-10 (коробки з покривкою на шарнірі за ГОСТ 12301–81)		$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial y} = z - \frac{2V}{y^2} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial z} = 2y - \frac{V}{z^2} + 6z = 0. \end{cases}$	$\begin{aligned} &1,15(V)^{1/3} \\ &2,29(V)^{1/3} \\ &0,38(V)^{1/3} \end{aligned}$	2:1:0,33
5	Коробка J 15, (нестандартні коробки і пачки європейської системи FEFCO-ASSCO)		$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial z} = 12z + 3y - \frac{2V}{z^2} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial y} = 3z - \frac{4V}{y^2} = 0. \end{cases}$	$\begin{aligned} &1,31(V)^{1/3} \\ &1,747(V)^{1/3} \\ &0,437(V)^{1/3} \end{aligned}$	1,33:1:0,33

Виконано порівняльний аналіз витрат пакувального матеріалу на виготовлення широко використовуваних картонних пачок (три-, чотириклапанних та зі самоскладним дном), геометричні розміри яких отримані в одному випадку шляхом оптимізації, а в іншому – використанням пропорції «золотий переріз». За результатами оптимізації та конструювання пачок з елементами, що відповідають пропорції «золотий переріз», отримано площі шести розгорток. На основі їх порівняння встановлено, що у всіх випадках на виготовлення розгорток із вказаною пропорцією необхідно витратити більше пакувального матеріалу, ніж на розгортки оптимізованого пакування. Найменша різниця площ (0,09 кв. од.) отримана при конструюванні триклапанної пачки, а найбільша (0,24 кв. од.) – чотириклапанної.

Для пошуку раціональних геометричних параметрів транспортної тари обрано ящики типів 0323, 0435, 0718. Встановлено, що раціональні геометричні параметри наведених типів тари з урахуванням матеріалу, що витрачається на бігування, різняться: у плані тара 0323 повинна бути квадратною, а 0435 та 0718 – прямокутною з різними співвідношеннями довжини та ширини. Особливе значення має висота транспортної тари (відносний розмір змінюється в межах 0,19–0,25).

Розроблено математичну модель для обґрунтування раціональних геометричних розмірів паперових пакетів, які виготовляють з екологічно чистих пакувальних матеріалів великими обсягами для пакування сипкої продовольчої та непродовольчої продукції. Найбільш розповсюджені паперові пакети (рис. 6 а) з прямокутним дном, корпусом у вигляді паралелепіпеда та верхнім рукавом, у поперечному напрямку який прошитий нитками чи заклеєний.

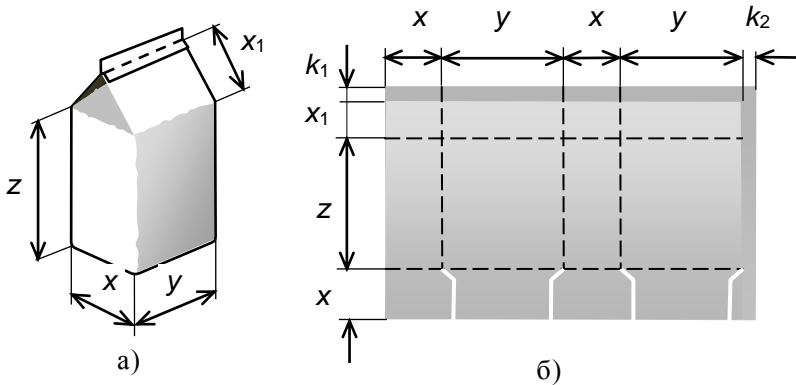


Рис. 6. Паперовий пакет для пакування сипкої продукції: зовнішній вигляд та геометричні параметри (а); схема розгортки (б)

Дослідження полягало у знаходженні мінімуму функції площі пакувального матеріалу $S = S(x, y, z)$ за умови зв'язку між геометричними параметрами $\varphi(x, y, z) = 0$ (тут $x, y, i z$ – відповідно, ширина, довжина і висота корпусу пакета).

Для знаходження умовного екстремуму розглянута функція Лагранжа:

$$L(x, y, z, \lambda) = S(x, y, z) + \lambda \varphi(x, y, z), \quad (6)$$

де λ – множник Лагранжа.

Досліджено функцію на безумовний екстремум за умови існування її екстремуму у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x} = \frac{\partial S}{\partial x} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial y} = \frac{\partial S}{\partial y} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial z} = \frac{\partial S}{\partial z} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = \varphi(x, y, z) = 0. \end{cases} \quad (7)$$

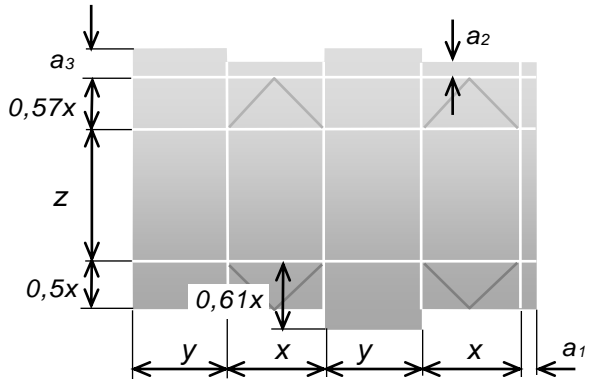
Встановлено, що раціональними значеннями довжини, ширини та висоти паперового пакета є, відповідно, $0,5237V^{1/3}$; $1,1153V^{1/3}$ і $1,5208V^{1/3}$.

У *четвертому розділі* розроблено методику проектування матеріало-економного споживчого пакування на основі використання комбінованого картону, засобів пакування з гнучких полімерних матеріалів. Окрім сипкої, значну частину рідинної продукції пакують у картонну тару, виготовлену з матеріалу на основі картону (рис. 7).

Параметри x і z (рис. 7 б) визначають ширину (довжину) та висоту пакування, a_1, a_2, a_3 – припуски пакувального матеріалу, необхідні для створення поздовжнього і поперечного з'єднувальних швів при формуванні об'ємної конструкції.



а)



б)

Рис. 7. Картонне пакування з квадратним дном для рідинної продукції: зовнішній вигляд (а); схема розгортки (б)

Внутрішній об'єм пакування:

$$V = V_1 + V_2 - 2V_3, \quad (8)$$

де V_1 – об'єм прямокутного корпусу (паралелепіпеда) з квадратною формою основи (дна); V_2 – об'єм прямокутної призми, в основі якої трикутник

(розташованої горизонтально над корпусом); V_3 – об’єм зовнішньої пірамідальної кишені у верхній призмі.

За результатами розв’язання рівняння

$$\frac{dS}{dx} = 7,948x^4 - 4V \cdot x + [0,965a_1 + 2(a_2 + a_3)]x^3 - a_1 \cdot V = 0 \quad (9)$$

отримано значення, на основі яких на рис. 8 побудовані графіки залежності загального та корисного об’єму картонного пакування від раціональних геометричних параметрів його ширини (довжини) та висоти корпусу. У виразі (9) S – площа картонної розгортки.

Як видно з графіків, залежність об’єму (загального та корисного) картонного пакування для пакування рідинної продукції від значення раціональних геометричних розмірів його основи та висоти є нелінійною. Тому важливо ще на етапі розроблення та проектування аналогічного за конструкцією пакування різного за об’ємом враховувати фіксовані раціональні значення розмірів його дна та висоти корпусу, що забезпечить економне витрачання пакувального матеріалу.

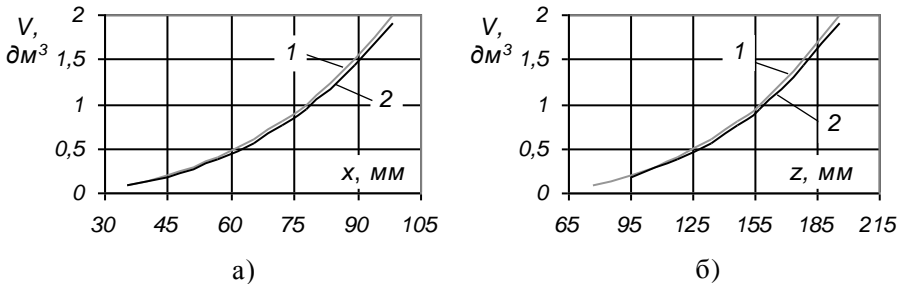


Рис. 8. Залежність загального (1) та корисного (2) об’ємів пакування, виготовленого з комбінованого картону, від його раціональних розмірів: ширини (довжини) (а); висоти корпусу (б)

Обґрунтування раціональних геометричних розмірів картонного пакування з прямокутним дном для пакування рідинної продукції отримано на основі математичної моделі:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial x} = 4,0684x + 2,0342y + 5,0171a - \frac{V}{x^2} \left(2 + \frac{a}{y} \right) = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial y} = 2,0342x + 4a - \frac{V}{y^2} \left(2 + \frac{a}{x} \right) = 0, \end{cases} \quad (10)$$

де a – припуски пакувального матеріалу на поздовжній та поперечний шви для формування об’ємної конструкції пакування.

Розроблена методика визначення геометричних параметрів засобів пакування у вигляді прямокутного паралелепіпеда з вакуумованою сипкою продукцією, використання якої уможлиблює ефективну мінімізацію використуваних синтетичних плівкових пакувальних матеріалів. Вона ґрунтується на використанні математичної моделі:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial x} = 2x + y - \frac{V}{x^2} - \frac{Vk_1}{x^2 y} + 2k_1 + k_2 = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial y} = x - \frac{V}{y^2} - \frac{Vk_1}{xy^2} + k_1 + k_2 = 0, \end{cases} \quad (11)$$

де k_1 і k_2 – припуски пакувального матеріалу, що використовуються для створення поздовжнього, поперечного нижнього і верхнього швів.

Заготовка для гнучкого пакування типу «дой-пак» являє собою частину стрічкового пакувального матеріалу, яка складається з переднього 1 (рис. 9) та заднього 2 елементів, з'єднаних сфальцьованим матеріалом 3 дна. Геометричні параметри такого засобу пакування визначають ширина l , висота h та ширина $2b$.

Після термічного зварювання переднього 1 та заднього 2 елементів уздовж вертикальних бокових та нижніх горизонтальних країв отримують

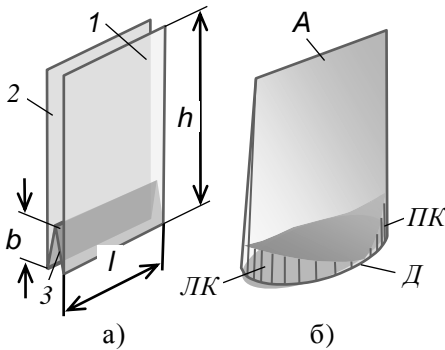


Рис. 9. Пакування з гнучкого матеріалу: конструкція заготовки (а); форма засобу пакування (б)

пакування з прямолінійною горловиною A та дном D за формою еліпса. Окрім того, виготовлення дна пов'язане з формуванням лівої $ЛК$ та правої $ПК$ зовнішніх кишень.

Досліджено внутрішній об'єм пакування з гнучкого матеріалу, виходячи з його геометричних параметрів:

$$V_o = \int_a^b S(x) dx, \quad (12)$$

де $a \leq x \leq b$, а $S(x)$ – неперервна функція, що виражає площу пакування, отриманого умовним його перерізом площиною, перпендикулярною до осі x .

Для обчислення об'єму зовнішніх кишень використано рівняння коноїда у векторному вигляді:

$$\vec{r}(u, v) = \vec{r}_2(u) + [\vec{r}_1(t(u)) - \vec{r}_2(u)]v, \quad (13)$$

де $\vec{r}(u, v)$ – вектор-функція, задана в області на площині u, v ;

$\vec{r}_1(t)$ – радіус-вектор точки напрямної;

$\vec{r}_2(u)$ – радіус-вектор довільної точки на еліпсі.

Здійснено обґрунтування раціональних геометричних параметрів пакування, суть якого полягає у знаходженні площі гнучкого пакувального матеріалу за виразом:

$$S = 4a \cdot b + 2(2a + l) \times \left(V + \frac{2b^2 \cdot l}{3\pi} - \frac{4b^3}{9} + \frac{1}{9} \sqrt{\frac{12b^4 \cdot l^2}{\pi^2} + \frac{24b^5 \cdot l}{\pi} - 20b^6} \right) + \left(\frac{\pi^2 \cdot l \cdot b}{16} + \frac{\pi \cdot b \cdot l}{8} - \frac{\pi^2 \cdot b^2}{12} + \frac{1}{24} \sqrt{3b^2 \cdot l^2 \cdot \pi^2 + 6b^3 \cdot l \cdot \pi^3 - 5b^4 \cdot \pi^4} \right) + 16a^2 + 2b \cdot l + 8a \cdot l. \quad (14)$$

Розв'язуванням системи рівнянь частинних похідних, прирівняних до нуля:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial b} = F_1(b; l) = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial l} = F_2(b; l) = 0, \end{cases} \quad (15)$$

та подальшим аналізом отримано раціональні значення геометричних параметрів: половини ширини b , довжини l та висоти h оптимізованого пакування з гнучкого пакувального матеріалу з урахуванням припусків на технологічні шви.

ВИСНОВКИ

Розв'язано важливу науково-прикладну задачу обґрунтування методів та засобів проектування робочих інструментів з криволінійними різальними крайками для енергоощадного ножичного різання поліграфічної та пакувальної продукції, встановлення раціональних геометричних параметрів матеріалоекономних пакувань, виготовлених з різноманітних пакувальних матеріалів.

1. Обґрунтовано за результатами функціонального аналізу використання ножичного способу розділення поліграфічних та пакувальних матеріалів, що базується на обмеженому контакті різальних лез інструментів з матеріалом, та визнано ефективним для технічної реалізації при виготовленні малооб'ємних видань з криволінійними контурами.

2. Запропоновано спосіб виготовлення робочих інструментів з криволінійними різальними крайками для ножичного різання поліграфічних і

пакувальних матеріалів, що передбачає виготовлення комплекту інструментів з однієї сталеві заготовки у вигляді тонкої пластини за один прохід тонкої кінцевої фрези.

3. Розроблено метод проектування інструментів з криволінійними різальними крайками, що включає процедури оцифрування підготовленого макету майбутнього виробу, фіксування на отриманому об'єкті координат важливих вузлових точок в системі автоматизованого креслення *AutoCAD*, пошуку аналітичної функції, що описує форму криволінійного контуру.

4. Розв'язано задачу оперативного об'єктивного пошуку координат великого числа проміжних точок, розташованих між вузловими, необхідних для якісного виготовлення складних за конструкцією інструментів з криволінійними різальними крайками, шляхом застосування спеціальної програми, розробленою мовою *Pascal* (система *Delphi*).

5. Створено математичні моделі, на базі яких розроблено методику проектування раціональної конструкції вакуумованого пакування для сипкої продукції з плівкового пакувального матеріалу, виходячи з його об'єму та технологічно необхідних припусків на з'єднувальні шви. Встановлено, що для пакування об'ємів у діапазоні 350–950 см³ раціональні значення його ширини знаходяться в межах 44–62 мм, довжини – 76–109 мм, а висоти – 105–142 мм.

6. Розв'язано задачу зі знаходження мінімуму функції площі пакувального матеріалу за умови зв'язку між геометричними параметрами паперового пакета, призначеного для пакування сипкої продукції. Встановлено, що раціональними значеннями його довжини, ширини та висоти є, відповідно, $0,5237V^{1/3}$; $1,1153V^{1/3}$ і $1,5208V^{1/3}$. Економія паперу (за умов річного продукування матеріалоекономних пакетів) склала 180,4 тонн.

7. Розроблено на основі математичних моделей універсальну методику проектування картонного пакування призматичної форми (з різною конструкцією дна і покривки для пакування сипкої продукції), яка забезпечує результативну економію пакувального матеріалу. За результатами дослідження оптимізовано витрати пакувального матеріалу на виготовлення картонних пачок різної конструкції.

8. Дослідженням математичних моделей отримано значення, які відображають залежність об'єму пакування з комбінованих матеріалів на основі картону від раціональних значень ширини, довжини та висоти його корпусу. Результати уможливають розроблення нового ефективного пакування для рідинної продукції та коректування його конструкції, використуваного у торгівельній мережі.

9. Дослідженням конструкції засобу пакування «дой-пак» з гнучкого пакувального матеріалу встановлено, що його осьовими перетинами взаємно перпендикулярними площинами є еліпс та його складова. Отримано математичні вирази для пошуку основного об'єму пакування та об'єму зовнішніх кишень у вигляді коноідів.

10. За результатами дослідження на екстремум функції, що зв'язує площу заготовки гнучкого пакувального матеріалу та об'єм пакування, встановлено, що для його об'ємів у діапазоні 250–2000 см³ раціональні значення його ширини знаходяться в межах 33–64 мм, довжини – 85–174 мм, а висоти – 120–204 мм.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації в іноземних виданнях

1. Regey I.I., Młynko O.I. Minimalizacja wymiarów opakowań produktów sypkich. *Opakowanie*. 2014. № 3. S. 67–69.

Публікації у виданнях, індексованих у наукометричних базах

2. Дурняк Б.В., Млинко О.І. Математичне обґрунтування раціональних геометричних параметрів паперових пакетів для пакування сипкої продукції. *Технологічні комплекси*. 2014. № 1. С. 42–46.
3. Дурняк Б.В., Регей І.І., Млинко О.І. Пакування з гнучких матеріалів (обґрунтування методики дослідження внутрішнього об'єму). *Наукові записки*. 2017. № 1(54). С. 13–21.

Публікації у наукових фахових виданнях України

4. Бабяк Г.Ю., Млинко О.І. Виготовлення клапанів картонних пакувань. *Упаковка*. 2005. № 6. С. 40–41.
5. Млинко О.І. Оптимізація параметрів тари. *Упаковка*. 2006. № 4. С. 34–35.
6. Млинко О.І. Вибір раціональної форми пакування. *Упаковка*. 2007. № 6. С. 34–35.
7. Регей І.І., Коломієць А.Б., Млинко О.І. Виготовлення складних криволінійних контурів у паперово–картонних виробках. *Упаковка*. 2008. № 3. С. 27–29.
8. Регей І., Пушак Я., Млинко О. Математичне обґрунтування складової параметрів процесу вирізування криволінійних контурів у виробках з паперу і картону. *Комп'ютерні технології друкарства*. 2008. № 19. С. 247–252.
9. Млинко О.І. Кінематика процесу виготовлення криволінійних контурів у паперово–картонних виробках. *Упаковка*. 2009. № 1. С. 42–43.
10. Дурняк Б.В., Млинко О.І. Математичне описування форми криволінійних контурів паперово–картонних виробів. *Упаковка*. 2009. № 3. С. 35–37.
11. Регей І.І., Кузнецов В.О., Млинко О.І. Автоматизоване апроксимування криволінійних контурів паперово–картонних виробів. *Упаковка*. 2010. № 1. С. 35–37.
12. Регей І.І., Кузнецов В.О., Млинко О.І. Нова ексклюзивна поліграфічна

- та паперово-картонна продукція (проектування, технологія, засоби виготовлення). *Пакувальна індустрія (стан та перспективи)* : матеріали IV наук.-практ. конф. (м. Алушта, 18–21 трав. 2010 р.). Алушта, 2010. Додаток до часопису «Упаковка». 2010. № 3. С. 73–78.
13. Регей І.І., Дурняк Б.В., Млинко О.І. Складові технологічно-технічної безпеки виробництва паперово-картонної тари. *Пакувальна індустрія (стан та перспективи для харчових продуктів)* : матеріали V наук.-практ. конф. (м. Алушта, 1–2 чер. 2011 р.). Алушта, 2011. Додаток до часопису «Упаковка». 2011. № 3. С. 83–90.
 14. Регей І.І., Млинко О.І. Оцінка ефективності використання пакувальних матеріалів (на прикладі виробництва споживчого картонного пакування). *Упаковка*. 2012. № 1. С. 34–36.
 15. Дурняк Б.В., Регей І.І., Млинко О.І. Альтернативне обладнання для виготовлення друкованої паперово-картонної продукції. *Пакувальна індустрія (інноваційні технології)* : матеріали VII наук.-практ. конф. (Алушта, 21–24 трав. 2013 р.). Алушта, 2013. Додаток до часопису «Упаковка». 2013. № 3. С. 92–99.
 16. Регей І.І., Угрин Я.М., Млинко О.І. Мінімізація витрат пакувальних матеріалів (на прикладі виготовлення пакування для сипкої продукції). *Упаковка*. 2014. № 4. С. 38–40.
 17. Регей І.І., Угрин Я.М., Млинко О.І. Картонне пакування: перспективи «змагання» з пакуванням на основі гнучких матеріалів. *Пакувальна індустрія (на шляху до європейських ринків)* : матеріали IX наук.-практ. конф. (Київська обл., Броварський р-н, с. Княжичі, 24–25 вер. 2015р). Київська обл., Броварський р-н, с. Княжичі, 2015. Додаток до часопису «Упаковка». 2015. № 5. С. 55–61.
 18. Млинко О.І. Картонне пакування для рідкої продукції (обґрунтування раціонального використання пакувального матеріалу). *Упаковка*. 2016. № 4. С. 25–27.
 19. Регей І.І., Угрин Я.М., Млинко О.І. Форма споживчого пакування: економічні та естетичні аспекти. *Пакувальна індустрія (полімерна упаковка для продуктів харчування)* : матеріали X наук.-практ. конф. (Київська обл., Броварський р-н, с. Княжичі, 20–21 вер. 2016 р.). Київська обл., Броварський р-н, с. Княжичі, 2016. Додаток до часопису «Упаковка». 2016. № 5. С. 73–78.
 20. Регей І.І., Бегень П.І., Млинко О.І. Пакування з прямокутним дном для рідкої продукції (обґрунтування раціонального використання комбінованого картону). *Упаковка*. 2016. № 6. С. 46–48.
 21. Дурняк Б.В., Млинко О.І., Бегень П.І. Пакування з гнучких пакувальних матеріалів (оптимізація раціонального співвідношення геометричних параметрів). *Пакувальна індустрія (технічні рішення в рамках Save*

Food) : матеріали XI наук.-практ. конф. (Львівська обл., смт Брюховичі, 20–21 вер. 2017 р.). Львівська обл., смт Брюховичі, 2017. Додаток до часопису «Упаковка». 2017. № 5. С. 80–85.

Патенти на винахід

22. Інструмент пристрою для виготовлення розгортки складної конфігурації по периметру: пат. 90748 Україна: МПК(2009) В 31 В 1/00, В 26 F 1/38. І.І. Регей, О.І. Млинко. № а200804103; заявл. 01.04.2008; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10. 3 с.
23. Пристрій для розрізування стрічки на аркуші з профільованими контурами: пат. № 99221 Україна: МПК(2006.01) В26D 1/34, В26 D 1/10. І.І. Регей, О.І. Млинко, Ю.В. Ватуляк. № а201106836; заявл. 31.05.2011; опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14. 4 с.
24. Спосіб виготовлення складних профілів різальних лез інструментів і пристрій для установки заготовок на столі фрезерного верстата: пат. 104768 Україна: МПК(2014.01) В23С 3/00, В23Q 3/06. І.І. Регей, А.Є. Стецько, О.І. Млинко, Р.І. Регей. № а201202515; заявл. 02.03.2012; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 3 с.
25. Пристрій для виготовлення паперово-картонної продукції складної конфігурації по периметру: пат. 104770 Україна: МПК(2014.01) В31В 1/00, В26F 1/38. І.І. Регей, О.І. Млинко, А.В. Кушка, Р.І. Регей. № а201202865; заявл. 12.03.2012; опубл. 11.03.2014. Бюл. № 3. 3 с.

Праці та тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій

26. Млинко О.І. Обґрунтування вибору раціональної форми картонного пакування. *Математичне моделювання складних систем* : матеріали наук.-практ. конф. (м. Львів, 16 трав. 2007 р.). Львів, 2007. С. 100–101.
27. Регей І.І., Коломієць А.Б., Млинко О.І. Обґрунтування параметрів за собу виготовлення криволінійних зовнішніх контурів у паперово-картонних виробках. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів* : тези доп. (м. Львів, 5–8 лют. 2008 р.). Львів, 2008. С. 14.
28. Регей І.І., Млинко О.І. Вплив виготовлення криволінійної форми елементів розгортки на силове навантаження приводу. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів* : тези доп. (м. Львів, 3–6 лют. 2009 р.). Львів, 2009. С. 4.
29. Млинко О.І. Дослідження можливості використання апроксимуючих функцій для описування криволінійних контурів паперово-картонних виробів. *Математичне моделювання складних систем* : матеріали наук.-практ. конф. (м. Львів, 12–14 трав. 2009 р.). Львів, 2009. С. 44.
30. Кузнецов В.О., Угрин Я.М., Млинко О.І. Математична інтерпретація форми

- криволінійних контурів поліграфічної продукції та засобів пакування. *Дев'ятий Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові* : праці (м. Львів, 20–22 трав. 2009 р.). Львів, 2009. С 193–194.
31. Регей І.І., Кузнецов В.О., Млинко О.І. Нова технологія та засоби для виготовлення ексклюзивної паперово-картонної продукції. *Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогоднішня та перспективи* : тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 27–28 вер. 2010 р.). Київ, 2010. С 95.
 32. Коломієць А.Б., Кузнецов В.О., Млинко О.І. Обмін інформацією між програмними пакетами при розрахунку і проектуванні пакувального обладнання. *Теорія та практика раціонального проектування і експлуатації машинобудівних конструкцій* : праці наук.-техн. конф. (м. Львів, 11–13 жовт. 2010 р.). Львів, 2010. С. 123–125.
 33. Регей І.І., Млинко О.І. Матеріало- та енергоощадні резерви у виробництві паперово-картонної тари. *Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності* : матеріали II міжнар. спеціаліз. наук.-практ. конф. (м. Київ, 11 вер. 2013 р.) Київ, 2013. С. 48–49.
 34. Регей І.І., Млинко О.І. Мінімізація витрат пакувальних матеріалів у виробництві паперово-картонного пакування для пакування сипкої продукції. *Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів* : збірн. наук. праць III міжнар. наук.-техн. конф. ТК-2014. (м. Луцьк, 28–30 трав. 2014 р.). Луцьк, 2014. С. 60–61.
 35. Регей І.І., Млинко О.І. Обґрунтування раціональних геометричних параметрів картонного пакування для рідкої продукції. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів* : тези доп. (м. Львів, 16–19 лют. 2016 р.). Львів, 2016. С. 3.
 36. Регей І.І. Млинко О.І. Картонне пакування з прямокутним дном для пакування рідкої продукції (обґрунтування раціональних розмірів). *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів* : тези доп. (м. Львів, 14–17 лют. 2017 р.) Львів, 2017. С. 3.

АНОТАЦІЯ

Млинко О.І. Удосконалення процесів виготовлення поліграфічної та пакувальної продукції з використанням матеріалоощадних технологій. – На правах рукопису.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва. – Українська академія друкарства, Львів, 2018.

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу обґрунтування методів та засобів проектування робочих інструментів з криволінійними різальними крайками для енергоощадного ножичного різання поліграфічної та пакувальної продукції, встановлення раціональних геометричних параметрів матеріалоекономних паковань, виготовлених з різноманітних пакувальних матеріалів.

У роботі викладено сучасний підхід до технічної реалізації способу розділення поліграфічних матеріалів, що базується на обмеженому контакті різальних лез з матеріалом, при виготовленні малооб'ємних видань з криволінійними контурами. Запропоновано спосіб виготовлення комплекту робочих інструментів з криволінійними різальними крайками з однієї пластинчастої сталеві заготовки за один прохід тонкої кінцевої фрези.

Створено математичні моделі, на основі яких розроблено методики проектування паковань для сипкої продукції, виготовлених з картону, паперу, полімерної плівки з використанням технології вакуумування, що забезпечує результативну економію пакувальних матеріалів.

Досліджено конструкцію засобу пакування типу «дой-пак» з гнучкого полімерного матеріалу та отримано математичні вирази, на основі яких встановлено раціональні значення його геометричних параметрів. Створено математичні моделі та розроблено методику проектування матеріалоощадного пакування з комбінованого пакувального матеріалу на основі картону для пакування рідинної продукції.

Ключові слова: малооб'ємні видання, криволінійний контур, ножичне різання, пакування, математична модель, раціональні значення.

АННОТАЦІЯ

Млынко О.И. Усовершенствование процессов изготовления полиграфической и упаковочной продукции с использованием материалосберегательных технологий. – На правах рукописи.

Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.01 – машины и процессы полиграфического производства. – Украинская академия печати, Львов, 2018.

В диссертационной работе решена актуальная научно-прикладная задача обоснования методов и средств проектирования рабочих инструментов с криволинейными резальными кромками для энергосберегательного ножичного резания полиграфической и упаковочной продукции, обоснования рациональных геометрических параметров материалоекономных упаковок, изготовленных с различных упаковочных материалов.

В работе изложен современный подход к технической реализации способа разделения полиграфических материалов, базирующийся на ограни-

ченном контакте реальных лезвий инструментов с материалом, при изготовлении малообъемных изделий с криволинейными контурами. Предложен способ изготовления комплекта рабочих инструментов с криволинейными режущими кромками с одной пластинчатой стальной заготовки за один проход тонкой концевой фрезой.

Разработан метод проектирования инструментов с криволинейными режущими кромками, включающий процедуры оцифровывания подготовленного макета будущего полиграфического изделия, фиксирование на полученном объекте координат важных узловых точек в системе автоматизированного черчения *AutoCAD*, поиск аналитической функции, описывающую форму криволинейного контура.

Созданы математические модели, на основании которых разработаны методики проектирования упаковок для сыпучей продукции, изготовленных с картона, бумаги, полимерной пленки с использованием технологии вакуумирования, что обеспечивает результативную экономию упаковочных материалов.

Исследована конструкция средства упаковки типа «дой-пак» с гибкого полимерного материала и установлено, что его осевыми сечениями взаимно перпендикулярными плоскостями являются эллипс и его составляющая. Получены математические выражения для поиска основного объема упаковки и объема внешних карманов в виде коноидов, на основании которых установлены рациональные значения ее геометрических параметров. Созданы математические модели и разработана методика проектирования материалосберегающей упаковки с комбинированного упаковочного материала на основе картона для упаковки жидкой продукции.

Ключевые слова: малообъемные изделия, криволинейный контур, ножничное резание, упаковка, математическая модель, рациональные значения.

ABSTRACT

Mlynko O.I. Improving the processes of printing and packaging products manufacturing using material-saving technologies. – On the right of the manuscript.

A dissertation thesis for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences in specialty 05.05.01 – Machines and Processes of Printing Production. – Ukrainian Academy of Printing, Lviv, 2018.

In the thesis, the actual scientific and applied problem of the justification of methods of designing and manufacturing the working tools with curvilinear cutting edges for energy-saving knife cutting of small volume printing products, the

formation of mathematical models for establishing rational geometrical parameters of material-saving packages made from various packaging materials has been solved.

The thesis presents a modern approach to the technical implementation of the method of separation of printing materials, based on the limited contact of cutting blades with the material in the production of small volume editions with curvilinear outlines. The method of manufacturing a set of working tools with curvilinear cutting edges from a single plate steel work piece in one pass of a thin final milling cutter has been suggested.

The mathematical models have been formed, on the basis of which the methods of design of friable product packages made of cardboard, paper, polymer film with the use of vacuuming technology have been developed, which provides the efficient saving of packaging materials. The construction of doypack packaging from a flexible polymer material has been studied and the mathematical expressions have been received based on which rational values of its geometric parameters have been established. The mathematical models have been formed and the method of designing material-saving packaging from a combined packaging material based on cardboard for liquid product packaging has been developed.

Keywords: small volume editions, curvilinear outline, knife cutting, package, mathematical model, rational values.