Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

С. І. Пустюльга, В. С. Пуць, В. Р. Самостян

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗКРОЮ ПЛИТ ДСП ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕБЛІВ

Монографія

Луцьк 2020

УДК 514.7:519.854

Рекомендовано до друку вченою радою
Луцького національного технічного університету
(протокол № від листопада 2020 р.)

Рецензенти:
Налобіна О.О. доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування
Карпюк П.В., директор ПП «VAM SV»

Пустюльга С.І.
Удосконалення технологічного процесу розкрою плит ДСП для виробництва меблів: монографія / С.І. Пустюльга, В.С. Пуць, В.Р. Самостян – Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2020. 124 с.

Монографія присвячена дослідженню питань підвищення ефективності та економічності технологій розкрою плит на середніх за величиною фірмах із меблевого виробництва (особливо тих, які працюють за індивідуальними замовленнями).

Видання має стати у пригоді працівникам меблевих виробництв, а також студентам та аспірантам спеціальності галузеве машинобудування (обладнання лісового комплексу) вищих навчальних закладів.

ISBN 978-617-672-235-9
© С. І. Пустюльга, В. С. Пуць, В. Р. Самостян 2020

ЗМІСТ	Стор.
ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ ВПРОВАДЖЕННЯ САПР НА ПІДПРИЄМСТВАХ ІЗ ВИРОБНИЦТВА МЕБЛІВ	9
1.1 Автоматизація технологічної підготовки виробництва корпусних меблів	10
1.2 Розкрій матеріалів в автоматизованому меблевому виробництві	29
1.3 Загальна постановка завдання розкрою	34
1.4 Аналіз спеціалізованих програм підготовки технологічної операції розкрою	38
Висновки до 1 розділу	48
2 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ РОЗКРОЮ ЛДСП СТОСОВНО ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ВИРОБНИЦТВА	50
2.1 Використання ручного механізованого інструменту та вертикальних верстатів для розкрою ДСП	52
2.2 Конструкції кругло-пилкових верстатів з кареткою для розкрою ДСП	57
2.3 Критерії підбору кругло пилкових верстатів для невеликих підприємств із індивідуального меблевого виробництва	69
Висновки до 2 розділу	77
3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ КАРТ РОЗКРОЮ ЛДСП НА ПІДПРИЄМСТВАХ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕБЛІВ	79
3.1 Критерії оптимізації і технологічні параметри розкрою ЛДСП	79
3.2 Розробка методики автоматизації розкрою матеріалів	83
3.3 Багатокритеріальна оптимізація розкрою плит ЛДСП для індивідуального меблевого виробництва	88

Висновки до 3 розділу	99
4 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ, УСТАТКУВАННЯ ТА МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗКРОЮ ЛДСП	100
4.1 Удосконалення конструкції розкрійних верстатів шляхом розробки універсальної лінійки для косих різей	100
4.2 Приклад роботи програмного продукту із оптимізації карт розкрою на виробництві	110
Висновки до 4 розділу	116
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	118
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	120

ВСТУП

У сучасних умовах основними напрямами економічної політики України є заходи, спрямовані на підйом реального сектора економіки за рахунок переорієнтації виробництва на потреби населення, використання нових технології, ефективних змін умов праці для працівників підприємств.

З огляду на те, що у виробництві меблів основною сировиною являються плиткові матеріали, то найважливішого значення набуває їх раціональний розкрій. Технологічний процес розкрою плиткових матеріалів на усіх меблевих виробництвах значною мірою визначає собівартість продукції і раціональне використання дорогої сировини.

Розкрій – це операція отримання із плит заготовок потрібних розмірів і кількості з максимально можливим корисним виходом. Широке застосування плит у меблевій промисловості, зробило цю операцію однією із тих, що визначають ефективність усього виробництва. Так, наприклад, витрати на матеріали у собівартості будь-якого елемента модульного типу складають від 65 до 70%.

У той же час відходи, що утворюються від розкрою плит, досягають 12%. Враховуючи, що вартість матеріалу в собівартості виробництва меблів висока, зниження витрати матеріалів і підвищення виходу панелей у процесі розкрою плит є надзвичайно важливою проблемою.

Актуальність цієї проблеми зросла, особливо в наші дні, у зв’язку із гострою потребою виробництва якісних меблів як для населення, так і для офісних приміщень фірм, що активно розвиваються і, як правило, постійно оновлюють дизайн своїх приміщень [5].

Представлена монографія присвячена дослідженню питань підвищення ефективності та економічності

технологій розкрою плит на середніх за величиною фірмах із меблевого виробництва (особливо тих, які працюють за індивідуальними замовленнями).

Одним із важливих моментів раціональної експлуатації кругло-пилкових верстатів на меблевих підприємствах є оптимізація плану розкрою плит за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Дослідження у цій області дозволять розробити, оптимальні підходи до вирішення завдань розкрою із максимальною адаптацією до умов конкретного виробництва.

Побудова оптимальних карт розкрою матеріалу є одним із найбільш трудомістких етапів будь-якого виробництва. У той же час якісне виконання такого процесу є достатньо важливим для усіх галузей промисловості, оскільки безпосередньо веде до економії матеріалу та зниження відходів, що у свою чергу є певним гарантом економічної прибутковості.

На сьогодні, для вирішення завдання ефективного розкрою матеріалу активно використовуються усі можливості сучасних ПК. Це дозволило значно прискорити та спростити процес генерації карт розкрою у порівнянні із неавтоматизованими методами [2], [7], [8]. Особливо активно програми для генерації карт раціонального розкрою матеріалів впроваджуються на підприємствах із проектування та виробництва меблів під індивідуальні замовлення. Пов’язано це передусім із тим, що завдання розкрою для таких підприємств відноситься до одиничних завдань, а отже є найгострішою проблемою налаштування ефективного і прибуткового виробництва.

Відома значна кількість спеціалізованих програм розкрою, що активно застосовуються на меблевому виробництві. Практично всі вони в більшій або меншій мірі є уніфікованими програмами створення карт розкрою,

що поєднують у собі оптимальність розташування контурів деталей в заданих габаритах вихідного матеріалу, із потрібною швидкістю розрахунку. В основу роботи більшості цих програм покладено підхід із використання певних математичних алгоритмів, що дозволяють ефективно провести розкрій із мінімальною кількістю відходів.

Однак, виходячи із особливостей саме одиничного меблевого виробництва, оптимальним варіантом слід визнати такий автоматизований підхід до формування карт розкрою матеріалів, який дозволив би виробнику враховувати якнайбільше критеріїв оптимізації розміщення елементів, гнучко керувати пріоритетами важливості їх врахування, формувати оптимальні карти відповідно технологічним можливостям устаткування, що працює на даному виробництві (параметри пил, степінь свободи і поворотність столів, наявність спеціальних пристосувань для фіксації листів і т. і.). Врахування вищенаведених виробничих функцій жодна із перелічених програм забезпечити не здатна. Від так, актуальними є дослідження по удосконаленню існуючих алгоритмів розв’язання оптимізаційних задач розкрою, які можна віднести до багатокритеріальних задач лінійного програмування.

Упродовж останніх 50 років дослідженням в області розкрою і розробки нових алгоритмів генерації карт укладання плоских деталей на листах відповідного розміру було присвячено безліч вітчизняних і зарубіжних робіт, наприклад [19]-[27]. Огляд цих робіт показав, що в них ставилися та вирішувалися питання оптимізації розкрою листових матеріалів на елементи, як правило прямокутної форми, тільки за одним критерієм. Аналіз літературних джерел вказав на відсутність загального підходу та алгоритмів розв’язання саме багатокритеріальних задач

розкрою із визначеними коефіцієнтами впливу різних критеріїв.

З іншого боку є проблеми із алгоритмами оптимізації карт, коли елементи розкрою мають геометричну форму відмінну від прямокутної. У цій монографії узагальнено підхід до розв’язання багатокритеріальної задачі оптимізації розкрою із елементами, що мають відмінну від прямокутної геометричну форму, оскільки це є важливою проблемою саме одиничного виробництва.

Дана монографія ставить за мету, на основі аналізу відомих програм проектування меблів та програм розкрою плит ЛДСП, конструкцій верстатів для розкрою, сучасних технологій підготовки виробництва меблів розробити ефективну методику багатокритеріальної оптимізації розкрою плит на підприємствах із виготовлення меблів за індивідуальним замовленням. На основі розроблених алгоритмів запропонувати програмний супровід розрахунків. Для забезпечення практичного виконання поставлених завдань оптимізації провести удосконалення конструкції кругло-пилкового верстата.

1 АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ ВПРОВАДЖЕННЯ САПР НА ПІДПРИЄМСТВАХ ІЗ ВИРОБНИЦТВА МЕБЛІВ

Кінцева мета комплексної автоматизації будь-якого підприємства полягає в оптимізації двох складових його діяльності: процесів виконання виробничих обов’язків кожним фахівцем і інформаційних зв’язків між процесами, фахівцями і підрозділами [4].

Автоматизація проектних операцій дозволяє підвищити швидкість і якість (безпомилковість) реалізації процесів обробки і передачі інформації, що і зумовлює показники ефективності впровадження САПР. Іншими словами, робота будь-якого спеціаліста, що бере участь у виробничому проекті, оцінюється двома ключовими кількісними показниками: часом виконання проектної операції і кількістю суб’єктивних помилок, внесених при цьому в проект [12].

Особливо це важливо для підприємств, що займаються виробництвом меблів. Адже перехід їх на якісно новий, надсучасний рівень роботи, а саме це і припускає впровадження комплексної САПР, неможливий без кардинальної реконструкції організаційної структури підприємства. Характер, напрям і глибина подібної реконструкції визначаються вибраною платформою автоматизації.

Саме тим, якою мірою САПР дозволяє вирішити вказане вище протиріччя, і визначається ефективність автоматизації. Аналіз результатів впровадження автоматизованих систем на ряді меблевих підприємств показав, що її функціональність достатня для реального скорочення часу виконання замовлень при одночасній мінімізації кількості помилок, викликаних людським чинником.

Передусім, це стосується технологічної підготовки виробництва, як найважливішого етапу життєвого циклу виробу [7,8]. Особливе місце при цьому відведено автоматизованому оптимальному розкрою плит, оскільки вартість матеріалів у собівартості продукції підприємства займає найбільшу частку.

Процес розпилювання, при якому листи ЛДСП розкроюються у визначеному розміром діапазоні, має також найважливіше значення для подальшої роботи з цим матеріалом. Саме тому розкрій виконують професійними верстатами, як правило із електронним управлінням, на основі заздалегідь складеної карти розкрою. Тільки такий підхід дає оптимальні результати.

При розкрою елементів меблів за індивідуальними параметрами, з використанням професійно розроблених карт та сучасного устаткування, підприємствам вдається досягти значних успіхів, а саме [5]:

- істотно прискорити процес створення деталей і заготовок із плиткових матеріалів;
- забезпечити безпечне різання кромок як по прямій, так і по криволінійним траєкторіям;
- використати при різанні можливості для створення елементів із будь-якими параметрами викривлення;
- задати точне дотримання заданого кута при розділенні листа по діагоналі;
- заздалегідь задати усі бажані параметри за допомогою використання однієї із сучасних комп’ютерних програм.

1.1 Автоматизація технологічної підготовки виробництва корпусних меблів

Основою автоматизації підприємства є формування єдиного інформаційного простору, що охоплює усі

проектно-виробничі операції. Це дозволяє у процесі конструювання врахувати цілий ряд технологічних вимог і реалізувати елементи паралельної стратегії проектування [21]. Впровадження САПР дозволяє формувати ряд паралельно оброблюваних потоків інформації, основні з яких спрямовані на виконання наступних операцій:

- конструювання виробів і комплектів меблів;
- розкрій плиткових і погонних матеріалів;
- розробка програм, що керують верстатами з ЧПУ;
- розрахунок техніко-економічних показників;
- формування документів для матеріально-технічного забезпечення виробництва;
- нормування матеріальних і трудових витрат;
- формування інформаційних масивів для автоматизованих систем управління проектними роботами.

Автоматизація виробництва має три основних мети:

- скорочення трудомісткості процесу, яке необхідне для зменшення кількості задіяних фахівців і, відповідно, собівартості виробів;
- скорочення термінів проектування, що є основою отримання конкурентних переваг за рахунок швидкої реалізації проектів;
- підвищення якості рішень, що приймаються, і технологічних процесів, що розробляються.

Аналіз ефективних САПР для виробництва меблів показав на необхідність наявності цілого ряду складових: сучасного обладнання та устаткування, сучасних програмних продуктів для автоматизації процесу створення дизайну виробу, процесу його проектування, підготовки виробництва, розкрою матеріалів, економіки і фінансів проекту, менеджменту і звісно – кваліфікованих робітничих та інженерних кадрів. Саме друга складова, тобто використання на підприємстві спеціалізованих програм, прискорює процес підготовки комплекту

кошторисної, бухгалтерської і графічної документації більш ніж у 10 разів (в порівнянні з ручною працею) [13,14].

Від так, необхідно проаналізувати існуючі основні програмні продукти і виокремити їх переваги та недоліки стосовно специфіки застосування для кожного конкретного меблевого виробництва.

Програма «Об'ємник - меблеве підприємство».

При першому знайомстві з програмою відразу стає зрозумілим, що програма достатньо сучасна і просунута. Працює на Windows, MacOS і Linux.

У програмі легко проектувати будь-які меблі. Досить перетягнути потрібні елементи для проекту із правої панелі в робочу зону. Можна також вручну переносити конструкції меблів у зборі, використовуючи функцію зміщення.

Бібліотека програми вже представлена цілим комплексом проектів [2].

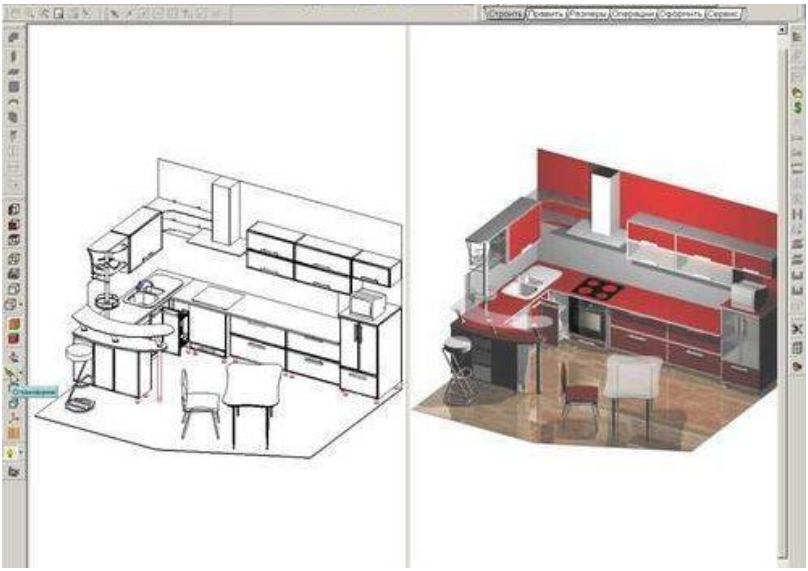


Рисунок 1.1

Це кухні в масиві дерева, у пластику, у рамкових профілях, цікаві гнуті фасади, цілий набір різних шаф-купе, є різні панелі, з яких також складаються меблі. Можна створити будь-яку свою модель або використати готові моделі, із запропонованих розробником. У підсумку документ зберігається у базі замовлень (рис. 1.1), але окрім цього в програмі є так зване CAD-меню, що розширює формати збереження і завантаження 3D-моделей: IGES, STEP, STL, VRML.

Після створення проекту меблів деталі віддаються у розкрій (рис. 1.2). Тут декілька режимів розрахунку, робота із залишками ЛДСП, налаштування товщини різальної частини, поперечного або подовжнього різу.

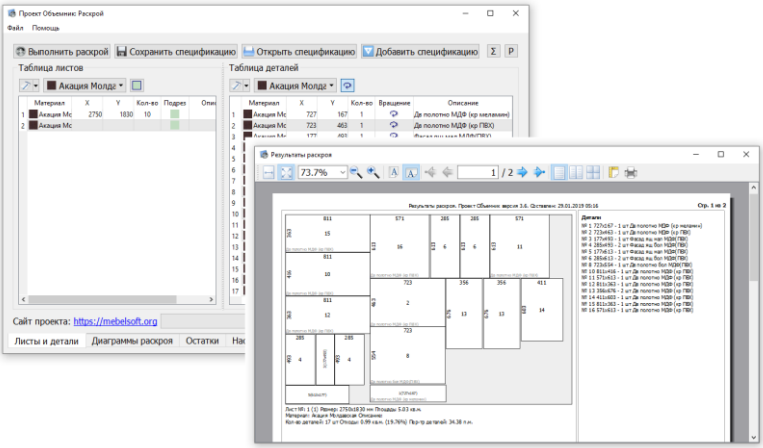


Рисунок 1.2

До **плюсів** даної програми можна віднести:

- легкість в освоєнні без будь-яких спеціальних навичок;
- повна база матеріалів і моделей, додавання своїх матеріалів;
- розкрій в комплекті;
- непогана графіка;
- є складні побудови для просунутих користувачів: створення контурів, поверхонь, віднімання і складання геометричних тіл;
- формати 3D-моделей для додавання у програму і вивід на 3D-принтер або на верстати із програмним управлінням.

Мінуси:

- програма платна, ціна за повний комплект складає близько 150-200 у.о.

Програма «PRO100».

Це програма для проектування меблів із можливістю їх віртуального розставляння в конкретному

інтер'єрі. Вона вважається оптимальним варіантом для роботи із клієнтом.

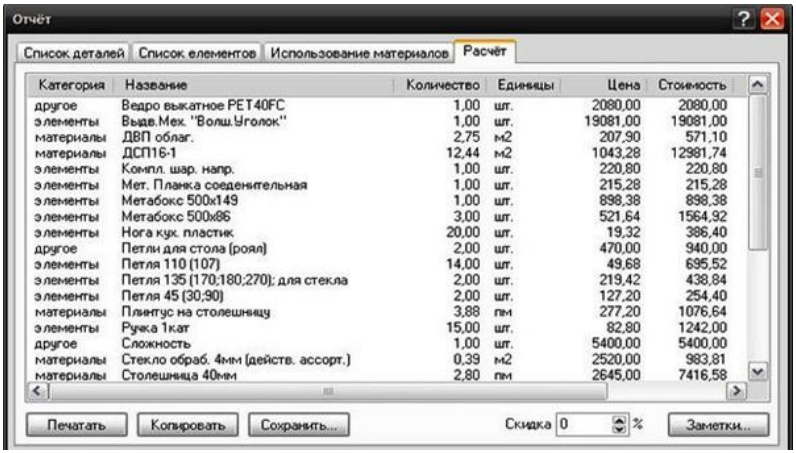
З її допомогою можна скласти список усіх необхідних матеріалів і фурнітури, виконати деталювання виробу із подальшим експортом у програму розкрою, отримати проекції із нанесенням розмірів і можливістю роздрукування у будь-якому зручному ракурсі [8]. Є можливість роботи із складними деталями: із радіусами заокруглень, асиметричними елементами, елементами із косими зрізами.

До **плюсів** програми можна віднести:

- інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, за допомогою якого навіть без спеціального навчання можна розібратися у роботі програми;
- відмінна 3D-візуалізація незамінна як для дизайнера, так і для менеджера із продажу, завдання якого - переконати клієнта тут і зараз, що вибрані ним меблі ідеально впишуться в інтер'єр його квартири (рис. 1.3);
- безліч допоміжних інструментів, за допомогою яких можна швидко побудувати інтер'єр за заданими параметрами і розташувати в нім нові меблі;
- можливість користуватися як готовими модулями (у програмі вже «забиті» стандартні зразки модулів, використовуваних у виробництві корпусних меблів, вікон, дверей і так далі), так і будувати свої власні нестандартні деталі і зберігати їх у каталозі бібліотеки;
- висока якість картинки, максимально наближена до фотографії, включає можливість регулювати інтенсивність освітлення, прозорість матеріалів, наявність тіні і відображень;

- є функція розрахунку передбачуваної вартості майбутніх меблів, для адекватної роботи якої досить правильно настроїти програму, заздалегідь вбивши ціни на фурнітуру, матеріали і інші матеріали (рис.1.4).

Рисунок 1.3



Категория	Название	Количество	Единицы	Цена	Стоимость
другое	Ведро выкатное PET40FC	1,00	шт.	2080,00	2080,00
элементы	Выде.Мех. "Волш.Уголок"	1,00	шт.	19081,00	19081,00
материалы	ДВП облаг.	2,75	м2	207,90	571,10
материалы	ДСП16-1	12,44	м2	1043,28	12981,74
элементы	Компл. шар. напр.	1,00	шт.	220,80	220,80
элементы	Мет. Планка соеденительная	1,00	шт.	215,28	215,28
элементы	Метабокс 500x149	1,00	шт.	898,38	898,38
элементы	Метабокс 500x86	3,00	шт.	521,64	1564,92
элементы	Нога кух. пластик	20,00	шт.	19,32	386,40
другое	Петли для стола (роял)	2,00	шт.	470,00	940,00
элементы	Петля 110 (107)	14,00	шт.	49,68	695,52
элементы	Петля 135 (170;180;270); для стекла	2,00	шт.	219,42	438,84
элементы	Петля 45 (30;90)	2,00	шт.	127,20	254,40
материалы	Плинтус на столешницу	3,88	пм	277,20	1076,64
элементы	Ручка 1кат	15,00	шт.	82,80	1242,00
другое	Сложность	1,00	шт.	5400,00	5400,00
материалы	Стекло обраб. 4мм (действ. ассорт.)	0,39	м2	2520,00	983,81
материалы	Столешница 40мм	2,80	пм	2645,00	7416,58

Рисунок 1.4

Мінуси:

- не має набору «прив'язок» (маркерів, що відмічають потрібні точки, центр предмета, перетин ліній і так далі), за допомогою яких можна точніше позиціонувати деталь;
- немає функціонала для нанесення кромок;
- немає можливості створити карту присадок - креслень із схемами кріплень або свердління отворів в кожній деталі;
- PRO100 програма платна, у вільному доступі можна зустріти тільки версію із обмеженим функціоналом;
- хоча PRO100 позиціонує себе як програма для проектування меблів, вона більше підходить для роботи із клієнтом.

Програма «Базис-мебляр».

Ця програма вважається лідером меблевого софта. «Базис-мебляр» - головний модуль для віртуального створення моделей корпусних меблів будь-якого рівня

складності на професійному рівні [8]. З його допомогою можна скласти повний комплекс креслень, карту розкрою, отримати конкретні рекомендації по установці кріплень, аж до вказівок по облицюванню кромкою панелей.

Програма складається із ряду модулів. «Базис-шафа» - модуль для параметричного проектування - зміни геометричних співвідношень і різних конструктивних схем корпусних меблів. З його допомогою можна отримати повноцінну проекцію шафи за 5-10 хвилин (рис. 1.5).

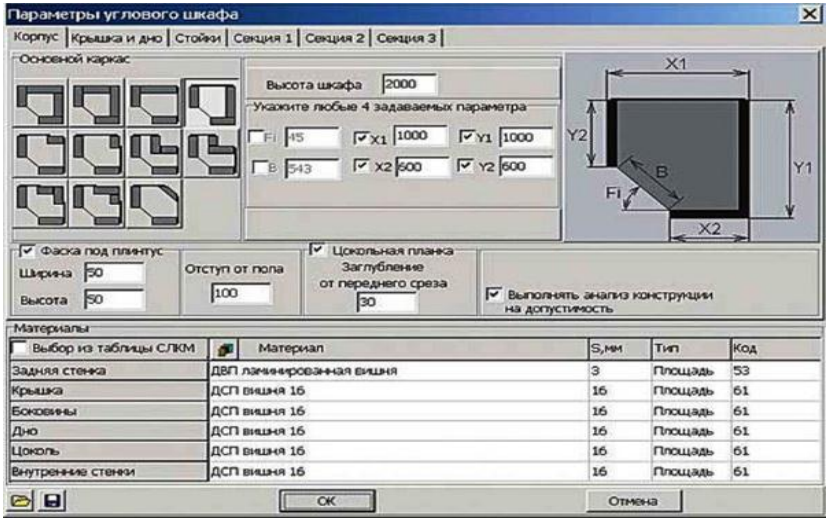


Рисунок 1.5

«Базис ЧПУ» - спеціалізований модуль для розкрою і присадки деталей, змодельованих в основному модулі, на ЧПУ і фрезерно-присадних центрах по виготовленню меблів (рис. 1.6).

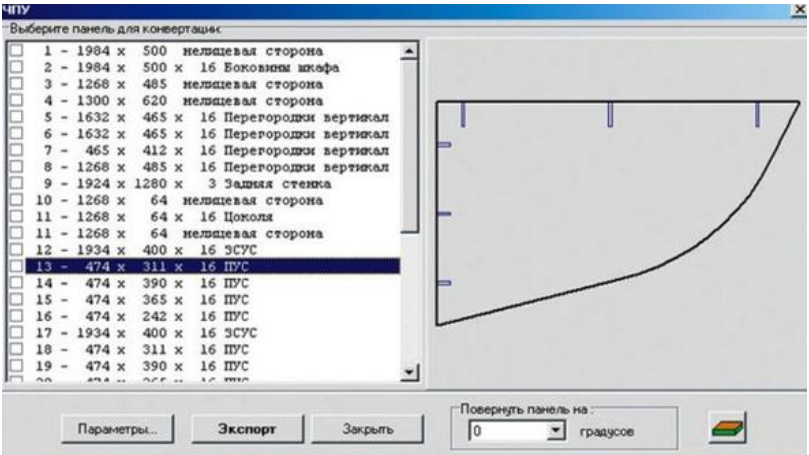


Рисунок 1.6

«Базис-розкрій» - софт для створення карт розкрою за усіма необхідними параметрами: площа і розміри заготовок, кількість різів і їх точна довжина, вихід обрізків, кількість відходів і т. і. (рис. 1.7).

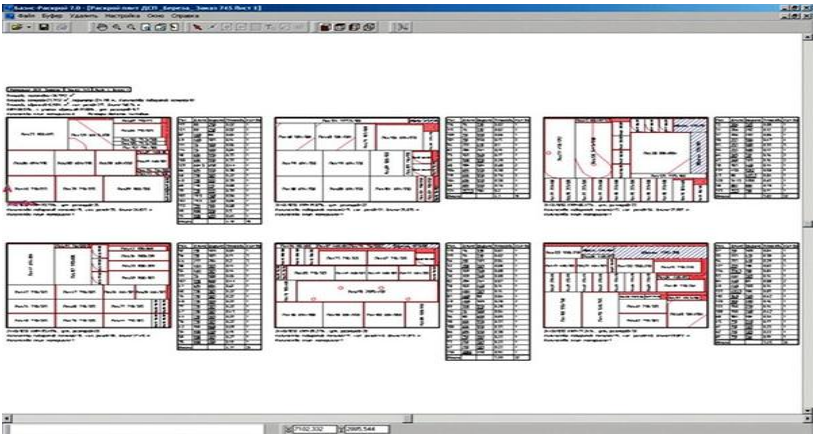


Рисунок 1.7

«Базис-кошторис» - зручний інструмент не лише для розрахунку матеріальних витрат на одиницю

продукції, але і аналізу інтелектуальних, трудових і інших витрат, що виникають у роботі. При правильних початкових налаштуваннях, подальші розрахунки програма робить автоматично (рис. 1.8).

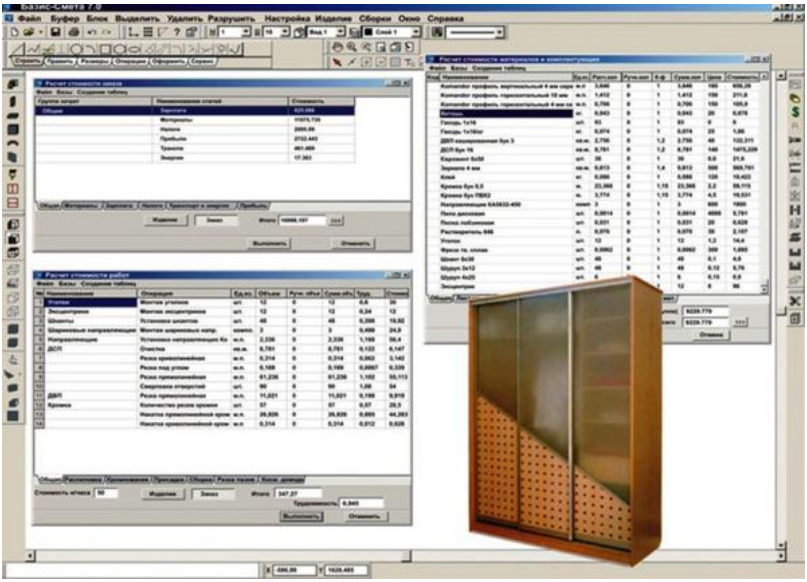


Рисунок 1.8

«Базис-салон» - програма для роботи із замовниками безпосередньо в магазині меблів. Завдяки простому функціоналу продавець швидко створить і представить на розгляд клієнта фотореалістичне зображення майбутнього виробу, розрахує вартість, надасть інформацію про нове замовлення у виробництво (рис. 1.9).

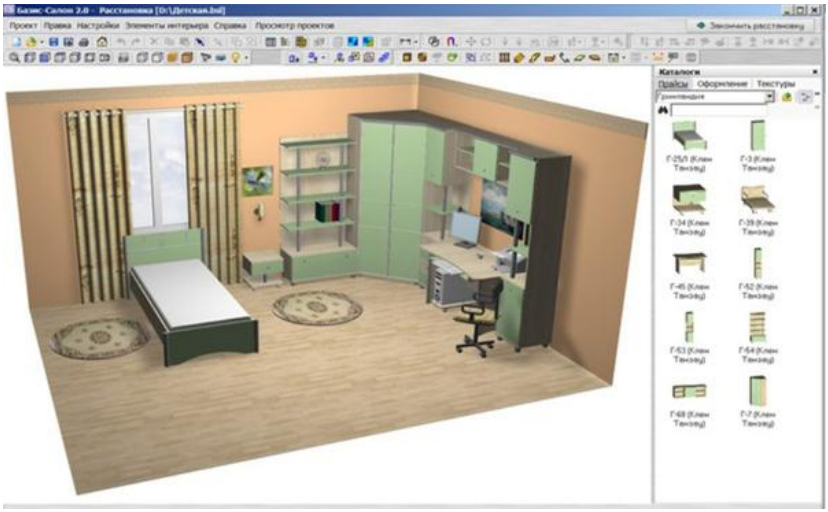


Рисунок 1.9

«Базис-склад» - програма обліку матеріальних цінностей, створює інформацію про прихід-витрату, внутрішній рух, залишки і види матеріалів і т.і. (рис. 1.10).

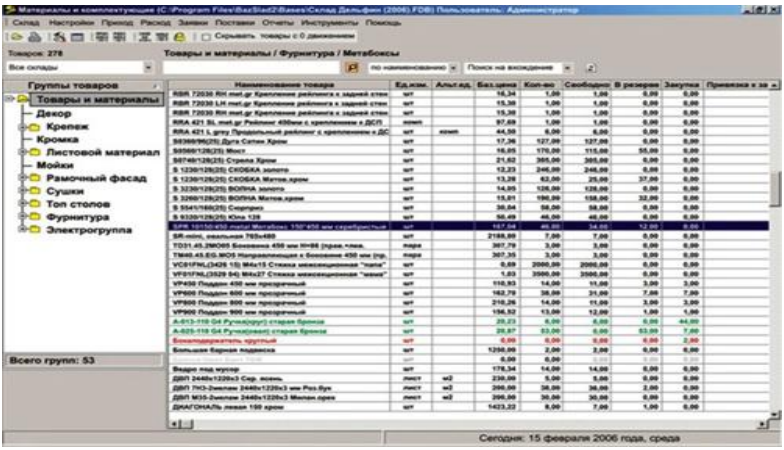


Рисунок 1.10

До **плюсів** «Базис-мебляра» можна віднести:

- відмінний графічний редактор, за допомогою якого можна отримувати професійні креслення і схеми для розкрою (рис. 1.11);
- можливість створення власних бібліотек;
- реалізована функція автоматичної прив'язки маркера;
- є можливість використання певних фрагментів елементів, що часто повторюються, для створення меблевих комплексів;

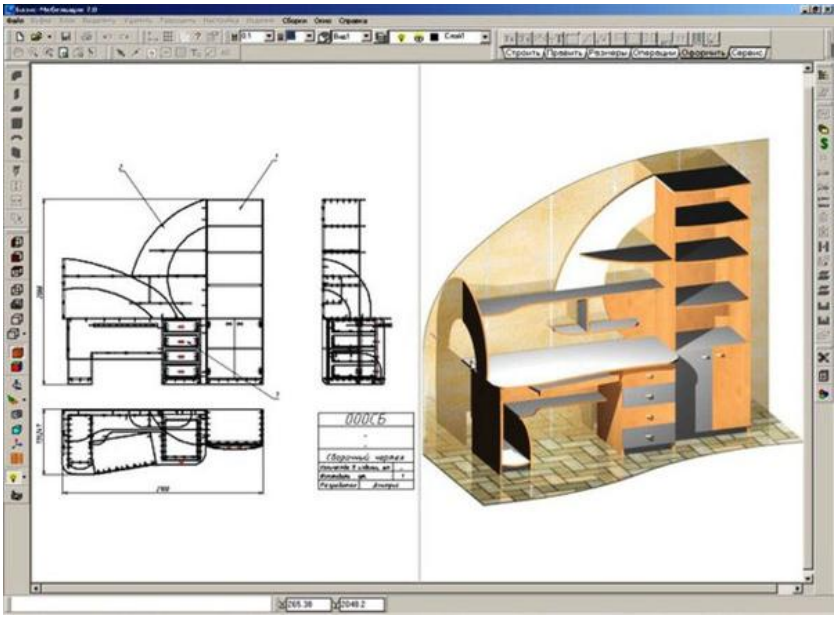


Рисунок 1.11

- зручне розставляння кріплення з можливістю створення аналогових схем (рис. 1.12);
- модулі можуть працювати як автономно, так і в комплексі. З їх допомогою можна максимально оптимізувати робочий час і автоматизувати

виробництво на кожному етапі - від приймання замовлення до видачі готової продукції.

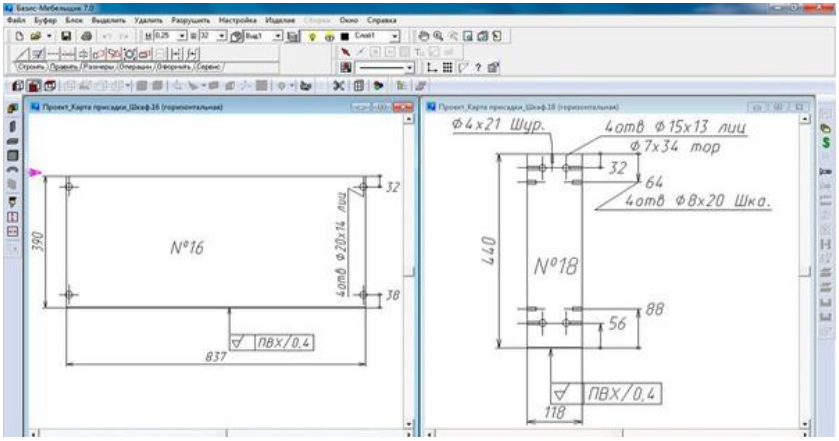


Рисунок 1.12

Мінуси:

- найглобальніший недолік - висока ціна ПО;
- недостатньо хороша візуалізація - програє у порівнянні з функціоналом «PRO100»;
- складність при освоєнні.

Наприклад, щоб виготовити шафу, починати роботу необхідно із віртуальної візуалізації проекту в «Базис-шафі», потім експортувати його «Базис-мебляр», щоб опрацювати складні елементи. Після чого - розрахувати вартість в «Базис-кошторис», створити карти розкрою і присадки в «Базис-розкрій», вивести залишок матеріалу в «Базис-склад».

Програма «WOODY».

Непоганий варіант для проектувальників-початківців і меблярів, які планують виготовляти меблі професійно, але при мінімальному наборі устаткування [5].

До **плюсів** можна віднести:

- максимальна простота в експлуатації, зрозумілий інтерфейс;
- автоматизоване складання специфікацій з розмірами деталей (габаритними і пильними);
- є можливість розрахунку витрати матеріалів в кількісному і вартісному вираженні (рис. 1.13);
- повністю автоматизований процес складання креслення розкрою, який дозволить виготовити меблі без помилок, максимально якісно;
- хороша база матеріалів, фурнітури, кріплень, бібліотеки готових моделей (які при необхідності легко змінюються під свої потреби)
- є функція 3D-дизайну;
- можливість виведення кожної деталі зі схемою розмітки під кріплення і комплексного складального креслення.

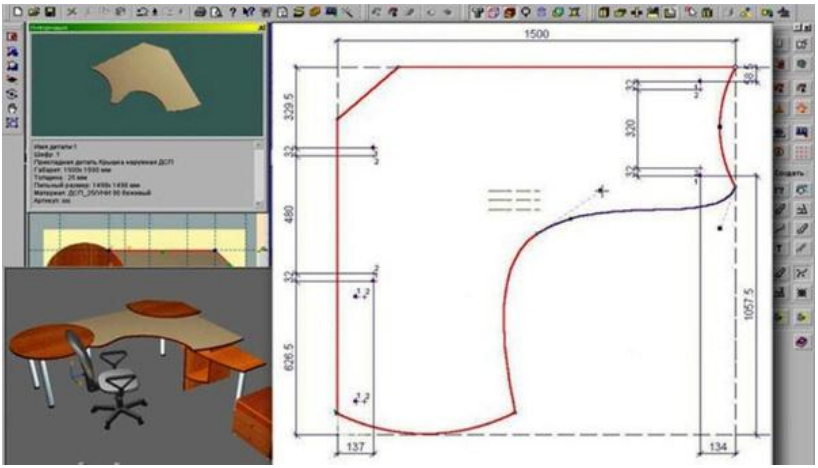


Рисунок 1.13

Недоліки:

Основний мінус такої простої програми дуже значний - вона позбавлена технічної підтримки, тому що розробники продукту відмовилися від розвитку софта. У «**WOODY»** немає ні оновлень, ні нових версій, забезпечення поступово застаріває і вже не сумісно із багатьма операційними системами.

«Астра» - меблевий конструктор.

За допомогою даної програми можна виконувати проектування меблевих комплексів або окремих деталей, зберігати створені проекти в спеціальній бібліотеці, розташовувати віртуально меблі в 3D-інтер'єрі [2].

По суті, це аналог програми «PRO100»: дешевший софт із поліпшеними функціями розкрою і присадки, але з куди меншими можливостями дизайнерського плану.

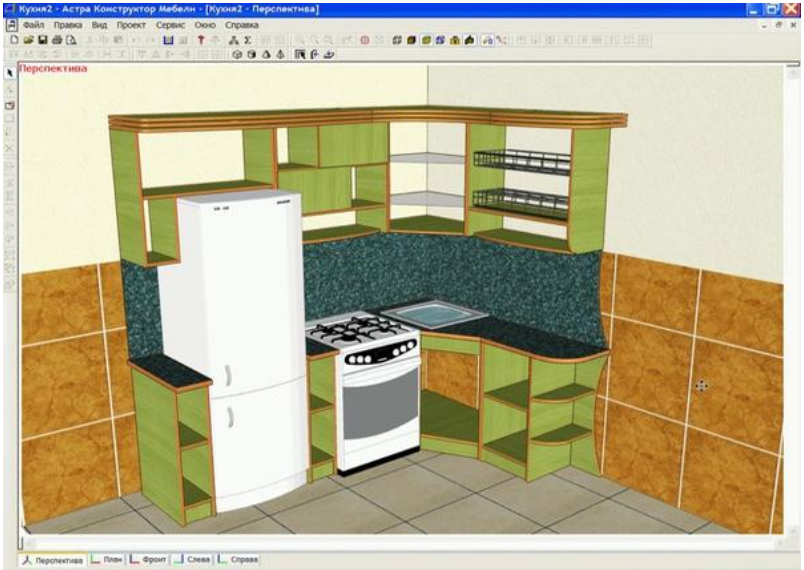


Рисунок 1.14

Програма складається із декількох окремих модулів:
- «Астра-розкрій» - для складання креслень розкрою і карт присадки;
- «Астра-конструктор» - для візуалізації об’єкту;
- «AstraS – Nesting» - для виготовлення складних деталей і розкрою нестандартних форм (рис. 1.14).

Плюси:
- підбір варіантів економного розкрою для мінімізації відходів;
- автоматичне розставляння кріпильних деталей із можливістю ручного коригування;
- можливість нанесення кромки (у версіях 2.0 і вище) - автоматичне формування комплекту креслень (схеми деталей і аксонометричний вид виробу);
- карти розкрою деталей можна складати окремо або виводити на один лист;
- можна розрахувати орієнтовну вартість виробу, враховуючи витрату основних матеріалів.

Недоліки:
- у розрахунках вартості не враховується фурнітура;
- не усі відеокарти підтримують версії бібліотек для програми «Астра-конструктор», внаслідок чого дороге ПО може просто не запускатися або «гальмувати» при роботі;
- досить «скромна» бібліотека готових варіантів, у порівнянні з аналогічною «RPO100»;
- досить складна початкова підготовка - без заповнення і введення попередньої детальної інформації програма не працюватиме.

Програма «Kitchen Draw».

Спеціалізована програма для моделювання і дизайну кухонних меблів, а також - ванних кімнат. Дозволяє створювати складні професійні проекти для нестандартних планувань, дозволяє «побудувати» інтер'єр із нуля до найменших деталей [2]. А типову кухню в ній можна спроектувати за декілька хвилин, скориставшись великими каталогами бібліотек, відкоригувавши розміри і геометрію меблів.

До **плюсів** можна віднести:

- на сьогодні «Kitchen Draw» дає кращу 3D-візуалізацію і якісні псевдо фотографії серед усіх доступних програм-конструкторів;
- автоматичне складання графічного креслення меблів (рис. 1.15);
- автоматичний підрахунок вартості проекту (рис. 1.16);
- швидке моделювання тривимірної сцени (включаючи підбір кольору плитки, створення відблисків і освітленості зон), завдяки великій бібліотеці готових тривимірних моделей;
- є можливість експорту готових креслень в інші програми з деталізацією розкрою.

Рисунок 1.15

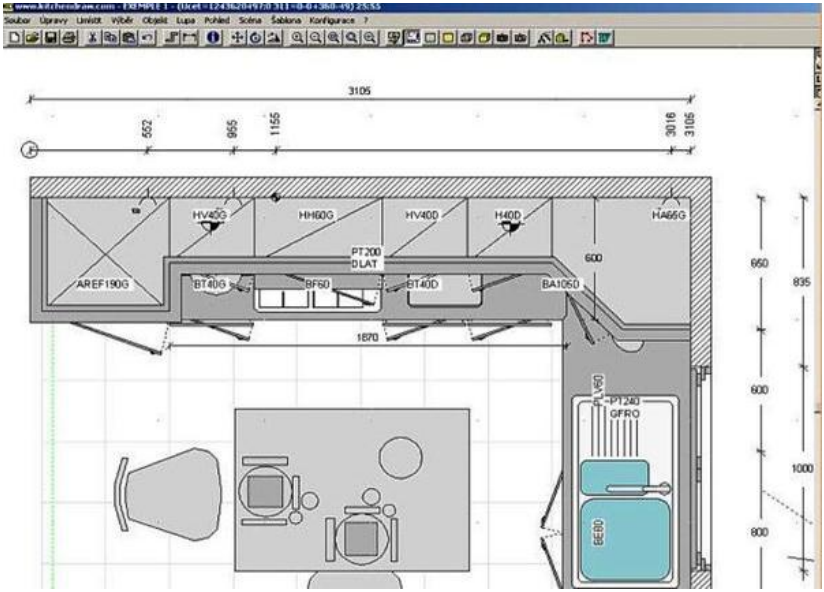


Рисунок 1.16

Недоліки:

- особливість програми: почасова оплата. Тобто, немає певної вартості софта, за використання

необхідно платити рівно стільки, скільки часу програма працювала;
- немає карт розкрою, присадок, можливостей точного розрахунку собівартості і іншої деталізації, необхідної для обліку і безпосередньо для виготовлення меблів.

Проведений у підрозділі аналіз переваг і недоліків спеціалізованих програм показав, що для організації меблевого виробництва на підприємствах малої і середньої потужності, що працюють, як правило, за індивідуальними замовленнями оптимальним продуктом, виходячи із комплексу параметрів (простоти адаптації, ціни, підтримки, можливостей, швидкості створення проекту) є програма «PRO100».

І друге – ефективність реалізації будь-якого проекту залежить від економічності розкрою матеріалів, оскільки саме їх ціна є визначальною при ціноутворенні кінцевого продукту.

1.2 Розкрій матеріалів в автоматизованому меблевому виробництві

Як зазначалося у підрозділі 1.1, завдання розкрою листових (плиткових) на деталі (заготовки) є важливою частиною процесу проектування і виготовлення виробів корпусних меблів і має велике практичне значення. Вона полягає у розміщенні плоских геометричних об’єктів, що відповідають потрібним заготовкам, на листах матеріалу. Роль і значення завдання розкрою матеріалів у меблевому виробництві визначаються трьома основними чинниками, що роблять істотний вплив на усю виробничу діяльність підприємства [5]:

- зменшення відходів матеріалів є найважливішим чинником підвищення ефективності меблевого виробництва;

- технологічність карт розкрою дозволяє зменшити трудомісткість і час виконання технологічної операції розкрою, забезпечуючи ефективне використання устаткування;

- операція розкрою, будучи першою операцією технологічного процесу (рис. 1.17) виготовлення корпусних меблів, багато у чому визначає ефективність роботи виробничих ділянок, що реалізовують подальші операції.

Рисунок 1.17

Ці чинники актуальні для будь-якого меблевого підприємства, незалежно від об’ємів і номенклатури продукції, що випускається, в силу великої питомої ваги матеріалів у собівартості виробів.

З точки зору автоматизації задача оптимізації розкрою має дві особливості, що пояснюють існування великої кількості програм «розкрою» на ринку програмного забезпечення:

- висока трудомісткість ручного формування карт розкрою;
- можливість формалізації математичної постановки задачі розкрою і опрацьованість алгоритмів її рішення.

Як правило, усі існуючі програми призначені для оптимізації розкрою листових матеріалів на деталі (заготовки) прямокутної форми за допомогою прямих наскрізних різей і з урахуванням у разі потреби текстури матеріалів.

Основною метою роботи усіх програм є автоматичне формування карт розкрою матеріалів, якість яких оцінюється наступними параметрами [19]:

- коефіцієнтом використання матеріалу;
- комплектністю отримуваних при розкрою деталей відповідно до обсягу виробництва;
- трудомісткістю виконання технологічної операції розкрою.

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується як відношення суми площ отриманих панелей (щитових елементів виробів корпусних меблів) до суми використаних площ початкових плит. Він може розраховуватися із урахуванням того, що залишки плит (обрізки), не використовувані при розкроюванні деталей цього виробу, але мають достатні розміри і можуть бути використані при виготовленні інших виробів. Крім того, при його розрахунку може враховуватися або не враховуватися операція обрізання краю плити для забезпечення точного базування і ліквідації дефектів.

Комплектність деталей, необхідних для забезпечення плану випуску виробів, у разі інтеграції

програм розкрою до структури САПР забезпечується автоматично при передачі в них моделей виробів із модуля конструювання. При використанні автономних програм розкрою список деталей набирається вручну, що нерідко приводить до помилок комплектації, виправлення яких вимагає істотних витрат.

Трудомісткість виконання розкрою залежить від кількості поворотів заготовок на верстаті і їх ваги, кількості переустановлень упорів і витрат на переміщення оператора в робочій зоні верстата. Найбільш адекватною числовою характеристикою трудомісткості може служити середній час виконання розкрою однієї плити (пачки плит для потужних виробництв). Створення карт розкрою, реалізація яких вимагає мінімальних трудовитрат, є обов'язковою вимогою. На трудомісткість розкрою і подальшої організації технологічного процесу впливають багато виробничих чинників, тобто завдання мінімізації трудомісткості є багатокритеріальним.

Результатом роботи програм розкрою є карти розкрою – графічні схеми, що показують розташування деталей на стандартному форматі плити. Оптимізація розкрою матеріалів є багатокритеріальним завданням, при рішенні якого повинні використовуватися геометричні і технологічні критерії.

Використовувані нині алгоритми розкрою працюють в основному із геометричною інформацією про розміри розкроюваних деталей. Це не дозволяє повною мірою враховувати особливості технологічних процесів на конкретному виробництві.

Виходячи із цього, при створенні сучасних програм розкрою запроваджуються нові алгоритми оптимізації, за допомогою яких можна добитися значно повнішого обліку сукупності геометричних, технологічних і організаційних

особливостей технологічних процесів меблевого виробництва.

Практичне використання розроблених алгоритмів дозволяє знайти та максимізувати збалансовані співвідношення між вимогами економії матеріалів, технологічності карт розкрою і ефективності завантаження усього технологічного устаткування.

Тісна інтеграція модулів конструювання і розкрою матеріалів до структури САПР має особливе значення при роботі із складними виробами, кількість яких на меблевому ринку постійно збільшується [24]. Окрім автоматичного забезпечення комплектності деталей, необхідних для забезпечення плану випуску виробів, вона дозволяє реалізувати три важливі додаткові можливості:

- використання не лише повноформатних плит, але і обрізків, що залишилися від попередніх розкроїв того ж матеріалу, що при належній організації виробництва дає відчутну економію;
- передача в модуль розкрою контурів криволінійних деталей, що є корисним із точки зору їх подальшої маршрутизації;
- автоматичне формування програм, що управляють пильним устаткуванням із ЧПУ, які останнім часом набувають широкого поширення.

При імпорті інформації з моделі виробу робиться автоматичне дворівневе сортування:

- залежно від типу використовуваного матеріалу створюються два списки деталей: з листових матеріалів і з погонних матеріалів;
- усередині кожного списку деталі сортуються по виду матеріалу.

Облицювальні матеріали також включаються у список погонних матеріалів, оскільки їх розкрій може

робитися, наприклад, коли застосовується профіль, який поступає на підприємство у вигляді смуг певної довжини.

При підготовці початкових даних для розкрою необхідно виконати ряд додаткових дій, набір і характер яких визначається параметрами устаткуванням і технологією виготовлення. При використанні інтегрованих в САПР модулів розкрою ці дії виконуються автоматично, оскільки в моделі виробу є присутньою уся необхідна інформація. Наприклад, у разі розкрою листових матеріалів з моделі знімаються і розпилювальні розміри. Слід також зауважити, що деякі типи меблевих верстатів перед облицюванням виконують операцію попереднього фрезерування кромок.

Важливим параметром деталей з точки зору формування оптимальних карт розкрою є напрям текстури матеріалу. Оскільки одним із атрибутів матеріалу в моделі меблевого виробу є вид текстури поверхні, то при імпорті списку деталей її напрям визначається автоматично. При технологічному контролі моделі цей параметр можна коригувати, змінюючи або відключаючи напрями текстури для окремої деталі або групи деталей.

Це тільки декілька прикладів, які показують, що ефективність використання програм розкрою значно підвищується у разі їх об’єднання із програмами конструювання корпусних меблів і організації на підприємстві єдиного інформаційного простору.

1.3 Загальна постановка завдання розкрою

Як правило, середньо статистичне меблеве виробництво не має у своєму арсеналі ліній із вбудованими модулями автоматичного складання карт розкрою. Такі вбудовані модулі розкрою, як правило, досить дорогі і не окуплюються при організації

одиничного виробництва [8]. Якщо використовуване на підприємстві устаткування не може виконувати таку функцію, у рамках технологічної підготовки виробництва вимагається складання карт розкрою листових матеріалів [19]. Вони служать технологічними інструкціями для операторів, що виконують цю операцію, а також несуть у собі інформацію, необхідну для виконання подальших розрахунків, таких як:

- матеріаломісткість виробу;
- корисний вихід матеріалу при розкрою;
- потрібна кількість матеріалу для забезпечення виробництва;
- трудовитрати на виконання операцій із розкрою матеріалу;
- нормування операцій.

Розрізняють розкрій чистових і чорнових заготовок. Якщо після розкрою в процесі подальших операцій розміри деталі не змінюватимуться, доцільно проводити чистовий розкрій. Наприклад, розкрій ДСП, що ламінуються, з подальшою операцією облицювання кромок. Якщо ж подальші операції мінятимуть розміри або форму деталі, виконують чорновий розкрій.

Різниця у розмірах між чистовим розміром і розміром чорнової заготовки називається припуском. Вона визначається складом технологічних операцій, які повинна пройти заготовка після розкрою, параметрами устаткування для виконання цих операцій і видом розкроюваного матеріалу.

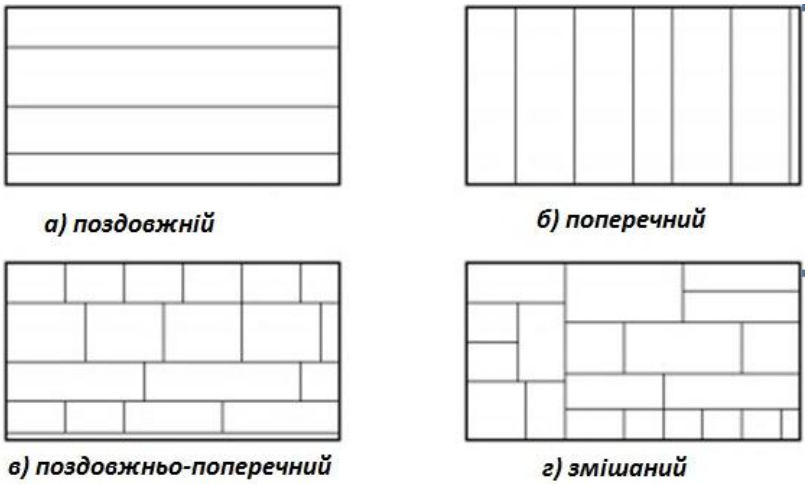


Рисунок 1.18

Карти розкрою - це графічне представлення розташування заготовок на стандартному форматі плити матеріалу. Складання карт розкрою вручну дуже трудомістке, при цьому їх якість значною мірою залежить від досвіду і кваліфікації розробника.

Існують три схеми розкрою: поздовжній, поперечний і змішаний. Поперечний і поздовжній розкрої зустрічаються у самостійному виді дуже рідко. Зазвичай поперечний розкрій є продовженням поздовжнього розкрою, тобто розкрою поздовжніх смуг на заготовки.

Змішаний розкрій поєднує у собі розкрій за двома попередніми схемами і виконується на одному і тому ж верстаті. На рис 1.18 показані можливі схеми розкрою.

Як встановлено у підрозділі 1.1, практично всі САПР корпусних меблів, включають підсистеми розкрою матеріалів, проте у них технологічні критерії оптимізації реально не враховуються. Для сучасних умов виробництва за наявності високопродуктивного пильного устаткування із ЧПУ такий стан справ є незадовільним. Необхідно

враховувати усю сукупність параметрів, що характеризують технологічну і організаційну специфіку конкретного підприємства. Саме такі алгоритми оптимізації і потребують удосконалення або розробки.

Окрім оптимізації розкладки заготовок, програми розкрою матеріалів повинні мати ряд додаткових можливостей [22]:

- фільтрація залишків матеріалів, що утворюються у процесі розкрою, на ділові обрізки, які передбачається використати в майбутньому, і відходи, що підлягають утилізації;
- формування і ведення бази цих матеріалів і обрізків;
- налаштування параметрів оптимізації, основними з яких є ширина різі (товщина різального інструменту), величина обрізання краю плити, обмеження на довжину пропилу, напрям первинного розпилювання плит і кількість розкроюваних виробів;
- ручне редагування карт розкрою;
- налаштування параметрів друку карт розкрою;
- експорт даних в найбільш поширені формати;
- імпорт даних із зовнішніх файлів.

Структура завдання оптимального розкрою матеріалів і її місце в технологічній підготовці виробництва представлені на рис. 1.19.

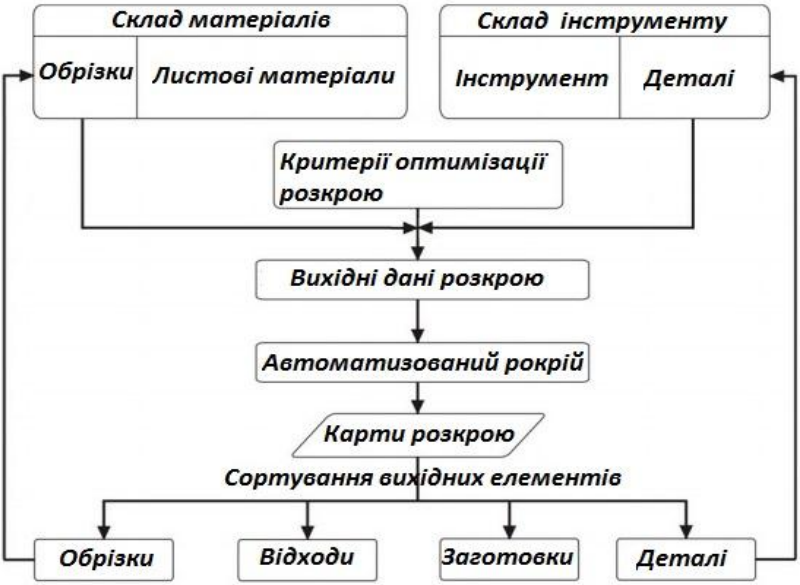


Рисунок 1.19

1.4 Аналіз спеціалізованих програм підготовки технологічної операції розкрою

Як зазначалося вище, оптимізація розкрою різних листових матеріалів виконується у спеціальних програмах, що допомагають безпомилково виконати потрібну роботу і заощадити велику кількість часу на виконанні поставленого завдання. Ряд недешевих спеціалізованих програм проектування меблів (підрозділ 1.1) вже мають вбудовані блоки розкрою.

В інтернеті, у вільному доступі існує безліч програм розкрою ДСП, які пропонують відразу декілька варіантів розкрою. Такі програми можна знайти на профільних меблевих форумах. Як правило, існують три варіанти майбутнього використання даних програм: 1- скачати

програму розкрою на комп’ютер, 2 - створити розкрій ДСП онлайн, 3 - розкрій і замовлення розпилювання ДСП виконати онлайн на сайті меблевої компанії.

Однак, не завжди раціонально вкладати додаткові фінанси на придбання і апаратну підтримку таких програмних спеціалізованих комплексів чи замовляти онлайн розпил. Існують набагато дешевші, а то і безкоштовні варіанти ефективного розкрою матеріалів на заготовки потрібної геометрії за допомогою спеціалізованих і недорогих програм розкрою. Наведемо невеликий список найбільш відомих представників програмного софта розкрою [5].

«Базис-розкрій» є унікальним, сучасним програмним блоком (рис. 1.20), з наочним та зрозумілим інтерфейсом і має потужний математичний алгоритм оптимального розкрою будь-яких матеріалів, що використовуються на меблевому виробництві. Однак, програма «Базис-розкрій» входить у надто дорогий комплекс САПР «Базис-мебляр» і окремо не реалізується.

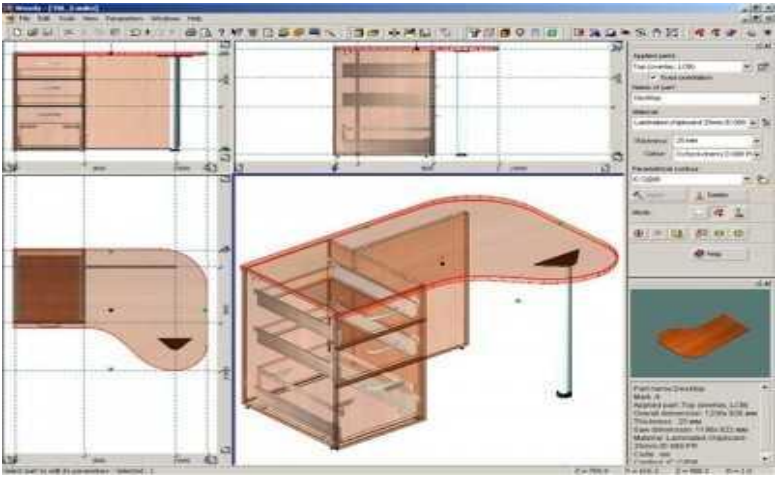


Рисунок 1.20

Програма **«Астра-Д»**. Вона призначена для автоматизованого розкрою дерево-стружкових плит (рис. 1.21).

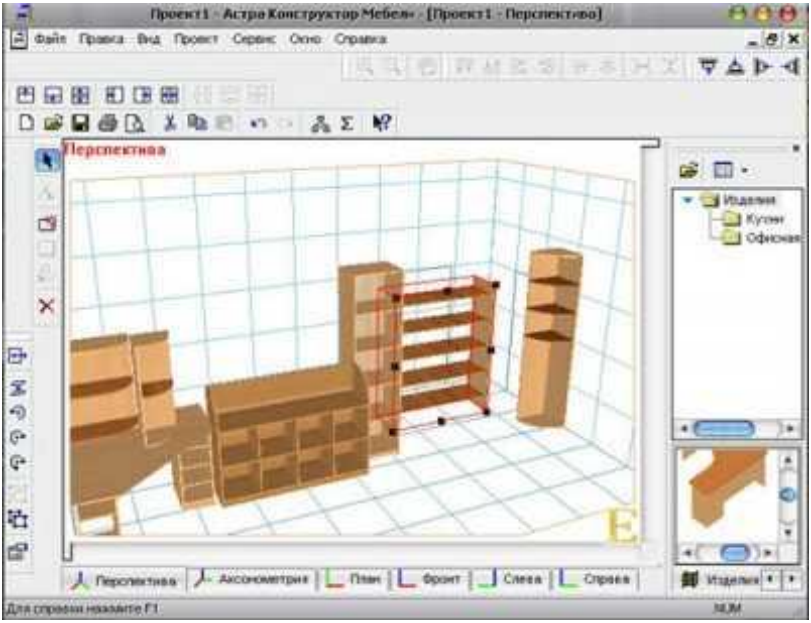


Рисунок 1.21

Також, її використовують при розкрої і інших матеріалів, таких, як пластик, скло, метал та інші. Крім того, програма «Астра-Д» підвищує ефективність і скорочує час, який витрачатиметься на формування карти розкрою. Програма розроблена для оперативної системи Windows. Користувач без особливої підготовки зможе освоїти роботу в цій програмі і розібратися із функціями меню.

Програма **«BestCut»**. Ця програма призначена теж для полегшення завдання, які пов’язані з розпилюванням дерево-стружкових плит, розрахунками ціни матеріалів і

робіт. З її допомогу можна отримати схему розкрою дерево-стружкової плити і устаткування, яке застосовуватиметься при цій процедурі (рис. 1.22). Також, ця програма дозволяє отримувати точні карти розкрою листів дерево-стружкової плити на прямокутні деталі. Важливим фактом позитиву програми є і те, що вона враховує особливості, з якими доводиться зіштовхнутися у процесі обробки листів дерево-стружкової плити. Інтерфейс програми може підтримуватися через локальну мережу, і це теж досить зручно для виробництва.

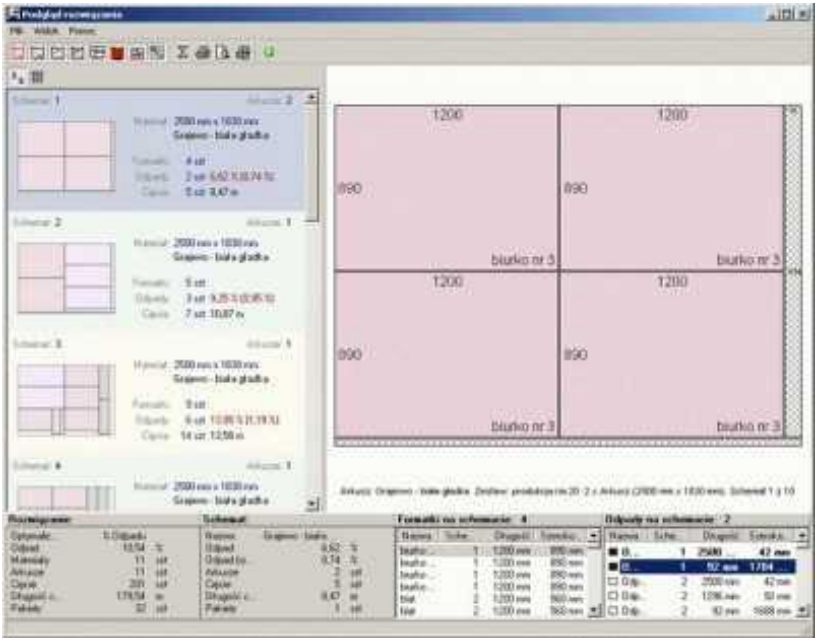


Рисунок 1.22

Програма **«Майстер 2»** надає користувачам великі можливості не лише в складанні проекту розкрою, але і у веденні підприємництва (рис. 1.23).

Підтримується режим, розрахований на багато користувачів, є присутнім сортування і систематизація введеної інформації, зберігаються дані про матеріали і контрагентів.

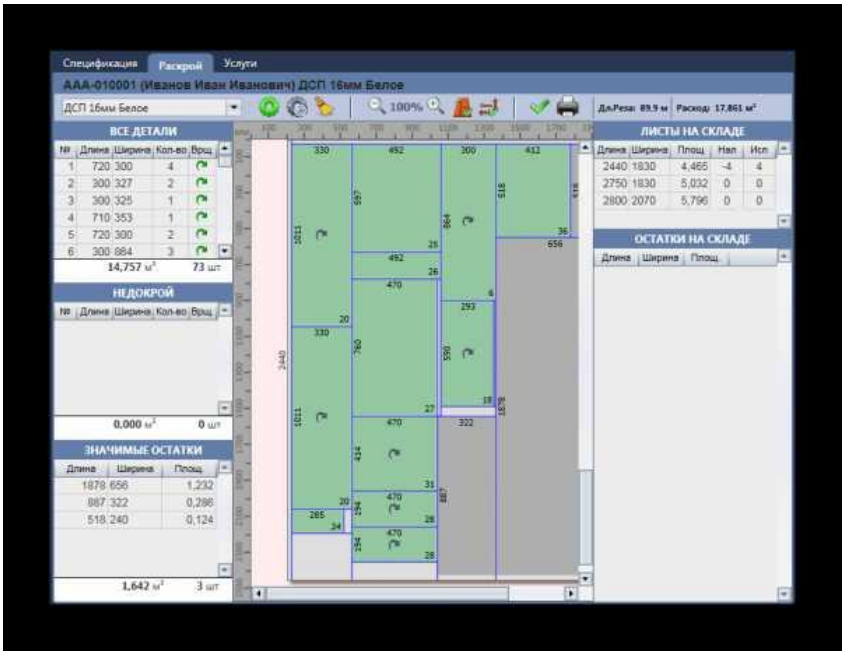


Рисунок 1.23

Реалізація складу допоможе завжди бути в курсі кількості матеріалів, що залишилася. Є присутнім у програмі розподіл на окремі таблиці, де знаходяться активні замовлення, заплановані роботи і архів. Адміністраторові доступна уся інформація до перегляду і редагування. «Майстер 2» має декілька варіацій, одна із них поширюється безкоштовно і доступна до скачування на офіційному сайті.

Програма **«Айстра-Розкрій»** дозволяє працювати із замовленнями, імпортуючи їх заготовки із каталогу (рис. 1.24). У пробній версії шаблонів всього декілька, але їх список може розширитися після придбання ліцензії програми. Користувач вручну формує лист і додає деталі у проект, після чого софт автоматично створює оптимізовану карту розкрою. Вона відкривається у редакторі і доступна для внесення змін.

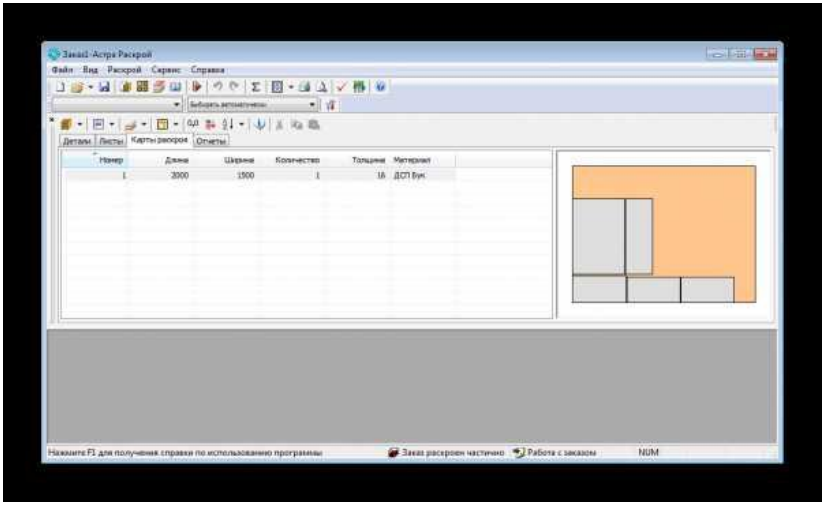


Рисунок 1.24

Програма **«AstraS - Nesting»** відрізняється від попередньої програми тим, що пропонує тільки основний набір функцій і інструментів. До того ж, можна додати у програмі тільки заздалегідь заготовлені деталі певних форматів (рис. 1.25). Карта розкрою може з’явиться тільки після купівлі повної версії «AstraS - Nesting». Окрім цього у ній є декілька видів звітів, які формуються автоматично і відразу ж можуть бути роздруковані.

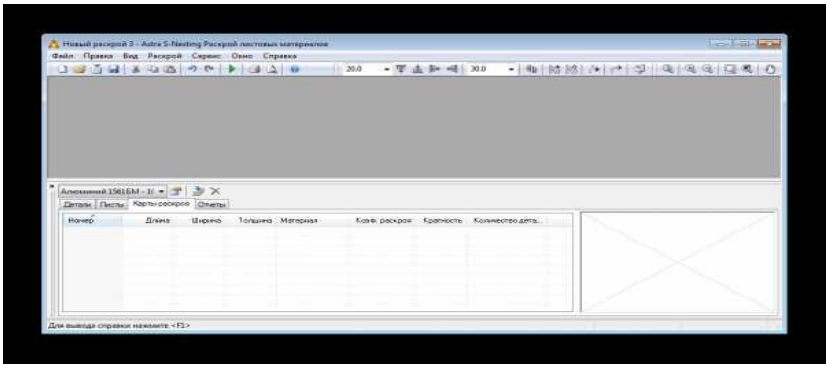


Рисунок 1.25

Програма **«Plaz5»** є застарілим софтом, давно не підтримується розробником, проте це не заважає йому якісно виконувати своє завдання. Програма досить проста у використанні (рис. 1.26), не вимагає ніяких спеціальних знань або навичок. Карта розкрою створюється досить швидко, а від користувача вимагається тільки вказати параметри деталей, листів і вчинити проектування карти.

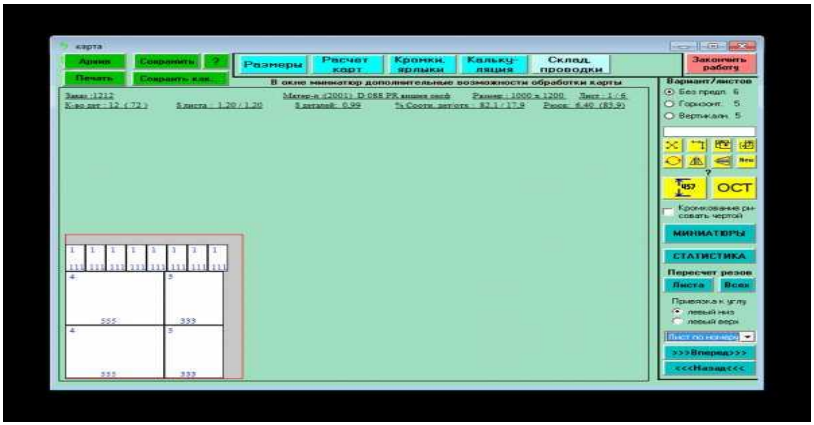


Рисунок 1.26

Програма **«ORION»**. Програма реалізована у вигляді декількох таблиць (рис. 1.27), у які вводиться необхідна інформація, а після цього створюється максимально оптимізована карта розкрою. З додаткових функцій є присутньою тільки можливість додати кромку. «ORION» поширюється платно, а пробна версія доступна до скачування на офіційному сайті розробників.

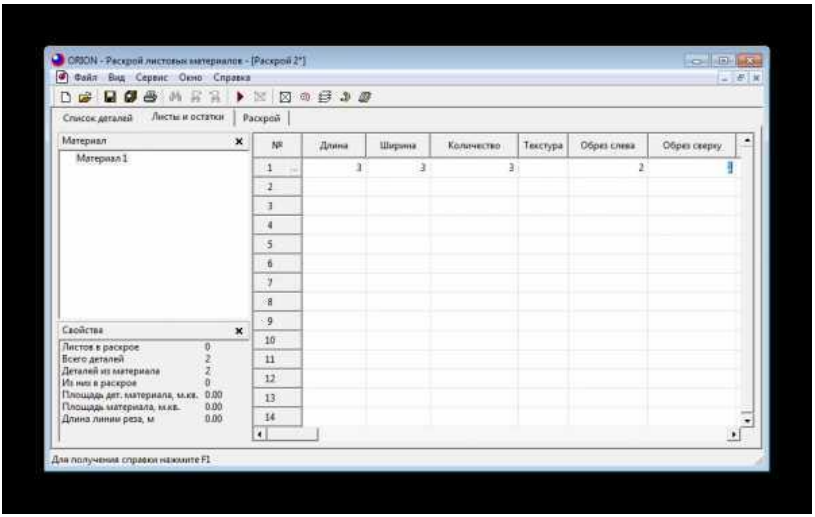


Рисунок 1.27

Програма **«Новий розкрій»** - одна з найбільш популярних комп’ютерних програм для зменшення відходів у процесі різання меблевих плит, скла і листового металу Завдяки цій програмі можна заощадити багато матеріалу, не говорячи про час і роботу людей. Цілком самостійна, не вимагає застосування ніякого додаткового устаткування, окрім комп’ютера і принтера. Висока ефективність, простота в обслуговуванні, а також багатофункціональність говорять про її велику популярність і потрібність. Програма написана розробниками PRO100 і якнайкраще дозволяє реалізувати

потенціал обох програм. «Новий розкрій» читає деталювання із PRO100 і автоматично розкладає їх на листах найоптимальнішим чином.

І на кінець – програма «**Cutting».** Цей продукт, що представляє собою програмний модуль із величезним вибором матеріалів і деталей, найбільше підходить для індивідуального використання. Розкрій реалізовується добре оптимізованим, від користувача потрібно тільки ввести необхідні розміри, вибрати матеріали і вказати додаткові налаштування, якщо це знадобиться (рис. 1.28).

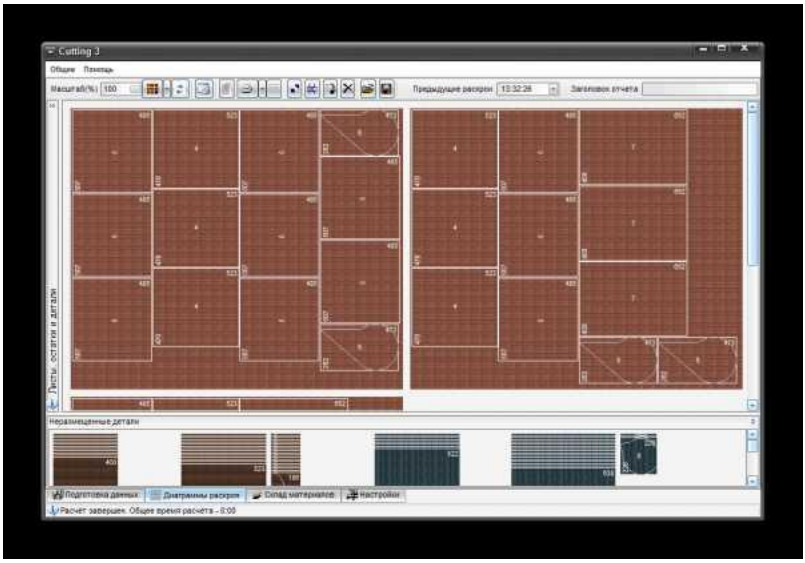


Рисунок 1.28

«Cutting» надає користувачам можливість використати файли інших програм, наприклад, реалізовано завантаження деталей із AutoCAD. Окрім цього підтримується візуальне оформлення. Дуже корисною є можливість створення і коректування контурів деталей в AutoCAD із забезпеченим імпортом (рис. 1.29).

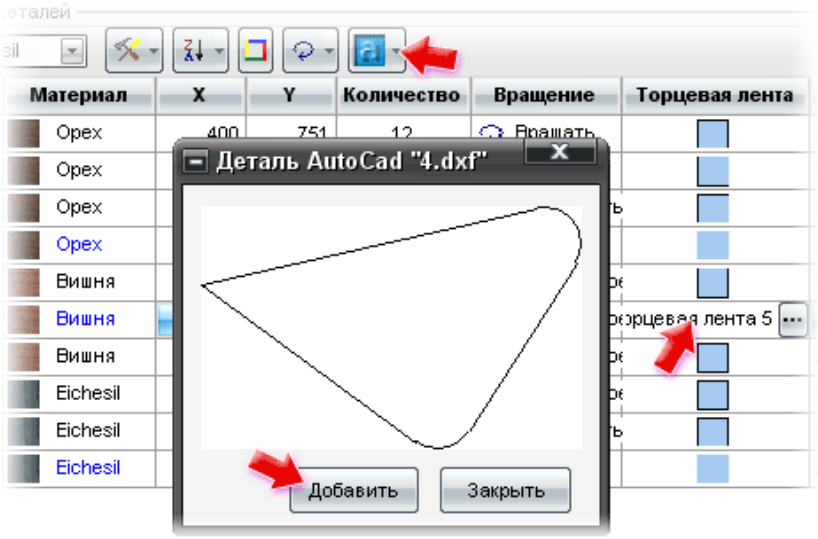


Рисунок 1.29

Порівняно із іншими програмами **«Cutting»** має такі переваги:

- можна створити нескінченне число необхідних деталей із специфічною геометрією;
- по відношенню до однієї деталі можна використати різні одиниці виміру. Зазвичай в стандартних програмах використовується всього одна;
- регульована ширина пропилу залежно від типу матеріалу;
- можливість ручного регулювання оптимізації програми, залежно від потужності комп’ютера;
- зведення кількості корисних залишків до мінімального;
- результати роботи відображаються в декількох видах: чорно-білому, повно-кольоровому і в текстовому форматі;

- розпізнавання і експлуатація складних по своїй конструкції виробів;
- збереження і перегляд записаних раніше результатів у базі програми;
- робоча область програми настроюється під користувача з урахуванням індивідуальних особливостей працівника.

Таким чином, саме це програмне забезпечення є оптимальним і функціональним інструментом для точного і швидкого розкрою дерево-стружкових плит на малих підприємствах, що працюють як правило із індивідуальними замовленнями. Воно дозволяє значно прискорити на виробництвах процес конструювання меблів.

Висновки.

Аналіз літератури показав, що у процесі технологічної підготовки виробництва меблів, особливе місце відведено автоматизованому оптимальному розкрою плит, оскільки вартість матеріалів у собівартості продукції будь-якого підприємства займає найбільшу частку.

Проведений у розділі аналіз переваг і недоліків спеціалізованих програм проектування меблів показав, що для організації виробництва на підприємствах малої і середньої потужності, які працюють, як правило, за індивідуальними замовленнями оптимальним продуктом, виходячи із комплексу параметрів (простоти адаптації, ціни, підтримки, можливостей, швидкості створення проекту) є програма PRO100.

Використовувані нині алгоритми розкрою працюють в основному із геометричною інформацією про розміри розкроюваних деталей. Це не дозволяє повною мірою враховувати особливості технологічних процесів на конкретному виробництві. Виходячи із цього, при

створенні сучасних програм розкрою запроваджуються нові алгоритми оптимізації, за допомогою яких можна добитися значно повнішого обліку сукупності геометричних, технологічних і організаційних особливостей технологічних процесів меблевого виробництва.

Аналіз ефективності програм розкрою для малих підприємств, що працюють за індивідуальними замовленнями, показав - програми «Cutting» і «Новий розкрій» є найбільш оптимальним і функціональним інструментом для точного і швидкого розкрою дерево-стружкових плит на таких виробництвах. Програми, будучи недорогим ресурсом, дозволяють суттєво прискорити на меблевих фірмах процес конструювання меблів.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ РОЗКРОЮ ЛДСП СТОСОВНО ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Дерево-стружкові (ДСП) і дерево-волокнисті плити (ДВП) давно вже стали основним матеріалом для виготовлення меблів. Отримання із цих плит деталей потрібного розміру неможливе без використання спеціалізованих верстатів для розкрою. Зрозуміло, що таке устаткування вже давно застосовується на кожному меблевому підприємстві.

На жаль, багато новоорганізованих підприємств, обмежених, як і усі, в інвестиційних ресурсах, намагаються придбати мало не перший дешевий верстат, що попався. Надалі, коли продуктивність механізму стає недостатньою, за звичкою купується другий такий же верстат, хоча проблему треба було відразу вирішувати по-іншому. Але, щоб зрозуміти це, слід знати, які існують типи верстатів для розкрою, в чому їх відмінності.

Плиткові матеріали, використовувані у виробництві меблів, такі як ЛДСП, ДСП, ДВП, МДФ, фанера, клеєні щити, повинні проходити першу технологічну операцію – розкрій на заготовки. Вони розкроюються на кругло-пилкових верстатах і пильних центрах. Верстати розрізняються між собою рядом технологічних параметрів, що впливають на способи виконання технологічної операції розкрою, а, отже, і на формування карт розкрою:

- кількістю пильних агрегатів поздовжнього і поперечного напрямів пиляння;
- обмеженнями в схемах розкрою розмірами максимальної і мінімальної ширини відрізуваної смуги і наявністю обов’язкових наскрізних поздовжніх або поперечних пропилів;

- максимальними розмірами оброблюваного матеріалу;
- кількістю одночасно розкроювальних плит;
- точністю розкрою;
- чистотою отримуваної при пилянні кромки;
- товщиною використовуваних пил.

Сучасні лінії для розкрою матеріалів і напівавтоматичні кругло-пилкові верстати можуть мати вбудований модуль для складання карт розкрою. Проте введення початкових даних для їх роботи здійснюється вручну, що нерідко призводить до появи помилок. Найкращим рішенням у цьому випадку є автоматичний імпорт даних безпосередньо із математичної моделі виробу. Крім того, вбудовані модулі розкрою, як правило, досить дорогі.

Якщо використовуване устаткування не може виконувати таку функцію, у рамках технологічної підготовки виробництва, вимагається складання карт розкрою листових матеріалів. Вони служать технологічними інструкціями для операторів, що виконують дану операцію, а також несуть в собі інформацію, необхідну для виконання подальших розрахунків.

Умовно, усе устаткування може бути підрозділене на: ручний механізований інструмент; верстати для розкрою плит вертикальні; верстати кругло-пилкові з кареткою; верстати для розкрою плит із притискною балкою; верстати із притискною балкою і програмним управлінням (із програмованим штовхальником пакету); верстати для розкрою плит багатопильні; напівавтоматичні і автоматичні лінії для розкрою плит на базі верстатів із притискною балкою.

2.1 Використання ручного механізованого інструменту та вертикальних верстатів для розкрою ДСП

Основна проблема будь-якого меблевого підприємства - правильна оцінка його продуктивності, яка вкрай необхідна для вибору майбутнього розкроювального верстата. У яких одиницях розраховується продуктивність, адже при збільшенні товщини плити змінюється її кубатура, а витрати часу на пропили при тій же карті розкрою залишаються незмінними. Тому оцінка продуктивності в кубічних метрах розкроєних плит цікава тільки постачальникам, а для технолога вона практично не має значення [10].

Розрахунок продуктивності верстатів для розкрою в квадратних метрах теж не може дати однозначних результатів. Тут знову усе залежить від товщини плити. Наприклад, якщо розкроювати плити завтовшки 25мм в пакеті по три, завтовшки 19мм – по чотири і завтовшки 16мм – по п’ять, то різниця в продуктивності, виміряній у квадратних метрах, при однакових картах розкрою буде більше ніж в півтора рази.

В результаті, коли немає усіх конкретних і однозначних параметрів, заздалегідь оцінити потрібну підприємству продуктивність і ту, яку фактично забезпечить той або інший верстат, навіть дуже приблизно, виявляється просто неможливо [9].

Звичайно, певну допомогу тут можуть надати комп’ютерні програми, що входять у програмне забезпечення деяких верстатів для розкрою плит із програмним управлінням, але що робити, наприклад, якщо передбачається використання на малих меблевих виробництвах звичайного кругло-пилкового верстата з

кареткою, що має ручне подання і вимагає значно більшого допоміжного часу для обробки матеріалу.

Продуктивність – є основним параметром при виборі устаткування для розкрою дерево-стружкових плит на заготовки і деталі (ДСП, MDF, фанера клеєна і так далі).

Простим пристроєм для розкрою плит є універсальні електропили, найчастіше використовувані в деревообробних майстернях для поздовжнього і поперечного розкрою дошок, брусків і різних плиткових матеріалів. У номенклатурі таких електропил чи не єдиним, спеціально призначеним для розкрою плит, являється пристрій, розроблений німецькою фірмою **Mafell** (рис. 2.1).

Рисунок 2.1

Його відмінністю від усіх інших, є використання довгої (до 4м) лінійки з алюмінієвого профілю, по усій довжині якої протягнута пластмасова зубчаста рейка, в зачеплення з якою входить розташована на корпусі

пристрою шестерня, що обертається, із приводом від електродвигуна пили через редуктор. Лінійка забезпечена переставним упором, що обмежує хід пили, зупиняє її обертання і рух по лінійці при торканні клавіші вимикача.

При роботі пристрою лінійка за допомогою струбцин закріплюється у потрібному положенні на верхній частині розкроювальної плити, на неї встановлюється пила і робиться включення. Шестерня, що обертається і пов'язана із зубчастою рейкою, примушує пилу переміщуватися уздовж лінійки, здійснюючи розріз. Після досягнення упору пила зупиняється. Потім лінійка переставляється у нове положення і цикл повторюється.

Цей пристрій дозволяє розпилювати плити, укладені на допоміжний стіл великого розміру або розкроювати верхню плиту, що лежить в пакеті. Його особлива перевага перед аналогічними пристроями у тому, що рівномірна швидкість подання виключає зупинки пили, характерні для ручного переміщення електропил по лінійці, які призводять до утворення «припалів» на кромках розкроювального матеріалу. Крім того, при використанні електропили фірми Mafell, для виконання довгих різів у середині широкої плити робітникові не доводиться в незручній позі дотягуватися до місця різу, від чого зазвичай страждає якість пропилу.

Проте продуктивність такої пили недостатня для використання навіть на невеликих промислових підприємствах. Вона, як правило, не перевищує десятка розкроєних повноформатних плит у зміну.

Тому на виробництвах обмеженої площі отримали поширення найпростіші верстати для розкрою плит, що знаходяться у вертикальному положенні.

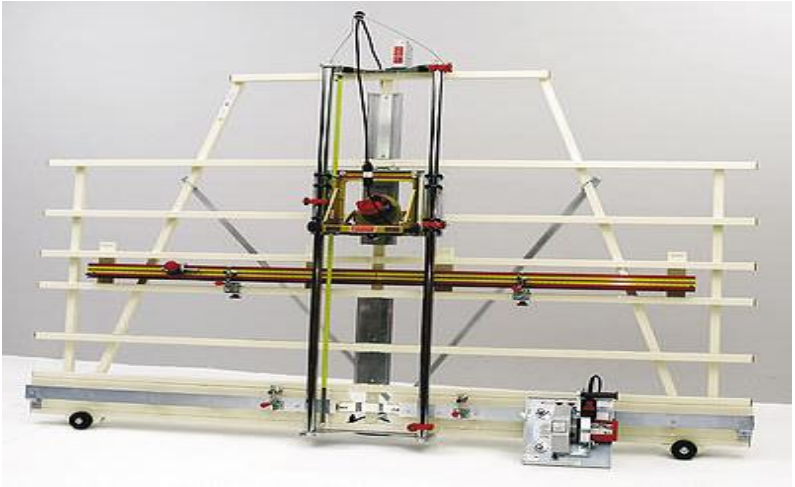


Рисунок 2.2

Одна із простих моделей таких верстатів (рис. 2.2) включає встановлену вертикально, з невеликим нахилом назад, раму-станину із розташованим в нижній частині набором опорних роликів, із поворотним пильним супортом і дві горизонтальні лінійки з відкидними упорами [18].

Розкроювальні плити ставляться кромкою на опорні ролики, котяться по них паралельно рамі і притискаються впритул до неї. Супорт обертається так, щоб його пила зайняла горизонтальне положення і розташовувалася на висоті, необхідній для відпилювання смуги потрібної ширини.

Розкроювальна плита вручну насувається на пилу, що відрізує смуги. При поперечному розкрою супорт розгортається так, щоб пила зайняла вертикальне положення. Плита просувається по опорних роликах уздовж рами до одного з відкинутих упорів, які заздалегідь встановлюються на певній відстані від місця передбачуваного пропилу. Супорт із пилою вручну

переміщається вниз і робить різ. Для розкрою вузьких деталей або смуг використовується друга опорна лінійка, розташована вище, в середині рами, яка також забезпечена відкидними упорами. Пила закрита кожухом, із приєднуваним до нього мішком для збору частини відходів, що утворюються у процесі пиляння.

Верстати такої конструкції із-за необхідності ручного подавання плити при розкроюванні не забезпечують високої точності обробки, проте недорогі і дозволяють робити розкрій на смуги плит і деталей практично необмеженої довжини, наприклад листів пластмаси великого формату або дошок для будівництва. Вони можуть використовуватися і на малих виробництвах при виготовленні меблів - для чорнового розкрою плит або розкрою ДВП на деталі задніх поличок, тобто там, де не потрібно високої точності розмірів отриманих елементів.

Складнішу конструкцію мають вертикальні верстати із пильним супортом, що переміщується і в горизонтальному, і у вертикальному напрямі. Принцип їх роботи багато в чому подібний до кульмана із блоком лінійок, що пересуваються по горизонтальних і вертикальних направляючих.

Верстати для розкрою закріплених у вертикальному положенні плит, оснащені пильним супортом, який переміщується у горизонтальному і вертикальному напрямі мають складнішу конструкцію, ніж ті, у яких горизонтальні пропили виконуються при переміщенні самої плити. Їх основна відмінність – переміщення супорта відбувається не лише у вертикальному, але і в горизонтальному напрямі.

При роботі такого верстата розкроювальні плити також встановлюються нижньою кромкою на опорні ролики і вручну просуваються по них у робочу позицію. Потім ці ролики стопоряться, що перешкоджає

подовжньому зміщенню плит під час розкрою. Пильний супорт розгортається в горизонтальне положення, встановлюється у потрібне положення по висоті і фіксується. При цьому спочатку робиться різ по верхній частині плити (пакету плит) − так званий «чорновий різ» для вирівнювання кромки і отримання чистової бази для подальшого підрахунку розмірів. Потім супорт пересувається вниз по вертикальним направляючим і фіксується у необхідному положенні, яке контролюється по лінійці з ручною або електронною цифровою шкалою; далі робиться відрізання смуги потрібної ширини [1].

Але принцип розкрою плит, встановлених вертикально, має ряд істотних недоліків при застосуванні. Наприклад, украй незручні операції завантаження верстата плитами, які мають бути переведені із горизонтального у вертикальне положення, і знімання отриманих заготовок − є велика вірогідність їх падіння. Крім того, ускладнено виконання пропилів у верхній зоні верстата.

Також, серйозним недоліком верстатів цього типу є звуження пропилу із-за опускання відпиляних заготовок униз під дією власної ваги. При великій масі відрізаних заготовок це іноді призводить до заклинювання полотна пили в пропилі разом із розклинюючим ножем і утворення відламів у кінці лінії пропилу. Для запобігання такій ситуації іноді використовуються дерев’яні клини, що вручну встановлюються оператором в пропил у міру його формування.

2.2 Конструкції кругло-пилкових верстатів з кареткою для розкрою ДСП

Для розкрою плит в 50-х роках XX століття були пристосовані, відомі задовго до початку їх промислового виробництва, кругло-пилкові верстати з кареткою (рис.

2.3). Уперше такий верстат був створений трохи більше ста років тому в Німеччині Вільгельмом Альтендорфом (W. Altendorf) для оснащення власної столярної майстерні. Надалі винахідник освоїв їх виробництво на продаж. Заснована Альтендорфом фірма існує досі і є провідним виробником цього устаткування, а пряме копіювання розроблених нею верстатів вже давно стало звичайним явищем для фірм у всьому світі [26].

Рисунок 2.3

З легкої руки перекладачів-непрофесіоналів, ці верстати чомусь були названі у нас форматно-розкроювальними. У перекладі із німецького Formatkreissage − верстат кругло- пилковий форматний [1].

Конструкції усіх таких верстатів включають зварну станину, з усіх боків закриту листами металу, зверху якої розташований стіл із поздовжнім упором (напрямною лінійкою), супорт із основною пилою, пильний агрегат для підрізування нижньої частини плити, що запобігає утворенню сколів на виході зубів основної пили, і каретці, забезпеченій поперечним упором із розташованими на ній відкидними упорами.

Деякі моделі мають можливість нахилу пильного супорта із основною і підрізною пилою до 45^0, автоматичного підйому підрізної пили для прорізання поперечної кромки і можуть бути оснащені великим набором додаткових пристосувань, серед яких кутові упори, електронне налаштування на розміри обробки плити і т. і [21].

Недоліки усіх верстатів такого типу, при використанні для розкрою повноформатних плит: висока трудомісткість завантаження, що виконується як мінімум двома робітниками (вага однієї плити перевищує 60кг); небезпека ушкодження поверхні цих плит при завантаженні, трудність їх точного базування на каретці верстата; неможливість точного розкрою відразу декількох плит в одному пакеті і т. і.

Крім того, при розкрої плита укладається тільки на дві вузькі зони каретки - поздовжню і поперечну. В результаті її вільний кут провисає, що вимагає його підтримки в процесі руху каретки.

Одночасно базувати плиту точно по двох лінійках і підтримувати її кут нахилу вдається не кожному операторові. Тому такі верстати необхідно ще при купівлі відразу ж оснащувати підтримувальним пристроєм, який пропонується зовсім не усіма виробниками.

Що ж до заготовки, що відрізується від плити: якщо вона великого розміру, то її необхідно підтримувати, особливо у кінці операції. Інакше вона просто падає на підлогу, а на її краю утворюється злам. Тому за верстатом повинен встановлюватися стіл, що не входить у комплект постачання ні у одного виробника.

Основні виробники цих верстатів є фірми Altendorf, Martin, Maka, Kölle (усе − Німеччина), SCM, Griggio (Італія), Robland (Бельгія), Felder, Holztechnik (Австрія) і багато інших, у тому числі фірми Тайваню і Китаю.

До головних чинників, що впливають на ціну верстата, відносяться: довжина ходу каретки, наявність підрізного агрегату, можливість нахилу пили, наявність електронних покажчиків і систем налаштування. Велике значення для довговічності верстатів і точності розкрою має конструкція направляючих для переміщення каретки. Проте, заздалегідь оцінити характеристики устаткування і зробити правильний вибір звичайному споживачеві досить важко - одних лише інструментальних способів перевірки надійності мало. Треба розробляти методику порівняльних випробувань і мати відповідні стенди, прилади і вимірювальні інструменти. Тому, на сьогодні, вибір робиться в основному «на око» [1].

Ціни на таке устаткування на заводі-виробнику складають від 3 тис. євро. Слід особливо відмітити, що подібні верстати на професійних виробництвах для розкрою повноформатних плит не використовуються, оскільки малопродуктивні і вимагають важкої ручної праці при завантаженні.

І головне – при розкрої плит розміром, наприклад, 1,75×3,5 м вони вимагають для розміщення близько 50 $м^2$ виробничої площі (приблизно 6×8 м). Тому головне призначення кругло-пилкових верстатів з кареткою – точний розкрій на деталі кратних заготовок.

Наведемо конструкції ряду найбільш популярних, за параметрами якості і ціни, моделей кругло-пилкових верстатів.

Одним із найпростіших і найдешевших виробів є кругло- пилковий верстат від компанії HOLZTECHNIK – **HOLZTECHNIK P30** (рис. 2.4). Модель P30 має каретку кулькового типу. Цей тип каретки призначений для заготовок відносно невеликих розмірів. Тому каретки рекомендуються використовувати на форматних верстатах із невеликою довжиною. На каретці також є

ексцентриковий притискач, що дозволяє надійно фіксувати матеріал, який розкроюється.

Рисунок 2.4

Розмір робочого столу Р30 має довжину в 1003 мм і ширину 1726 мм. Конструктивно пильний вузол більшості верстатів серії ідентичний. Цей верстат має головну пилу діаметром 305 мм із посадочним отвором діаметром 30 мм. У верстаті Р30 потужність двигуна основної пили - 3,75 кВт. Двигун одношвидкісний, без можливості зміни швидкості обертання пили. Швидкість обертання пили рівна 4000 об/хв, що цілком достатньо для розкрою усіх типів ДСП.

Окрім основної пили, пильний вузол Р30 має підрізну пилу. Потужність двигуна підрізної пили – 0,75 кВт. Вона потрібна при роботі із фанерованими плитковими матеріалами. Підрізна пила має діаметр 120 мм і посадочне місце для підрізної пили – 20 мм. Відносно основної пили швидкість обертання підрізної пили складає 8000 об/хв. Напрям обертання підрізної пили супутній напряму поступального переміщення матеріалу. Підрізна пила фрезерує в заготовці паз невеликої глибини і ширини,

після цього основна пила робить пропил, не допускаючи сколів матеріалу при виході зуба пили із матеріалу [10].

Верстат Р30 має захисний кожух розташований над пилою і закріплений на розклинюючому ножі. Верстат має отвір для підключення системи аспірації. Також верстат Р30 має бічну алюмінієву лінійку, яка легко рухається по направляючих. Регулювання лінійки здійснюється вручну. Лінійка потрібна для того, щоб під час розкрою отримати необхідну ширину заготовок.

Моделі **P305** і **WOODTEC WT1600** (рис. 2.5, 2.6) мають каретку роликового типу. Роликова каретка має круглі направляючі. Каретки роликового типу мають контакт із направляючими по лінії, що сприяє рівномірному розподілу навантаження.

Роликові каретки частіше використовуються на важких верстатах, у яких довжина каретки перевищує 2500 мм. Багатокамерна конструкція профілю каретки дає високий опір скруту. Це важливо, коли верхня частина каретки в процесі роботи висувається далеко за межі верстата, піддаючись додатковим навантаженням на скрут і згин.

Верстати мають жорстку конструкцію, підсилену по периметру, як наслідок – знижується рівень вібрацій, завдяки чому верстат здатний тривалий час працювати без переналаштування.

Дані моделі мають пильний вузол із потужністю двигуна в 4 кВт при частоті обертання основної пили в 4000 об/хв. Максимальний діаметр основної пили складає 355 мм із посадочним отвором діаметром 30 мм. Двигун - одношвидкісний.

Окрім основної пили, пильний вузол представлених верстатів має підрізну пилу. Потужність двигуна підрізної пили 0,56 кВт. Вона потрібна при роботі із фанерованими

плитковими матеріалами. Підрізна пила має діаметр 120 мм і посадочне місце для підрізної пили - 20 мм.

Рисунок 2.5

Рисунок 2.6

Відносно основної пили швидкість обертання підрізної пили складає 8000 об/хв. Регулювання висоти основної і підрізної пили здійснюється вручну.

Верстати мають навісний захисний кожух розташований над пилою. Моделі оснащені отвором для підключення системи аспірації. Також представлені моделі мають бічну алюмінієву лінійку, яка легко рухається по направляючих. Притискна лінійка має два рухливі упори із міткою положення на шкалі. Регулювання лінійки здійснюється вручну.

Модель **HOLZTECHNIK D 405M** має каретку роликового типу. Верстат D 405M має жорстку конструкцію, підсилену по периметру. Верстат D 405M обладнаний кареткою із шириною 385 мм і ходом каретки в 3200 мм. На каретці також є ексцентриковий притиск, що дозволяє надійно фіксувати матеріал, який розпилюється.

Верстат D 405M (рис. 2.7) має потужний пильний вузол із потужністю двигуна в 5,5 кВт і є можливість зміни частоти оборотів ножового валу на 3000, 4000 або 5000 оборотів в хвилину.

Це дуже зручно для вибору оптимального режиму різання при розкрої різних матеріалів ДСП, ДВП, МДФ, фанери і деревини. Максимальний діаметр основної пили складає 400 мм із посадочним отвором діаметром 30 мм. На верстаті D 405M пилу можна нахиляти на кут від 0 до 45 градусів.

Рисунок 2.7

Потужність двигуна підрізної пили - 0,75 кВт. Підрізна пила має діаметр 120 мм і посадочне місце для підрізної пили - 20 мм.

Напрям обертання підрізної пили відповідає напряму поступального переміщення матеріалу. Підрізна пила фрезерує в заготовці паз невеликої глибини і ширини, після чого основна пила може зробити пропил, не допускаючи сколів матеріалу при виході зуба пили із заготовки. Регулювання висоти основної пили і підрізної здійснюється вручну.

Верстат D 405M має навісний захисний кожух, розташований над пилою. Модель обладнана отвором для підключення системи аспірації [10].

Модель **HOLZTECHNIK D 405M+** має каретку роликового типу. Верстат D 405M+ (рис. 2.8) має жорстку конструкцію. Верстат D 405M+ має каретку шириною 385 мм і ходом каретки 3200 мм. На каретці також є ексцентриковий притиск, що дозволяє надійно фіксувати матеріал, який розпилюється.

Максимальний діаметр основної пили складає 400 мм з посадочним отвором діаметром 30 мм.

Окрім основної пили, пильний вузол D 405M+ має підрізну пилу. Потужність двигуна підрізної пили - 0,75 кВт. Підрізна пила має діаметр 120 мм і посадочне місце для підрізної пили 20 мм. Відносно основної пили швидкість обертання підрізної пили складає 8000 об/хв. Напрям обертання підрізної пили відповідає напряму поступального переміщення матеріалу.

Рисунок 2.8

Регулювання висоти основної і підрізної пили здійснюється вручну. Верстат D 405M+ має навісний захисний кожух розташований над пилою. Верстат має отвір для підключення системи аспірації.

Моделі **ALTENDORF F45** або **HOLZTECHNIK D405A/NC** (рис. 2.9, 2.10) - є верстатами класу люкс. Основною особливістю даних форматно-розкроювальних верстатів є наявність виносного пульта управління на рівні очей.

Рисунок 2.9

Рисунок 2.10

Пульт сприяє зменшенню часу на переналаштування верстатів у процесі розкрою і дозволяє значно підвищити продуктивність.

Обидві моделі мають каретку роликового типу. Верстати F45 і D405A/NC мають потужний пильний вузол

із потужністю двигуна в 5,5 кВт і є можливість зміни частоти оборотів ножового валу на 3000, 4000 або 5000 оборотів у хвилину. Це дуже зручно для вибору оптимального режиму різання при розкрою різних матеріалів ДСП, ДВП, МДФ, фанери і деревини.

Максимальний діаметр основної пили 400 мм. На верстатах пилу можна нахиляти на кут від 0 до 45 градусів. Регулювання нахилу здійснюється за допомогою електродвигуна.

Окрім основної пили, пильний вузол верстатів має підрізну пилу. Потужність двигуна підрізної пили - 0,75 кВт.

У верстатах регулювання підйому, опускання і нахилу пильного вузла здійснюється за допомогою електродвигуна, а значення виводяться на дисплей пульта управління.

Двох-сторонній форматно-розкроювальний верстат **TI 2500/3000 SUPER** (рис. 2.11) призначений для розкрою за заданими розмірами клеєного столярного щита, фанери, багатошарових матеріалів, фанерованих плит (ЛДСП, ДСП, МДФ, ДВП) максимальною довжиною до 3000 мм і заввишки до 110 мм прямокутної форми. Принцип роботи на верстаті: оброблювану панель оператор кладе на два супорти із пресованого алюмінію. Подача у зону різання відбувається вручну. За необхідності, верстат може бути обладнаний автоматичною подачею заготовок.

Обрізання здійснюється за допомогою двох пильних вузлів: лівий – фіксований, а правий, переміщаючись по двох сталевих направляючих – налаштовується на потрібний розмір.

Для запобігання сколів на оброблюваному матеріалі при зворотному ході пильні вузли, за допомогою пневматики, відводяться на 1 мм у сторони.

Рисунок 2.11

Завдяки жорсткій конструкції і сучасним технічним рішенням – верстату гарантовано тривалий термін експлуатації.

Правий і лівий пильні вузли складаються із основної пили діаметром 400 мм і підрізної пили діаметром 125 мм. Відстані між пилами варіюються від 320 до 3000 мм. Є можливість нахилу пил до 45 градусів і регулювання їх по висоті.

2.3 Критерії підбору кругло-пилкових верстатів для невеликих підприємств із індивідуального меблевого виробництва

Бажання виробничників придбати хороший верстат за невеликі гроші зрозуміле. І в принципі таке бажання цілком здійснимо. Але, на жаль, в «жертву» такій «вдалій» угоді частенько приноситься комплектація устаткування додатковими пристроями і пристосуваннями, без яких робота навіть найсучаснішого верстата малоефективна. Здебільшого це відбувається із-за недостатнього знання

замовником справжнього призначення устаткування, а також можливостей, які дає йому додаткове оснащення.

Зрозуміло, що жоден виробник не стане невиправдано завищувати ціну на свої верстати − вони просто не будуть конкурентоздатними. Тому різниця у ціні двох верстатів, які за технічними характеристиками і зовнішнім виглядом здаються однаковими, зазвичай визначається відмінностями в їх конструктивному виконанні, а ось недоліки дешевшого устаткування проявляються лише в процесі його експлуатації, коли вже пізно щось міняти.

Тому, роблячи вибір, треба дуже уважно вивчити конструкцію пропонованого устаткування.

Верстати кругло-пилкові з кареткою відносяться до деревообробного устаткування універсального призначення. Це означає, що їх конкретне призначення не визначене, на них можуть виконуватися численні технологічні операції пиляння заготовок із деревини, деревних і інших матеріалів, що мають форму брусків, дошок або щитів: поздовжнє і поперечне різання, пропилювання пазів, вибірка фальців і чвертей, форматне обрізання, розкрій листових і плиткових матеріалів і так далі [1].

Основу будь-якого верстата такого типу складає станина зі встановленим на ній масивним столом, в проріз якого проходить полотно пили. На столі розташовані напрямна лінійка, положення якої регулюється відносно полотна пили; супорт зі шпинделями основного і підрізного пильних полотен; привід, що забезпечує обертання пил, а також каретка, яка переміщається вручну по направляючим, встановленим збоку від станини.

Розглянемо основні складові верстатів, а також пристрої до них, на які слід звернути особливу увагу при виборі або замовленні устаткування.

Станина. Від її міцності і стійкості залежить точність обробки. У сучасних верстатах вона виготовляється із сталевого прокатного профілю. Зрозуміло, що жорсткість станини із профілю прямокутного перерізу буде вища, ніж у звареної з куткового профілю. Крім того, зварна станина щоб уникнути викривлення повинна пройти термообробку, а її роблять не усі виробники.

Стіл. Чим більшу масу він має, тим вище вібростійкість верстата, що багато в чому визначає якість і точність обробки. Тому литий стіл завжди надійніший, ніж зварений із листової сталі. Гальванічне хромування робочої поверхні столу підвищує його зносостійкість і перешкоджає появі іржі, наприклад, від дії на метал дубильних речовин, що містяться в деревині багатьох порід.

Супорт. Переваги його конструктивного виконання на око визначити досить важко. Але одне безперечно: його налаштування по висоті за допомогою механізму, оснащеного цифровим покажчиком положення пил по висоті, скорочує час налаштування верстата при зміні товщини заготовки або пакету розкроювальних заготовок із деревних плит.

Пила завжди повинна виступати над верхньою частиною заготовки приблизно на половину зуба, інакше можлива поява сколів. У найбільш «просунутих» верстатах передбачається окреме регулювання шпинделя підрізної пили по висоті. А ось від бічного нахилу пил, особливо якщо верстат використовуватиметься тільки для розкрою плит, можна відмовитися − ця функція практично не буде використовуватися.

Привід. Кваліфікований технолог розуміє, що регулювання швидкості обертання основної пили верстата за допомогою інвертора дозволяє понизити кількість

сколів, плит, що утворюються на ребрах, у процесі розкрою. Таке регулювання потрібне не лише при переході з одного виду облицювального матеріалу на інший, але і при переході від однієї партії плит до іншої. Слід звернути увагу: конструкція із роздільними приводами основної і підрізної плит від двох електродвигунів завжди краща, ніж конструкція із загальним приводом. Незайве подивитися, чи зручно міняти ремені − чи не прийдеться при обриві одного із них - знімати і другий. Слід подивитися, чи немає в конструкції верстата зубчастих ременів або таких, дістати які потім для постачальників буде проблемою, - звичайні тонкі синтетичні ремені можна склеювати в кільце і самостійно.

Потужність електродвигуна основної пили має бути не менше 5,5 кВт; а краще 7,5 кВт. Інакше швидкість подання при розкрою товстих плит або пакету заготовок буде низькою і на їх кромках можливе утворення «припалів», що іноді призводить до відшаровування наклеєного матеріалу кромки.

Шпинделі. У ідеалі конструкція шпинделя підрізної пили повинна передбачати можливість регулювання його положення уздовж осі для поєднання пропилів обох пил. Інакше можливе утворення «сходинки», що призводить до відставання матеріалу кромки і до утворення помітного клейового шва на одній із площин заготовки. Тому бажано, щоб у комплекті верстата була підрізна пила із регулюванням ширини її пропилу. Важливо звернути увагу і на те, як саме кріпитимуться пили на шпинделях і наскільки зручно і швидко можна буде їх міняти. Не слід забувати, що деякі виробники верстатів використовують в конструкціях такі шпинделі під посадочні діаметри пил, які у нас масово не застосовуються. Якщо це так, потрібно буде замовляти спеціальні пили, розточувати наявні або

встановлювати перехідні втулки, що завжди знижує якість і точність пропилів [26].

Напрямна лінійка. При форматному обрізанні щитових заготовок правильне налаштування напрямної лінійки забезпечує точність обробки. Зношування робочої поверхні лінійки призводить до зниження точності. Тому бажано, щоб вона була виготовлена не з алюмінієвого сплаву, а із сталі з твердим зносостійким гальванічним покриттям. Важливо, щоб конструкцією було передбачено її строго паралельне переміщення. Налаштування повинне робитися не за простою числовою шкалою, а за шкалою, оснащеною хоч би ноніусом. Але врахуйте: використання такого типу шкал призводить до величезних втрат робочого часу. Тому доцільно оснастити верстат цифровим покажчиком положення цієї лінійки. А в ідеалі, у верстата має бути обладнання для програмованого механічного налаштування робочого положення напрямної лінійки. Звичайно, це коштує чималих грошей і пропонується зовсім не усіма виробниками.

Вибираючи верстат, слід звертати увагу, на яку максимальну відстань від лінії пропилу може бути відсунута напрямна лінійка. Як правило, вона використовується тільки при поздовжньому розкрою (по ширині відпилюваної від плити деталі), а цей розмір у виробах корпусних меблів не перевищує 600 мм, а для кришок столів − 1200 мм.

Упорна лінійка, для різання під кутами відмінними від 90^0. У різних моделях кругло-пилкових верстатів упори мають різну конструкцію. Вони дозволяють виконувати пропили плит під різними кутами із певною точністю. Варіанти упорних лінійок наведені на рис. 2.12, 2.13

Рисунок 2.12

Рисунок 2.13

Такі прилади вкрай необхідні для розпилу плит на меблевих підприємства, що працюють за індивідуальними замовленнями. Однак основний недолік – необхідність постійного витрачання часу для монтажу і налаштування такого обладнання.

Каретка. Важливою характеристикою є її маса: якщо каретка важка, її міцність на згин у вертикальному напрямі висока; якщо легка − її важко пересувати у процесі роботи, тим більше, якщо на ній лежатиме пакет плит. Особливу увагу потрібно приділити оснащенню каретки. В першу чергу у неї має бути надійний і стійкий до зносу механізм стопоріння, який дозволить при завантаженні точно виставляти розкроювальну плиту по поперечній або подовжній лінійці.

Бажано також мати оснащення каретки додатковим пристосуванням для підтримки вільного кута розкроювальної плити, що лежить двома сторонами на столі верстата і на столі каретки.

Корисним буде і придбання додаткового пневмозатискача, який дозволить виключити зміщення розкроювальної плити, зафіксованої в початковому положенні по лінійках, в процесі її руху разом із кареткою. Не слід економити і на додаткових відкидних упорах, що встановлюються на поперечній лінійці каретки. Чим більше їх буде, тим рідше доведеться встановлювати заново їх при зміні розмірів отримуваних деталей.

Направляючі каретки. Для правильного вибору кругло-пилкового верстата, який експлуатуватиметься на операції розкрою плит, украй важливий показник − довжина направляючих кареток. Вона залежить від параметрів повноформатних плит, які кроїтимуть на верстаті.

Слід відрізняти довжину направляючих, що вказується в характеристиці верстата, від довжини ходу каретки. Довжина ходу каретки зазвичай менша довжини направляючих, але завжди повинна перевищувати максимальну довжину плити хоча б на 100 мм.

Конструкція направляючих за традицією, що склалася, викликає найбільший інтерес кожного покупця.

Однак, якщо ви не спеціаліст, то навряд чи по наведеному в проспекті кресленню зможете визначити довговічність направляючих і переконатися у тому, що вони забезпечать необхідну прямолінійність переміщення каретки. Інша справа, якщо виробник устаткування надасть вам офіційну довідку про результати випробувань на втрату точності переміщення каретки залежно від кількості здійснених нею подвійних ходів.

Додатковий фрезерний супорт. Замовляється деякими споживачами, що мають негативний досвід експлуатації подібних верстатів і постійно стикаються із утворенням сходинок і непрямолінійністю різу. Існує думка, що фреза, встановлена відразу за пилами, допоможе за один робочий хід вирівняти отриману кромку заготовки. Але що робити з іншою кромкою, розташованою навпроти. Її доведеться допрацьовувати окремо. Тому основні виробники кругло-пилкових верстатів таке устаткування не випускають. Подібні верстати використовуються, наприклад, при форматному обрізанні з одночасною профілізацією кромки [1].

Додатковий стіл. При первинному розкрої повноформатних плит відрізана смуга, що розташована праворуч від пили і не спирається на каретку, після сходу із столу просто звалюється із нього. У такому разі вимагається створити для неї додаткову підтримку. Деякі виробники пропонують в комплекті з основним столом спеціальний стіл, який вирішує цю проблему.

При експлуатації кругло-пилкових верстатів з кареткою для розкрою повноформатних плит слід звернути увагу на деякі особливості роботи на них. Завантажувати повноформатну плиту вагою більше 60 кг на верстат можуть тільки двоє, а то і троє робітників. При цьому вони часто зачіпають площиною плити за гострі елементи

верстата, що призводить до появи на ній неусувних дефектів – вм’ятин і подряпин.

Розкрій плит на такому устаткуванні дуже трудомісткий, а його продуктивність не перевищує 1,5 м³ плит в зміну.

Висновки.

Результати, проведеного у розділі аналізу відомих конструкцій верстатів для розкрою ЛДСП показали, що усе устаткування може бути розділено: на ручний механізований інструмент, верстати для розкрою плит вертикальні, верстати кругло-пилкові з кареткою, верстати для розкрою плит із притискною балкою, верстати із притискною балкою і програмним управлінням (з програмованим штовхальником пакету), верстати для розкрою плит багатопильні, напівавтоматичні і автоматичні лінії для розкрою плит на базі верстатів з притискною балкою.

Найкращим ручним механізованим інструментом для розпилу є електропила фірми Mafell. Проте продуктивність такої пили недостатня для використання навіть на невеликих промислових підприємствах. Продуктивність пили, як правило, не перевищує десятка розкроєних повноформатних плит у зміну.

Верстати для розкрою плит вертикальні мають низку позитивних якостей для ефективного їх використання на малих підприємствах, вони недорогі і дозволяють робити розкрій на смуги плит і деталей практично необмеженої довжини. Однак, із-за необхідності ручного подавання плит при розкрої дані верстати не забезпечують високої точності обробки, яка потрібна для виробників меблів.

Найбільш ефективними верстатами для розкрою плит на малих підприємствах із виробництва меблів за

індивідуальним замовленням є кругло-пилкові верстати. Основними виробниками цих верстатів є фірми: Altendorf, Martin, Maka, Kölle (усе − Німеччина), SCM, Griggio (Італія), Robland (Бельгія), Felder, Holztechnik (Австрія) і багато інших, у тому числі фірми Тайваню і Китаю. До головних чинників, що впливають на ефективність верстата, відносяться довжина ходу каретки, наявність підрізного агрегату, можливість нахилу пили, наявність електронних покажчиків і систем налаштування. Велике значення для довговічності верстатів і точності розкрою має конструкція направляючих для переміщення каретки. Особливе значення має додаткове устаткування, яке не завжди є у пропозиціях основних виробників. Недостатня комплектація таким устаткуванням виробництва може звести до нуля ефективність найсучасніших верстатів. Здебільшого це відбувається із-за недостатнього знання потенційними виробниками справжнього призначення устаткування, а також можливостей, які дає йому додаткове оснащення.

На меблевих підприємствах, що працюють за індивідуальним замовленням важливим компонентом кругло-пилкового верстата є упорна лінійка для різання плит під кутами відмінними від прямого. Однак основний недолік конструкцій такого додаткового устаткування є необхідність постійного витрачання часу і зусиль для монтажу і налаштування обладнання.

3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ КАРТ РОЗКРОЮ ЛДСП НА ПІДПРИЄМСТВАХ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕБЛІВ

3.1 Критерії оптимізації і технологічні параметри розкрою ЛДСП

Вимоги сучасного ринку меблевих виробів припускають скорочення термінів виконання замовлень і підвищення якості продукції за умови мінімально можливих цін. Для досягнення подібного балансу потрібна наявність, як мінімум, двох складових виробничого процесу:

- використання сучасного високопродуктивного устаткування;
- мінімізація витрат при виконанні технологічних операцій.

Стосовно завдання оптимізації розкрою матеріалів це означає, що критерій мінімізації відходів (КМВ) вже не має безумовного пріоритету. Ефективне меблеве виробництво вимагає комплексних критеріїв оптимізації, які дозволяють формувати карти розкрою, що враховують усі виникаючі витрати, в яких досягнення максимального значення КМВ є неєдиним (хоча і дуже важливим) складовим елементом.

Нові критерії повинні сприяти зменшенню трудомісткості технологічної операції розкрою, підвищенню ефективності використання наявного устаткування, забезпеченню ритмічності роботи подальших виробничих ділянок. Їх питома вага у складі комплексних критеріїв оптимізації підвищується одночасно із підвищенням рівня автоматизації виробництва [5,6].

Одним з комплексних критеріїв оптимізації, служить узагальнена вартість отримуваних в результаті розкрою деталей. До неї входять витрати на матеріали, виконання операції розкрою і додаткові витрати, пов'язані з обслуговуванням ділових обрізків, що виходять в результаті розкрою, і утилізацією відходів.

Розглянемо характер складових узагальненої вартості деталей. **Геометрична складова** визначається повною вартістю використаних повноформатних плит і ділових обрізків, отриманих при виконанні попередніх операцій розкрою.

Трудомісткість виконання розкрою залежить від трьох основних параметрів:

- кількість поворотів панелей;
- кількість установок розмірів;
- кількість карт розкрою.

Оскільки кругло-пилкові верстати і пиляльні центри реалізують прямі наскрізні пропили, то перед виконанням чергового технологічного переходу виникає необхідність повороту відрізаних смуг. Ці дії виконуються вручну і займають час, який залежить від кількості поворотів і розмірів смуг, що повертаються. Мінімізація загальної кількості поворотів панелей дозволяє сформувати карти розкрою, що забезпечують мінімальну трудомісткість і час виконання.

Технологічний перехід в операцію розкрою складається із декількох проходів, кожен із яких відповідає отриманню чергової смуги або готової деталі. При зміні типорозміру відрізаної деталі оператор встановлює спеціальні пристосування (упори), що забезпечують необхідний розмір. Кожен новий розмір смуги передбачає переустановлення упорів, яке вимагає часу і, крім того, виконується із деякою похибкою, внаслідок наявності люфту в упорах. Похибка розкрою, не впливаючи

безпосередньо на час виконання операції, може зробити негативний вплив на якість виробу. Мінімізація кількості установок розмірів означає послідовне розташування смуг з однаковими розмірами для того, щоб відпилювати їх при одній установці упорів [15].

Якщо два попередні параметри відносяться до розкрою окремих плит матеріалу, то мінімізація кількості карт розкрою дозволяє зменшити загальний час виконання усіх операцій розкрою, пов'язаних із конкретним замовленням. Це визначається двома основними чинниками: зменшенням кількості технологічних операцій розкрою і можливістю одночасного розкрою декількох плит, коли це допускає використовуване устаткування. Крім того, зменшення кількості однакових карт розкрою призводить до зменшення вірогідності виникнення суб'єктивних помилок у разі розкрою на кругло-пилкових верстатах без ЧПУ.

Для економії матеріалів на підприємстві може функціонувати склад ділових обрізків - фрагментів плит, що залишаються після виконання розкрою, які можна раціонально використати для подальшого розкрою деталей з того ж матеріалу. Використання обрізків значно підвищує коефіцієнт використання матеріалу, але вимагає при цьому додаткових витрат, пов'язаних із транспортуванням обрізків на склад і у виробництво, їх зберіганням, ідентифікацією і додатковою обробкою, наприклад, за наявності сколів [10]. Оцінити витрати на виконання цих операцій досить складно. Аналогічним чином справа йде і з витратами на утилізацію відходів. Разом із критерієм оптимізації на формування карт розкрою великий вплив роблять технологічні параметри розкрою. Їх особливістю є істотна залежність від багатьох чинників конкретного виробництва, що зумовлює необхідність розробки гнучких інструментів налаштування

при програмній реалізації модуля автоматизованого розкрою.

Сучасні тенденції розвитку меблевого ринку призводять до збільшення у складі виробів питомої ваги криволінійних деталей, технологія виготовлення яких має певні особливості. Зокрема, за наявності опуклих кромок, як правило, необхідно при технологічному проектуванні карт розкрою робити припуск у відповідну сторону для подальшої обробки. Ділянки на сполучення кромок включають особливі випадки: залежно від технології виготовлення вони можуть враховуватися або не враховуватися при додаванні припуску, причому, в першому випадку припуск додається на обидві кромки, що сполучаються. Це означає, що потрібна наявність відповідних можливостей і в модулі розкрою.

Ще одним способом технологічної корекції розмірів деталей є моделювання режиму чорнового розкрою. За умовчанням моделюється чистовий розкрій, і розпилювальні розміри розраховуються по конструкторських розмірах з моделі виробу з урахуванням припусків. Проте у ряді випадків технологія обробки припускає виконання операції фрезерування контуру деталі після розкрою. У таких випадках повинен моделюватися чорновий розкрій, перед виконанням якого задані значення припусків для кожної сторони деталі додаються до розмірів відповідних сторін.

Як випливає із сказаного, технологічні параметри розкрою є важливим доповненням до критеріїв оптимізації, що дозволяють враховувати особливості роботи конкретного меблевого виробництва.

3.2 Розробка методики автоматизації розкрою матеріалів

У системі САПР завдання оптимізації розкрою матеріалів вирішується в контексті автоматизації усієї проектної-виробничої діяльності. Операція розкрою матеріалів фактично визначає початкові умови для виконання більшості виробничих операцій. Саме це положення і лежить в основі пропонованої методики оптимізації розкрою матеріалів.

Спільне використання модуля автоматизованого розкрою матеріалів і модулів конструювання виробів дозволяє автоматично формувати, на основі моделі виробу або меблевого ансамблю, інформаційні масиви, що забезпечують безпомилкову комплектацію завдань на розкрій, виконуючи при цьому необхідну попередню обробку [2,4].

Важливою частиною попередньої обробки деталей є формування розпилювальних розмірів по конструкторських розмірах, тобто їх корекція залежно від умов виконання технологічної операції облицювання кромок і інших подальших операцій. Перший варіант корекції полягає в обліку способу облицювання: з підрізуванням контуру деталі або без підрізування. Другий варіант корекції пов’язаний із моделюванням особливостей роботи деяких кромко-облицювальних верстатів, які перед облицюванням кромок виконують операцію їх попереднього фрезерування. При використанні таких верстатів необхідно врахувати величину попереднього фрезерування, тобто автоматично змоделювати режим чорнового розкрою [18].

Важливим параметром деталей з точки зору проектування оптимальних карт розкрою є напрям текстури матеріалу або її відсутність. Цей параметр

визначається автоматично відповідно до призначень, зроблених в процесі конструювання виробу. В ході попередньої обробки інформації допускається його ручне коригування одним із наступних способів:

- зміна напряму текстури для окремої деталі;
- відмова від обліку напряму текстури для окремих деталей по естетичних або іншим міркуванням, що може привести до підвищення КМВ (наприклад, деталь є елементом цокольної коробки і розташована під дном виробу);
- відмова від обліку напряму текстури для усіх деталей, якщо відповідний матеріал не має текстури (наприклад, фарбована ДВП), або його текстура не має напряму (мармурова крихта).

Таким чином, при автоматизованому розкрої матеріалів в комплексній САПР основний масив початкової інформації формується безпомилково і в автоматичному режимі. Однак, це можливо тільки при правильному налаштуванні параметрів попередньої обробки.

Для максимального поєднання спочатку суперечливих вимог технологічності і економічності проектованих карт розкрою розроблений алгоритм побудови плану оптимального розкрою площинних матеріалів, який базується на приведенні його до розкрою погонних матеріалів (лінійному розкрою).

Відомо, що завдання побудови оптимального плану лінійного розкрою матеріалів має точне математичне рішення, причому добитися технологічності розкрою дуже просто. Завдання площинного розкрою можна звести до завдання лінійного розкрою, якщо формувати смуги, включаючи в них заготовки, розміри яких мало відрізняються одні від одних. Величина відхилення розмірів вибирається на основі аналізу результатів

виконання розкрою на ряді підприємств. Це пояснюється тим, що існує деяке граничне значення, після якого подальша зміна відхилення практично не впливає на результати розкрою.

Таким чином, спочатку виконується розкрій листа на смуги першого порядку, потім кожна смуга розкроюється на смуги другого порядку і так далі. Оскільки важливим критерієм оптимізації лінійного розкрою є досягнення максимального значення КМВ, виконуваний смуговий розкрій дає оптимальні карти розкрою на кожному технологічному рівні.

Відмітимо важливу особливість даного підходу. Початковим постулатом оптимізації карт розкрою виступає технологічність, оскільки лінійний розкрій апріорі технологічний. Рішення задачі досягнення максимального значення КМВ знаходиться вже для технологічних карт розкрою. Це дозволяє оптимальним чином вирішити протиріччя між економічністю і технологічністю проектованих карт розкрою.

При практичній реалізації пропонованої методики використовується підхід, що базується на заданні пріоритетів дії критеріїв оптимізації. Для цього складається список критеріїв, що включає ряд позицій, які визначають такі параметри, як матеріаломісткість, трудомісткість виготовлення виробів і т.і:

- максимізація значення КМВ;
- мінімізація загальної кількості пропилів;
- мінімізація кількості установок розмірів;
- мінімізація кількості поворотів панелей;
- мінімізація довжини пропилів;
- мінімізація кількості карт розкрою;
- оптимізація розмірів ділових обрізків.

Критерій мінімізації відходів може розраховуватися двома способами: з урахуванням і без

урахування подальшого використання ділових обрізків. Його значення багато у чому залежить від набору типорозмірів заготовок. Відповідно до, на сьогодні існуючих, норм корисний вихід матеріалу повинен складати:

- не менше 92% при розкрої ДСП;
- 88...90% при розкрої твердих ДВП із лакофарбованим покриттям;
- 85% при розкрої фанери.

В умовах середнього індивідуального промислового виробництва набір використовуваних типорозмірів заготовок, як правило, досить широкий. Розміри повноформатних плит можуть варіюватися залежно від матеріалу і використовуваної партії. Ці чинники ведуть до зменшення потенційно досяжних значень КМВ, але у якості орієнтовних показників ці рекомендації актуальні.

Мінімізація загальної кількості пропилів, кількості установок розмірів і кількості поворотів панелей визначає окремі аспекти технологічності карт розкрою і має особливу актуальність при проектуванні розкрою великої кількості повноформатних листів.

Мінімізація загальної довжини пропилів характеризує знос різального інструменту і переважає при роботі з особливо твердими або крихкими матеріалами, що вимагають дорогого інструменту.

Мінімізація кількості карт розкрою дозволяє зменшити кількість різних дій оператора кругло-пилкового верстата, зменшуючи вірогідність виникнення помилок суб’єктивного характеру.

Оптимізація розмірів ділових обрізків припускає формування карт розкрою так, щоб розміри обрізків були максимальними, а їх кількість – мінімальною. Використання цього критерію виправдане за наявності і хорошій організації роботи складу обрізків. Як правило,

критерій оптимізації розмірів обрізків носить допоміжний характер і використовується при проектуванні в якості уточнювального показника за наявності декількох практично однакових варіантів оптимального розкрою. На трудомісткість розкрою і подальшого процесу організації технологічного потоку впливає склад деталей в карті розкрою. Проектуючи розкрій матеріалів, слід прагнути до того, щоб при розкрої однієї плити або листа виходила мінімальна кількість типорозмірів деталей, а повторення одних і тих же деталей в різних картах розкрою було мінімальним або взагалі виключалося.

Набір вказаних критеріїв є суперечливим такою безліччю вимог, тому залежно від поставленого завдання технолог повинен визначити пріоритет їх дії. Використання подібної методики дозволяє отримувати карти розкрою, максимально адаптованими до конкретного виробництва.

Для додаткового підвищення технологічності карт розкрою на кожному рівні виконується операція сортування заготовок у смузі. При виборі методу сортування, технологові необхідно оцінити властивості матеріалу і геометричні розміри заготовок, після чого вибрати один з варіантів:

- по зменшенню значення КМВ в смузі;
- по зменшенню або збільшенню ширини смуг;
- по збільшенню ширини смуг, починаючи від центру листа;
- по зменшенню розмірів смуг з розміщенням найширшої смуги останньою;
- по зменшенню значення КМВ в смузі з розміщенням найширшої смуги останньою.

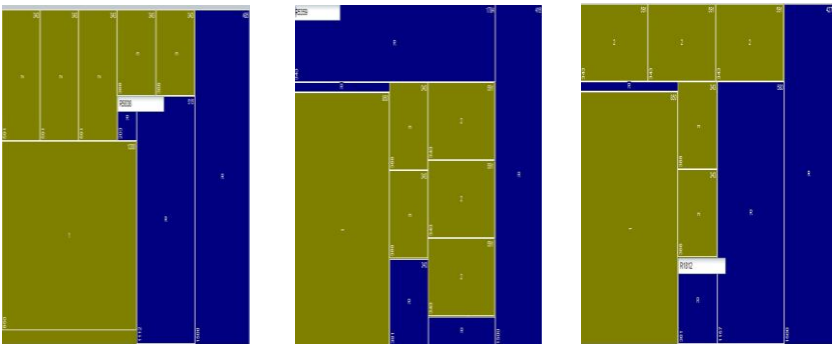
Не можна однозначно сказати, яка із приведених карт розкрою краща. Право вибору залишається за технологом, оскільки усе залежить від конкретної

виробничої ситуації і властивостей використовуваного матеріалу. Відмітимо, що методи сортування не впливають на значення КМВ, вони тільки вносять додатковий вклад в отримання технологічних карт розкрою.

Пропонований підхід до проектування карт розкрою матеріалів розділяє оптимізацію розподілу заготовок і їх сортування. Це дозволяє реалізувати гнучке налаштування алгоритмів на технологічні умови конкретного підприємства.

3.3 Багатокритеріальна оптимізація розкрою плит ЛДСП для індивідуального меблевого виробництва

Проектування карт розкрою листів ЛДСП на переважній більшості підприємств із одиничного меблевого виробництва за допомогою спеціалізованих комп'ютерних програм, як правило, зводиться до двох етапів. На першому етапі будується декілька можливих карт розкрою, що задовольняють певним заданим критеріям (рис. 3.1 а, б. в), на другому - із цієї множини, емпіричним шляхом, визначається краща карта.



а б в

Рисунок 3.1

Відповіно до цього, у процесі розрахунку розкрою на виробництві, можна виділити два основні класи завдань.

Перший клас - це завдання геометричного моделювання на ПК, в ході виконання якого вирішується питання розміщення потрібних деталей на листі і отримання карти розкрою. Реалізацію завдань такого роду забезпечують, у тій чи іншій мірі, практично всі спеціалізовані програми розкрою, хоча слід зазначити, що це безпомилково працює при розкроюванні листів на деталі тільки прямокутної форми.

Другий клас завдань представляє собою розв’язання суто оптимізаційних задач, які, у більшості випадків, на виробництві взагалі не враховуються (емпіричні методи простого перебору не беруться до уваги).

Ми пропонуємо, на даному етапі, запровадити простий алгоритм багатокритеріальної оптимізації, який дозволятиме швидко і ефективно аналізувати отримані на першому етапі карти розкрою за визначеними критеріями оптимізації, коригувати їх значущість і пріоритетність, а отже генерувати ті карти розкрою, які будуть найбільш раціональними для виробництва за даних умов.

Виходячи із результатів, отриманих у роботах [16, 17], можна констатувати, що багатокритеріальні задачі оптимізації, як правило, не мають «ідеального розв'язку». Відтак, практично неможливо досягти в задачі оптимуму у одній і тій же точці за набором всіх визначених критеріїв. Тому основна проблема при рішенні задач БО – формалізація принципу оптимальності. У разі відсутності «ідеального розв'язку» в задачі БО шукається компромісне рішення.

Для всякої альтернативи $X \in D$ вектор із значень цільових функцій $(F1(X), F2(X),...Fn(X))$ є векторною оцінкою альтернативи. Векторна оцінка альтернативи містить, як правило, повну інформацію про оптимальність цієї альтернативи для особи, яка приймає рішення (ОПР). Порівняння будь-яких декількох можливих результатів замінюється порівнянням їх векторних оцінок.

Розв'язок такої багатокритеріальної задачі шукається у n- вимірному просторі. Для того, щоб вектор розв'язку $X = \left(x_1, x_2, x_3..., x_n\right)$ знаходився в одиничному гіперкубі необхідно нормувати значення цільових функцій до безрозмірних величин із діапазону від 0 до 1, використовуючи наступний вираз:

$$Fn_{норм.}(x_n) = \frac{Fn(x_n) - \min Fn}{\max Fn - \min Fn}. \qquad (3.1)$$

При відсутності обмежень виду $g\left(x_1, x_2, x_3..., x_n\right) \le b_i$, радіус-вектор із координатами $\vec{r}_{\max} = \left(1,1,1...,1\right)$ або $\vec{r}_{\min} = \left(0,0,0...,0\right)$ n- вимірного одиничного гіперкуба буде оптимальним розв'язком багатокритеріальної задачі. Довжина такого вектора буде своєрідним «мірилом оптимальності» багатокритеріальної задачі.

Математичну постановку задачі можна подати у наступному вигляді:

$$F = t_1 F1 + t_2 F2 + t_3 F3 + ... + t_n Fn \to opt, \qquad (3.2)$$

де $(F1,\ F2,\ F3...,...Fn)_{норм.}$ - нормовані функції оптимізації за критеріями 1,2, …n;

$t_1 + t_2 + t_3 + ... + t_n = 1$ - коефіцієнти пріоритетності оптимальності за кожним із критеріїв.

Зведемо поставлену багатокритеріальну задачу до множини однокритеріальних задач, причому із умовами:

- довжина вектора $X = (x_1, x_2, x_3..., x_n)$ повинна прагнути до оптимуму (мінімуму/максимуму);
- відношення довжини вектора-мірила до довжини вектора розв'язків повинно бути мінімальним;
- відношення довжини вектора-мірила до відстані між векторами r_{opt} і r_k - прагне до максимуму;
- відношення відстані між векторами r_{opt} і r_k до довжини вектору розв'язків повинно бути мінімальним.

Кожна із вищенаведених умов має наступну властивість. Оптимальний вектор для кожної із вимог дасть оптимальний по Парето вектор рішення задачі (2).

А виконання сукупності умов - дасть Парето-оптимальний вектор рішення багатокритеріальної задачі за множиною однокритеріальних задач. Графічно така властивість інтерпретується як пошук вектора найбільш близького за якісними характеристиками до вектора-мірила (рис. 3.2).

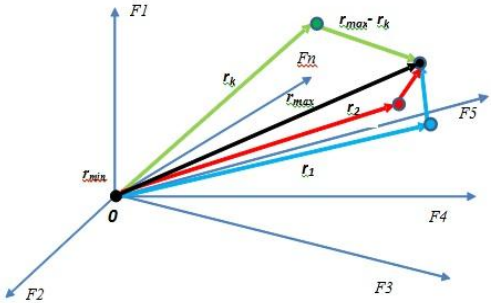


Рисунок 3.2

Перед початком роботи із функцією багатокритеріальної оптимізації (3.2):

1) виходячи із потреб виробництва, визначаються складові функції цілі або критерії оптимізації;

2) визначаються, індивідуальні для кожної функції Fn оптимізаційної задачі, необхідні параметри, обмеження і т. і.

Далі, на першому етапі, використовуючи спеціалізовані комп’ютерні програми розкрою, виокремлюється множина раціональних способів розкрою для конкретного виробничого випадку.

На другому етапі розв’язується комплекс задач лінійного програмування по визначенню інтенсивності використання раціональних карт розкрою за конкретним критерієм оптимізації.

$$Fn(\mathrm{x}_n) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + ... + a_k x_n \to \min . \qquad (3.3)$$

Кожна така окрема задача зводиться до пошуку набору параметрів або вектору типу:

$$x_n = (x_1, x_2, ...x_n),$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \le b_i, \quad i = \overline{1,m} \\ \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \ge d_i, \quad i = \overline{1,m} \\ x_j \ge 0, \quad j = \overline{1,n} \end{cases} . \qquad (3.4)$$

Задачі такого типу можна розв’язувати симплекс-методом, в основі якого лежить принцип опорних базисних розв’язків, що теж інтерпретуються вершинами гіпер-багатогранників у багатовимірному просторі [3, 11, 17].

При знаходженні початкового базисного розв’язку, як правило, виходять із певних апріорних припущень відносно оптимальності вибору шуканих проектних параметрів x_n. А кількість ітерацій у симплекс-методі прямо залежить від міри «наближеності» початкового базисного розв’язку до оптимального.

Пропонується удосконалити процес вибору початкового базисного розв’язку для подальшого швидкого знаходження оптимальних значень проектних параметрів. Представимо постановку задачі у вигляді симплекс-таблиці виду (3.1):

Розіб’ємо алгоритм на декілька етапів:

1. Вводимо у задачу додаткові змінні xx_1, xx_2, ….. xx_n, кількість яких дорівнює кількості нерівностей, що

описують обмеження, зводячи тим-самим задачу до канонічного виду.

2. На відміну від класичної постановки задачі, не будемо вимагати додатності правих частин перетворених рівнянь обмежень, а додаткові змінні беремо всі із додатними знаками. Додаткові змінні стануть основою для формування початкового базисного розв'язку.

Таблиця 3.1 – Симплекс-таблиця оптимізаційної задачі

	x_1	x_2	$\cdots$	x_n	xx_1	xx_2	$\cdots$	xx_n	b_n	d_n	δ
xx_1	$-a_{11}$	$-a_{12}$	$\cdots$	$-a_{1n}$	1	0	$\cdots$	0	b_1		
xx_2	$-a_{21}$	$-a_{22}$	$\cdots$	$-a_{2n}$	0	1	$\cdots$	0	b_2		
xx_3	$-a_{31}$	$-a_{32}$	$\cdots$	$-a_{3n}$	0	0	$\cdots$	0		$-d_1$	
$\cdots$	……	……	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$
xx_n	$-a_{m1}$	$-a_{m2}$	$\cdots$	$-a_{mn}$	0	0	$\cdots$	1		$-d_n$	
$\Delta z \geq 0$	$-c_1$	$-c_2$		$-c_n$	0	0		0	0	0	

3. Відтак процес скорочення від'ємних компонент базисного розв'язку будемо виконувати у такому порядку:

а) вибір роздільного стовпця. Його вибираємо, на відміну від «класики», відповідно до правила $-\sum_{1}^{mn} a_{mn} \min$

із елементів стрічок із від'ємними правими частинами вибираємо мінімальне значення;

б) вибір роздільної стрічки здійснюємо за правилом. Для $b \geq 0$ вибираємо найменше значення b_n / a_{mn} роздільного стовпця. Для $b \leq 0$ вибираємо значення b_n / a_{mn}, яке найближче знаходиться до min b_n / a_{mn} роздільного стовпця.

Перетворивши таблицю методом Жордана-Гаусса, практично зразу отримаємо допустимий початковий базисний розв'язок. У більшості випадків такий підхід дозволяє одночасно змінити на додатні більшість правих частин рівнянь обмежень, що призводить до суттєвого скорочення кількості ітерацій симплекс-методу.

На третьому етапі розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації, виходячи із специфічних економічних і технологічних умов виробництва, встановлюються коефіцієнти пріоритетності $t_1, t_2, ...t_n$ за цілями оптимізації і знаходиться узагальнений розв'язок.

Загальний підхід до реалізації математичної моделі за сукупністю вибраних критеріїв може відбуватися, наприклад, наступним чином:

за критерієм мінімізації кількості цілих плит ЛДСП для реалізації замовлення

$$K_n x_1 + K_n x_2 + ... + K_n x_{k-1} + K_n x_k \to \min;$$

за критерієм мінімізації відходів за площею при розкрої ЛДСП для виконання замовлення

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + ... + a_{k-1} x_{k-1} + a_k x_k \to \min;$$

за критерієм мінімізації сумарної довжини ліній різу при розкрою ЛДСП

$$b_1 x_1 + b_2 x_2 + ... + b_{k-1} x_{k-1} + b_k x_k \to \min;$$

за критерієм мінімізації вартості використаних плит ЛДСП для виготовлення замовлення

$$V_1x_1 + V_2x_2 + ... + V_{k-1}x_{k-1} + V_kx_k \to \min;$$

за критерієм мінімізації кількості різнотипних деталей на плиті ЛДСП при виготовленні замовлення

$$r_1x_1 + r_2x_2 + ... + r_{k-1}x_{k-1} + r_kx_k \to \min,$$

та інші критерії.

Зводимо всі результати у спеціальні таблиці і, виходячи із завдань виробництва, визначаємо коефіцієнти важливості (пріоритети) для кожного із критеріїв оптимізації. Використовуючи (3.1), нормуємо значення цільових функцій для всіх вибраних критеріїв. На основі запропонованих алгоритмів, було розроблено програмне забезпечення із автоматизованого розрахунку і оптимізації критеріїв (рис. 3.3).

А кінцевий розв'язок багатокритеріальної задачі оптимізації зводиться до пошуку вектора найбільш близького до еталону за якісними характеристиками і пріоритетністю.

Цей вектор буде базуватися на наборі елементів знайдених варіантів розкрою, що відповідає завданню багатокритеріальної оптимізації. Змінюючи пріоритетність критеріїв, ми тим самим можемо оперативно впливати на умови виробничих процесів підприємства.

У підсумку, на основі аналізу стандартних етапів та можливостей відомих програм комп'ютерного розрахунку раціонального розкрою матеріалів нами представлено загальну методику та алгоритми розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації розкрою листів ЛДСП на елементи із різними геометричними параметрами для меблевих виробництв індивідуального замовлення.

Визначено особливості постановки та критерії задачі багатокритеріальної оптимізації, які дозволяють швидко і ефективно аналізувати якість отриманих на першому етапі карт розкрою, коригувати значущість і пріоритетність кожного із вибраних критеріїв оптимізації.

Нами удосконалено алгоритм пошуку початкового базисного розв'язку задачі лінійного програмування, який суттєво скоротив кількість ітерацій в розрахунковій схемі та спростив процес розрахунку. Проведено комп'ютерну реалізацію розроблених алгоритмів.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**Способи розкрою плит ДСП**				0						
2					Варіанти карти розкрою						
3											
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8		
5											
6	Значення	8	0	0	8	8	6	0	8		
7	Параметри кількості цілих плит Сума	1	1	1	1	1	1	1	1	34	плит на 24
8											
9											
10	**Деталі**										
11											
12	1 Розмір деталі більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551		
13	менший розмір	845	845	845	845	845	845	845	845		

а

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**Способи розкрою плит ДСП**				0						
2					Варіанти карти розкрою						
3											
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8		
5											
6	Значення	8	0	0	8	8	6	0	8		
7	Параметри цільової функції по площі відходів - Сума	0,53	0,78	1,17	0,27	0,71	0,39	0,25	0,21	16,1	м2
8											
9											
10	**Деталі**										
11											
12	1 Розмір деталі більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551		
13	менший розмір	845	845	845	845	845	845	845	845		

б

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**Способи розкрою плит ДСП**				0						
2					Варіанти карти розкрою						
3											
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8		
5											
6	Значення	6	3	0	8	12	3	6	0		
7	Параметри цільової функції по довжині ліній різу - Сума	8,216	12,398	8,44	20,5	4,23	6,298	8,391	10,218	370,49	м п
8											
9											
10	**Деталі**										
11											
12	1 Розмір деталі більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551		
13	менший розмір	845	845	845	845	845	845	845	845		
14											

в

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**Способи розкрою плит ДСП**				0						
2					Варіанти карти розкрою						
3											
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8		
5											
6	Значення	8	0	0	8	8	6	0	8		
7	Параметри цільової функції по вартості 1 плити - Сума	630	630	630	440	440	440	350	350	17520	грн.
8											
9											
10	**Деталі**										
11											
12	1 Розмір деталі більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551		
13	менший розмір	845	845	845	845	845	845	845	845		

г

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**Способи розкрою плит ДСП**				0						
2					Варіанти карти розкрою						
3											
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8		
5											
6	Значення	6	3	0	8	12	3	6	0		
7	Параметри цільової функції різнотипних деталей плити	1	2	1	1	1	1	2	3	47	плит на 24
8											
9											
10	**Деталі**										
11											
12	1 Розмір деталі більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551		
13	менший розмір	845	845	845	845	845	845	845	845		
14											

д

Рисунок 3.3

Висновки.

Ефективне меблеве виробництво вимагає комплексних критеріїв оптимізації, що дозволять формувати карти розкрою, які врахують усі виникаючі витрати і у яких досягнення максимального значення КМВ (критерій мінімізації відходів) є неєдиним (хоча і дуже важливим) складовим елементом.

Розроблені нові критерії оптимізації повинні сприяти зменшенню трудомісткості технологічної операції розкрою, підвищенню ефективності використання наявного устаткування, забезпеченню ритмічності роботи подальших виробничих ділянок.

Запропоновані технологічні параметри розкрою є важливим доповненням до критеріїв оптимізації, що дозволяють враховувати особливості роботи конкретного меблевого виробництва.

4 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ, УСТАТКУВАННЯ ТА МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗКРОЮ ЛДСП

4.1 Удосконалення конструкції розкрійних верстатів шляхом розробки універсальної лінійки для косих різей

Впровадження результатів проведених досліджень здійснювалось нами на приватному підприємстві VAM – SV (Волинська асоціація меблярів, м Луцьк), напрямками діяльності якого є виготовлення меблів за індивідуальними замовленнями, виготовлення лабораторних меблів, а також розкрій ДСП, ХДФ, постформінгу (порізка прямолінійна під 90º, під кутом і порізка криволінійна), поклейка кромки, нарізання пазів, свердління отворів під петлі тощо.

Ознайомившись зі статистикою замовлень на підприємстві, було виявлено зростання кількості нестандартних підходів до виготовлення меблів. А саме, суттєва кількість замовлень на виготовлення меблів зі скошеними кутами і кривими лініями. Наприклад:

– торцеві модулі для кухонь зі зрізаними кутами для економії простору (рис. 4.1, 4.2);

– кутові меблі: комп’ютерні столи (рис. 4.3), шафи-купе (рис. 4.4);

– меблі для мансардних приміщень або горищ зі скошеною стелею (рис. 4.5, 4.6);

– меблі у дитячі садки та нову українську школу (рис. 4.7);

– лабораторні меблі (рис. 4.8)

– нестандартні дизайнерські рішення (4.9, 4.10).

Рисунок 4.1

Рисунок 4.2

Рисунок 4.3

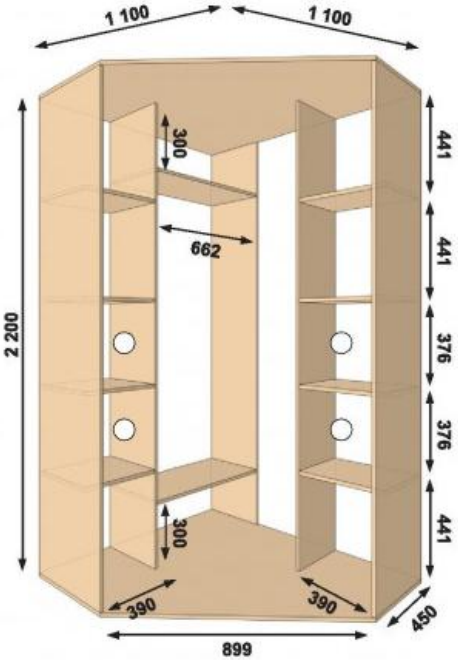


Рисунок 4.4

Рисунок 4.5

Рисунок 4.6

Рисунок 4.7

Рисунок 4.8

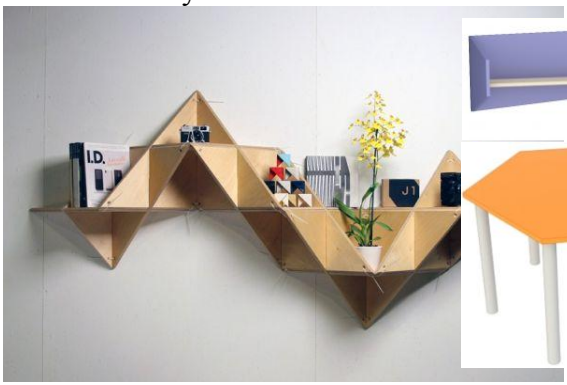


Рисунок 4.9

Рисунок 4.10

Одним з останніх замовлень фірми для закладів середньої освіти Луцького району був комплект одно- та двомісних столів у комп'ютерний клас (рис. 4.11, а, б), які можуть швидко та зручно трансформувитися у видовжений стіл для конференц-залу (рис. 4.12). Як бачимо, більшість деталей містить криволінійні елементи і це також значно ускладнює технологію їх порізки. В умовах одиничного виробництва закупівля складного устаткування для виконання даного і подібних замовлень є економічно невиправданою. На практиці ж пропонується ці деталі вирізати із плит на більш дрібні елементи, в т.ч. і під кутом з подальшим вирізанням за заданими криволінійними траєкторіями.

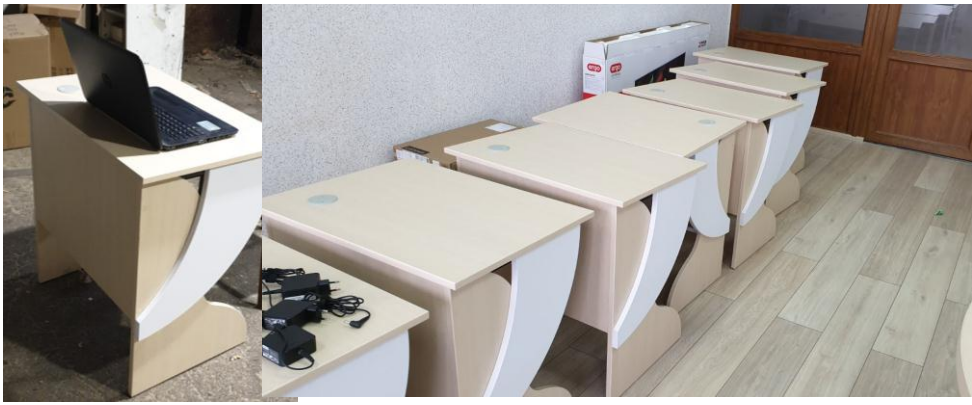
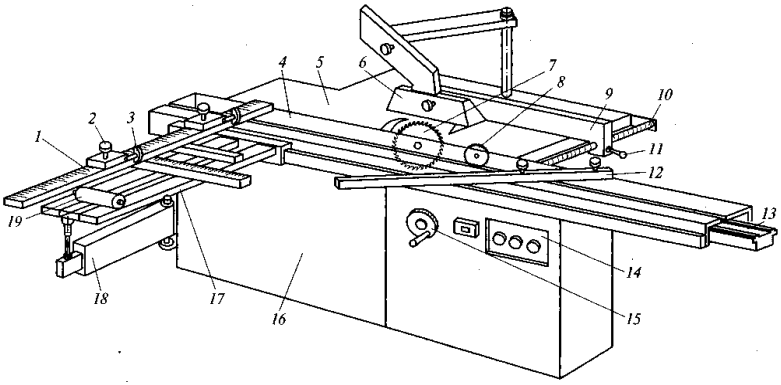


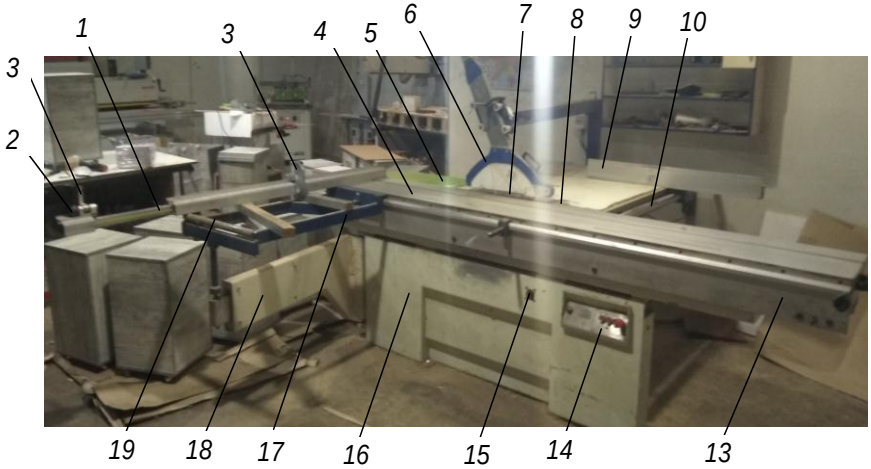
Рисунок 4.11

Рисунок 4.12

Для реалізації поставлених завдань, які іноді не під силу іншим підприємствам, підприємство VAM–SV оснащене відповідним устаткуванням. Зокрема, для розкрою плит використовуються горизонтальні кругло-пилкові верстати із рухомою кареткою типової конструкції (рис. 4.13, а). Також на згаданому вище підприємстві знаходиться в експлуатації верстат **Altendorf**, який має аналогічну компоновку (рис. 4.13, б), і є досить надійним, високошвидкісним і в цілому достатньо ефективним професійним верстатним обладнанням.



а



б

Рисунок 4.13 Схема (а) та фото (б) існуючої конструкції верстата для розкрою плитних матеріалів: 1 – поперечна лінійка; 2 – фіксатор упору; 3 – упор; 4 – основна каретка; 5 – стіл; 6 – огородження із захистом; 7 – основна пила; 8 – підрізна пила; 9 – паралельна лінійка; 10 – напрямна; 11 – рукоятка фіксатора; 12 – кутова лінійка; 13 – підставка каретки; 14 – пульт управління; 15 – маховичок нахилу

пил; 16 – станина; 17 – додаткова каретка; 18 – телескопічний кронштейн; 19 – опорний ролик

Однак, для реалізації замовлень, які містять деталі з кутовими різами (відмінними від 90º), ці верстати пристосовані не достатньо. А саме, кутова лінійка 12 (рис. 4.13) не є стаціонарним вузлом, а вмонтовується в каретку лише за необхідності і знаходиться поза робочою зоною верстата на території цеху. І, як показує виробничий досвід, монтаж, демонтаж і налаштування даного пристосування займає близько 20 хв. робочого часу. Цей вузол також є технічно не пристосованим до частого переналагодження через швидке спрацювання елементів кріплення, які виходять із ладу. Кутова шкала, втоплена у каретці, не досить зручно розміщена для оператора і часто випадає в процесі експлуатації, сама лінійка часто губиться у випадку, коли кутових різей робити не потрібно і у ній немає необхідності.

З метою усунення цих недоліків пропонується оснащення форматно-розкрійного верстата кутовою лінійкою іншого конструктивного виконання. Комп’ютерна модель верстата зі стаціонарною універсальною лінійкою для кутових різей зображено на рис. 4.14.

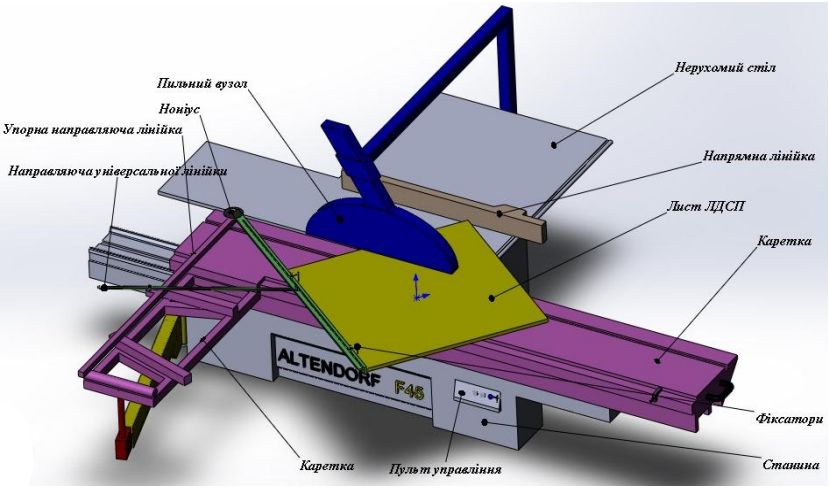


Рисунок 4.14

Даний верстат зовні містить ті ж самі елементи: станина, рухома каретка, нерухомий стіл, пильний вузол із системою аспірації, каретка допоміжна бокова, пульт управління. Внутрішня компоновка, а саме приводні та передавальні механізми, елементи управління та регулювання – незмінні. Відмінність полягає лише у додатковому оснащенні верстата стаціонарною універсальною лінійкою зі швидким переналагодженням для кутових різей деталей.

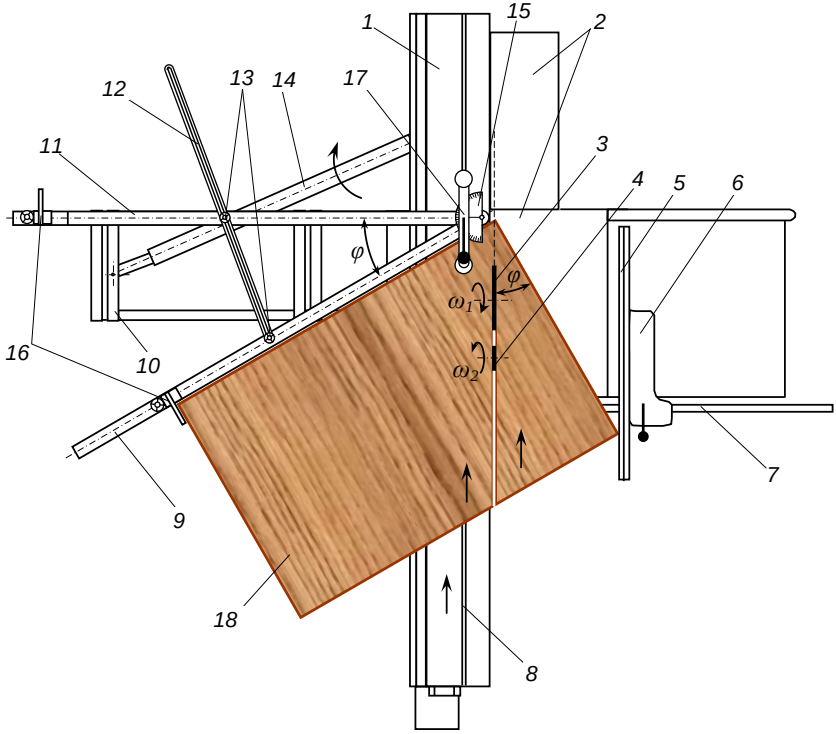


Рисунок 4.15 Схема роботи кругло-пилкового верстата з універсальною лінійкою у випадку різання під кутом, відмінним від 90º (вид зверху): 1 – каретка рухома; 2 – стіл нерухомий; 3 – пила основна; 4 – пила підрізна; 5 – лінійка паралельна; 6 – кронштейн переміщення лінійки паралельної; 7 – напрямна лінійки паралельної; 8 – паз; 9 – лінійка кутова; 10 – підтримуюча каретка; 11 – лінійка поперечна упорна; 12 – напрямна лінійки кутової; 13 – фіксатор; 14 – кронштейн телескопічний; 15 – ноніус; 16 – упор; 17 – прижим ексцентриковий; 18 – заготовка (фрагмент плити ЛДСП).

Універсальна лінійка (рис. 4.15) складається з двох лінійок: поперечної упорної телескопічної лінійки 11 і кутової лінійки 9 з нанесеними шкалами, шарнірно з'єднаних між собою. У місці їх з'єднання жорстко закріплений ноніус 15 із покажчиком кута для точного його фіксування, напрямну поворотну планку 12 із фіксаторами 13. Для надійного позиціювання і утримування заготовки (плити ЛДСП) служить упор 16 і ексцентриковий прижим 17.

У випадку стандартного режиму роботи, тобто різання під кутом 90º ці дві лінійки знаходяться паралельно одна до одної, кутова лінійка, яка у січенні являє собою літеру Г, верхньою частиною накриває поперечну лінійку, розташовуються перпендикулярно до лінії різання і жорстко фіксуються між собою. Коли необхідно виконати різання під кутом φ, відмінним від 90º, кутова лінійка переміщається на цей же кут φ, фіксується за допомогою ноніуса і напрямної із прижимами у нерухомому положенні. Після цього на каретку поміщають заготовку (плиту), вимірюють на лінійці 9 потрібний розмір, встановивши у потрібному положенні упор 16 і закріплюють за допомогою ексцентрикового прижиму 17, потім переміщають паралельну лінійку для упору до плити, далі вмикають пильний вузол, і при набиранні номінальних обертів основною і підрізною пилами, виконують розпилювання.

Запропоноване удосконалення конструкції дасть змогу збільшити технологічні можливості кругло-пилкового форматно-розкрійного верстата, а саме більш раціонально і швидко його переналагоджувати для різання під кутом, відмінним від 90º, і навпаки. Додатково очікується і покращення ергономічних показників та безпеки праці на підприємстві. Зазначені конструкційні зміни дозволять за рахунок економії робочого часу більш

ефективно реалізовувати найрізноманітніші карти розкрою та програмні результати, розроблені та описані у даній монографії.

4.2 Приклад роботи програмного продукту із оптимізації карт розкрою на виробництві

З метою ілюстрації дієвості запропонованого нами підходу до оптимізації карт розкрою, працездатності програмних продуктів, ефективності застосування універсальної лінійки для косих різей, розглянемо конкретний виробничий приклад для підприємства «VAM – SV».

Для виготовлення 1 виробу, стола у шкільний комп'ютерний клас, який спроектовано у програмі *PRO100*, необхідно виготовити 7 деталей різної геометричної форми із плит ЛДСП. Дане замовлення для підприємства «VAM – SV» із виробництва меблів склало 24 стола. На складі фірми у наявності є листи ламінованого ДСП у потрібній кольоровій гамі розмірами: 2440х1830мм, 1830х1500мм, 1830х1220мм.

Таблиця 4.1 – Специфікація плит ЛДСП

Nп/п	Розміри ЛДСП	Вартість плити	Кількість плит на складі (шт.)
1	2440х1830мм	630 грн.	10
2	1830х1500мм	440 грн.	30
3	1830х1220мм	350 грн.	16

Обмеження наявності числа плит певного виду та розміру на складі можуть виникати, виходячи із економічних чинників, тобто вартості плити кожного типорозміру ЛДСП.

Відповідно до результатів, отриманих у підрозділі 3.3, цілями для реалізації конкретної математичної моделі (критеріями оптимальності) можуть бути:

1) мінімізація кількості цілих плит ЛДСП для реалізації замовлення;

2) мінімізація відходів за площею при розкрою ЛДСП для виконання замовлення;

3) мінімізація сумарної довжини ліній різу при розкрою ЛДСП;

4) мінімізація вартості використаних плит ЛДСП для виготовлення замовлення;

5) мінімізація кількості різнотипних деталей на плиті ЛДСП при виготовленні замовлення.

Змінні - $xn_1, xn_2, ...xn_{k-1}, xn_k$ - число плит із різними розмірами розкроєними k способом за критерієм n. Параметри - $Z_1, Z_2, Z_3...Z_n$ - типи плит ЛДСП із різними розмірами, які можна використати для реалізації замовлення; $a_1, a_2, ...a_{k-1}, a_k$ - площа відходів після розкрою плити за визначеною, із використанням, наприклад, програми *Cutting*, картою розкрою; $b_1, b_2, ...b_{k-1}, b_k$ - сумарна довжина ліній різу для розкрою плити на деталі за визначеною картою розкрою; $V_1, V_2, V_3...V_n$ - вартість плити ЛДСП відповідного розміру; $\alpha_1 Z_1, \alpha_2 Z_2, \alpha_3 Z_3...\alpha_n Z_n$ - максимальна кількість кожного виду плити на складі.

Обмеження задачі. $xn_1, xn_2, ...xn_{j-1}, xn_j$ - цілі числа: число плит повинно бути цілим; $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, ...x_{j-1} \geq 0, x_j \geq 0$ - число плит для реалізації замовлення не може бути від'ємним.

Кількість кожної із деталей для виконання замовлення - P. Кількість деталей певного виду

відповідно карти розкрою для плити із типорозмірами - u_n. Кількість плит певного типорозміру - K_n.

Реалізація математичної моделі за сукупністю вибраних критеріїв відбувається наступним чином:

за критерієм 1 (мінімізація кількості цілих плит ЛДСП для реалізації замовлення)

$$K_n x_1 + K_n x_2 + ... + K_n x_{k-1} + K_n x_k \to \min;$$

за критерієм 2 (мінімізація відходів за площею при розкрої ЛДСП для виконання замовлення)

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + ... + a_{k-1} x_{k-1} + a_k x_k \to \min;$$

за критерієм 3 (мінімізація сумарної довжини ліній різу при розкрої ЛДСП)

$$b_1 x_1 + b_2 x_2 + ... + b_{k-1} x_{k-1} + b_k x_k \to \min;$$

за критерієм 4 (мінімізація вартості використаних плит ЛДСП для виготовлення замовлення)

$$V_1 x_1 + V_2 x_2 + ... + V_{k-1} x_{k-1} + V_k x_k \to \min;$$

за критерієм 5 (мінімізація кількості різнотипних деталей на плиті ЛДСП при виготовленні замовлення)

$$r_1 x_1 + r_2 x_2 + ... + r_{k-1} x_{k-1} + r_k x_k \to \min.$$

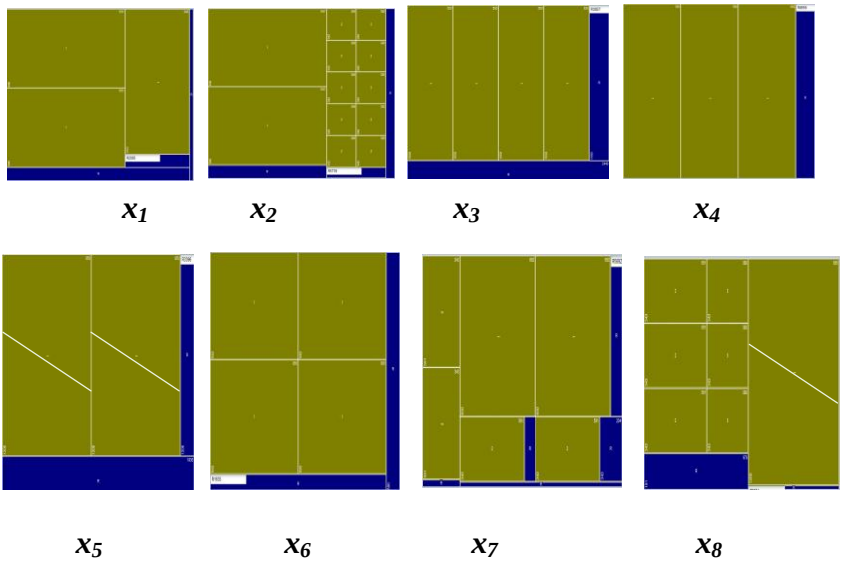


Рисунок 4. 16

У нашому прикладі було виокремлено 8 карт можливих варіантів раціонального розкрою листів ЛДСП, заданих розмірів, обчислених за допомогою програми *Cutting*, для виконання замовлення (рис. 4.16, $x_1 - x_8$). В таблиці 4.2 наведено варіанти виходу окремих заготовок та підраховані значення всіх коефіцієнтів для розв'язання одновимірних оптимізаційних задач за заданими критеріями.

Таблиця 4.2 – Варіанти розміщення елементів розкрою на листах ЛДСП

	Плити	*2440х1830мм 630грн. S=4.465 м²*			*1830х1500мм 440грн. S=2.745 м²*			*1830х1220мм 350грн. S=2.233м²*	
N	**Найменув. деталей**	Xn_1	Xn_2	Xn_3	Xn_4	Xn_5	Xn_6	Xn_7	Xn_8

1	Столешниця 1551х845мм	***3***	***2***	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
2	Зад. стінка1500х550мм	**-**	**-**	***4***	***3***		**-**	**-**	**-**
3	Боковина 1200х850мм	**-**	**-**	**-**	**-**	***2***	**-**	**-**	***1***
4	Перегор. центр. 850х692мм	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	***4***	***2***	**-**
5	Полиця 1 591х343мм	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	***4***	***3***
6	Полиця 2 388х343мм	**-**	***8***	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	***3***
		1	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***
	Sдет. (м^2)	***3.932***	***3.686***	***3.3***	***2.475***	***2.040***	***2.353***	***1.987***	***2.027***
	Sвідход. (м^2)	***0.53***	***0.78***	***1.17***	***0.27***	***0.71***	***0.39***	***0.25***	***0.21***
	Lрізу. (м)	***8.216***	***12.39***	***8.440***	***20.5***	***4.23***	***6.298***	***8.391***	***10.218***
		1	***2***	***1***	***1***	***1***	***1***	***2***	***3***

При цьому, система обмежень для оптимізації за кожним із вище наведених критеріїв набуде вигляду:

1. По випуску елементів стола:

$3x_1 + 2x_2 = 24$, $4x_3 + 3x_4 = 24$, $2x_5 + 1x_8 = 24$, $4x_6 + 2x_7 = 24$, $4x_7 + 3x_8 = 24$, $8x_2 + 3x_8 = 24$.

2. По запасам на складі плит визначеного розміру для розкрою:

$$x_1 + x_2 + x_3 \le 10,\ x_4 + x_5 + x_6 \le 30,\ x_7 + x_8 \le 16.$$

Використовуючи наведений вище підхід із удосконаленим алгоритмом вибору початкового базисного розв’язку, шукаємо симплекс-методом оптимальний план розкрою ЛДСП окремо за кожним із поставлених критеріїв (рис. 4.16).

Результатом обчислень стали два оптимальні набори розкрою плит за різними критеріями. Перший набір - 8,0,0,8,8,6,0,8, пов'язаний із використанням для повного виконання замовлення: 8 плит розміру 2440х1830мм, 22 плити розміру 1830х1500мм і 8 плит розміру 1830х1220мм. Друга оптимальна комбінація за іншими критеріями - 6,3,0,8,12,3,6,0: 9 плит розміру 2440х1830мм, 23 плити розміру 1830х1500мм і 6 плит розміру 1830х1220мм. Слід зазначити, що на даному етапі геометричні параметри форми елементів, як результату розкрою плит, не впливають на методику розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації.

Зводимо всі результати у таблицю 4.3 і, виходячи із завдань виробництва, визначаємо коефіцієнти важливості (пріоритети) для кожного із критеріїв оптимізації. Використовуючи (3.1), нормуємо значення цільових функцій для критеріїв 1-5.

Таблиця 4.3 – Пріоритетність критеріїв багатокритеріальної оптимізації

	Кількість типів плит для оптимальної розкладки елементів	Число плит для виконання замовлення абс./норм	Загальна площа відходів абс./норм	Загальна довжина різі плит абс./норм	Загальна вартість сировини абс./норм	Число плит з мінімаль. к-сть. елем. розкрою абс./норм	Пріоритети
За 1 критерієм	8,0,0,8,8,6,0,8	38/0	16.1/0	383.1/1	17520/0	54/1	0.1/0.2
За 2 критерієм	8,0,0,8,8,6,0,8	38/0	16.1/0	383.1/1	17520/0	54/1	0.2/0.4
За 3 критерієм	6,3,0,8,12,3,6,0	38/0	18.87/1	370.49/0	17890/1	47/0	0.4/0.8
За 4 критерієм	8,0,0,8,8,6,0,8	38/0	16.1/0	383.1/1	17520/0	54/1	0.1/0.2

За 5 критерієм	6,3,0,8,12,3,6,0	38/0	18.87/1	370.49/0	17890/1	47/0	0.2/0.4

Розв'язок багатокритеріальної задачі оптимізації зводиться до пошуку вектора найбільш близького до еталону за якісними характеристиками і пріоритетністю.

$$F1 = 0.1(0+0+1+0+1) + 0.2(0+0+1+0+1) + 0.1(0+0+1+0+1) = 0.8 \qquad F2 = 0.4(0+1+0+1+0) + 0.2(0+1+0+1+0) = 1.2$$

(4.1)

Цей вектор, у нашому випадку, базується на наборі елементів 6,3,0,8,12,3,6,0, що відповідає завданню багатокритеріальної оптимізації розкрою плит ЛДСП. Змінюючи пріоритетність критеріїв, ми тим самим можемо оперативно впливати на умови виробничих процесів даного підприємства.

Висновки.

Запровадження на підприємстві «VAM – SV» методики та критеріїв багатокритеріальної оптимізації розкрою плит ЛДСП, підтвердив ефективність розробленого підходу, який дозволив при вирішенні конкретної практичної задачі для виробництва швидко аналізувати якість, отриманих карт розкрою відповідно визначеним критеріям оптимізації, коригувати їх значущість і пріоритетність і, як результат, отримати економічний ефект. При цьому, запропонована комп'ютерна реалізація розроблених у роботі алгоритмів, дозволила максимально автоматизувати процес оптимізації побудови карт розкрою листів ЛДСП.

А технічне забезпечення оптимізації розкрою на підприємстві стало можливим завдяки удосконаленню

конструкції кругло-пилкового верстата, шляхом влаштування розробленої універсальної лінійки для косих різей.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результатом виконаних у монографії досліджень є розв’язання науково-практичної проблеми оптимізації технологічних процесів розкрою плит ЛДСП на підприємствах із індивідуального меблевого виробництва.

Отримано такі результати, які мають наукову і практичну цінність.

1. Проведено аналіз ефективності відомих програм проектування меблів та програм розкрою плит ЛДСП. Аналіз показав на можливості оптимізації технологічних процесів розкрою плиткових матеріалів при виробництві меблів.

2. Досліджено відомі конструкції верстатного устаткування для розкрою плит, які дали можливість окреслити шляхи удосконалення спеціальних пристосувань із підвищення ефективності організації технологічних процесів на меблевих виробництвах.

3. Розроблено загальний підхід, методику та критерії розв’язання задачі багатокритеріальної оптимізації розкрою, який дозволяє швидко і ефективно аналізувати якість, отриманих на першому етапі, карт розкрою відповідно визначеним критеріям оптимізації, коригувати їх значущість і пріоритетність.

4. Удосконалено алгоритм пошуку початкового базисного розв’язку задачі лінійного програмування, що дозволяє суттєво скоротити кількість ітерацій симплекс-методу, а значить спростити процес розрахунку.

5. Проведено комп’ютерну реалізацію розроблених алгоритмів, що дозволило максимально автоматизувати процес оптимізації побудови карт розкрою листів ЛДСП.

6. Удосконалено конструкцію кругло-пилкового верстата, шляхом розробки універсальної лінійки для

забезпечення косих різей, що дає можливість технічно реалізувати запропоновану методику багатокритеріальної оптимізації розкрою плит.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Амалицкий, В.В. Деревообрабатывающие станки и инструменты: учеб. для студентов сред. проф. образования, обучающихся по спец. 2602 "Технология деревообработки" /. - Москва: Academia, 2011. – 400 с.
2. Андреищев, С.Н. Проектирование CAD-компонентов реинжиниринга полузаказных мебельных ансамблей: автореф. дис. . канд. техн. наук : 05.13.12 / Андреищев Сергей Николаевич. Воронеж, 2002. - 16 с.
3. Ашманов С.А. Линейное программирование / С.А. Ашманов; - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 340 с.
4. Ачкасов В.Н. Автоматизация управления информационной инфраструктурой комплексной САПР. / В.Н. Ачкасов, А.В. Стариков, А.В. Кузьмин // Программные продукты и системы. 2007. - №2 (78). - С. 35-37.
5. Бабаев Ф.В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ / Ф.В. Бабаев; - М.: Машиностроение, 2012. – 168 с.
6. Балабанов В.Н. Многокритериальная задача рационального планирования продольного раскроя рулонного материала / В.Н. Балабанов; Проблемы информационных технологий. – 2009. – №2 (6). – С.57–63.
7. Бакулина Н.Н. БАЗИС: новая методология проектирования корпусной мебели Текст. / Н.Н. Бакулина, П.Ю. Бунаков, Н.В. Каскевич, А.В. Стариков // САПР и графика. 2010. - №4 (162). - С. 27-30.
8. Барташевич А.А. Конструирование мебели. Текст.: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология и дизайн мебели» / А.А. Барташевич, С.П. Трофимов. Минск : Современная школа, 2006. - 336 с.

9. Бунаков П.Ю. Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов (деревообработка) Текст. : учеб. пособие / П.Ю. Бунаков, А.В. Виноградов, Ю.И. Рудин, А.В. Стариков; под общ. ред. С.Н. Рыкунина. М.: МГУЛ, 2008. - 312 с.

10. Волынский В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов / М.: Издательство: Лань, 2012 .- 336с.

11. Гудман С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. [пер. с англ.] / С. Гудман, С. Хидетниеми. М. : Мир, 1981. - 455 с.

12. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике: Учебное пособие для вузов / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман; Под ред. проф. Н.Ш. Кремера; - М.: ЮНИТИ, 2001. - 407 с.

13. Малыгин В.И. Параметрическое автоматизированное проектирование (на примере мебельного производства). / В.И. Малыгин, П.В. Перфильев, М.П. Худяков // Известия вузов. Лесной журнал. 2003. - №1. — С. 87-93.

14. Milenkovic V. A monotonic convolution for Minkowski sums / V. Milenkovic, E. Sacks ; International Journal of Computational Geometry and Applications. – 2007. – 17(4). – P. 383–396.

15. Мухачева Э. А. Прямоугольный раскрой в индивидуальном производстве / Э. А. Мухачева; В кн.: Математическое обеспечение расчетов линейного и прямоугольного раскроя. Материалы всесоюзного семинара. Уфа, 1981, - С. 108-118.

16. Пустюльга С.І. Математична модель “м’якої оптимізації” процесу вибору легкового автомобіля відповідно прийнятих критеріїв / С.І. Пустюльга, Л.С. Громко, В.П. Самчук ; Науковий журнал «Сучасні

технології в машинобудуванні та транспорті» – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. - Вип. 3. - С. 41-52.

17. Пустюльга С.І. Знаходження парето-оптимальних розв'язків багатокритеріальних оптимізаційних задач / С.І. Пустюльга, Л.С. Громко, Ю.В. Клак ; Наукові нотатки ЛНТУ. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. - Вип. 48. - С. 72-77.

18. Рыкунин С. Н. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений; Московский гос. ун-т леса. - 2-е изд. – Москва: МГУЛ, 2012. - 225 с.

19. Романова Т.Е. Математическая модель и метод решения задачи оптимизации упаковки произвольных двумерных объектов в прямоугольных областях / Т.Е. Романова, Е.А. Ступак, М.В. Злотник ; Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. – 2009. – №1. – С. 48–53.

20. Сергиенко И.В. Задачи дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования / И.В. Сергиенко, В.П. Шило; К.: Наук. думка, 2003.- 262 с.

21. Стариков А.В. САПР мебели. Автоматизированное конструирование изделий корпусной мебели в САПР «bCAD для Мебельщика». Учеб. пособие / А.В. Стариков. Воронеж: Воронеж, гос. ун. 2007. - 228 с.

22. Чуб І.А. Конструктивні особливості задачі розміщення геометричних об'єктів в анізотропній області / І.А. Чуб; Прикладна геометрія та інженерна графіка. – 2008. – Вип. 80. – С. 139–143.

23. Mukherjee I. A review of optimization techniques in metal cutting processes / I. Mukherjee, P. Ray ; Computers and Industrial Engineering. – 2006. – Vol. 50(1). – P.15–34.

24. Pisinger D, Sigurd M. Using decomposition techniques and constraint programming for solving the two-

dimensional bin-packing problem. INFORMS Journal on Computing 2007, - P. 36–51.

25. Stoyan Y. F functions for primary 2D–objects / Y. Stoyan, J. Terno, G. Scheithauer, N. Gil, T. Romanova ; Studia G.Informatica – 2002. – Vol. 2 (1). – P. 1–32.

26. Young-Gun G, Kang MK. A new upper bound for unconstrained two-dimensional cutting and packing. Journal of the Operational Research Society 2002, - P. 87–91.

27. Wascher G. An improved typology of cutting and packing problems / G. Wascher, H. Haubner, H. Schumann ; European Journal of Operational Research. – 2007. –Vol. 183. – P. 1109–1130.

28. Мороз О.П. Аналіз ефективності спеціалізованих програм проектування меблів при використанні їх на виробництві. X Студентська наукова конференція МБФ-2019, Луцький НТУ, С. 209-214.

29. Мороз О.П. Удосконалення процесу проектування карт розкрою плит ЛДСП для індивідуального меблевого виробництва. X Студентська наукова конференція МБФ-2019, Луцький НТУ, С. 140-146.

Наукове видання

Пустюльга Сергій Іванович
Пуць Віталій Степанович
Самостян Віктор Русланович

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗКРОЮ ПЛИТ ДСП ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕБЛІВ

Монографія

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України ДК №4123 від 28.07.2011 р.

Підписано до друку ___. ___. 2020.
Формат 60х84/16.
Папір офс. Гарн. Times New Roman.
Ум. друк. арк. 12,0. Обл.- вид. арк. 11,9.
Наклад 300 прим. Зам. 8

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ІВВ Луцького НТУ