

джують зроблений висновок. На основі аналізу вольтамперних хвиль, які відповідають дифузійним процесам, здійснений кількісний аналіз цих сполук. Як видно (табл. 3) порівняно з полярографічним методом відносна похибка кількісного визначення -О-О-груп знижується до 5 %.

**Табл. 3. Результати вольтамперометричного аналізу пероксиду II ( $n=5$ ,  $\alpha=0,95$ ). Фон – 0,1 м  $(C_2H_5)_4NClO_4$  в ДМФА,  $C_{dep.}=3,0 \cdot 10^{-3}$  м,  $\omega=105$  с $^{-1}$**

| Електрод | $-E_{1/2}$ , В | $\bar{I}$ , мкА | S    | $\bar{I} \pm \Delta I$ , мкА |
|----------|----------------|-----------------|------|------------------------------|
| C        | 1,70           | 35,8            | 1,1  | $35,8^{\pm 1,4}$             |
| Pt       | 0,90           | 23,7            | 0,8  | $23,7^{\pm 1,0}$             |
| Fe       | 1,39           | 468,1           | 17,7 | $468,1^{\pm 22,0}$           |
| Cu       | 1,47           | 273,4           | 10,6 | $273,4^{\pm 13,2}$           |
| Ti       | 1,54           | 236,6           | 8,2  | $236,6^{\pm 10,2}$           |
| Al       | 2,26           | 171,1           | 6,3  | $171,1^{\pm 7,8}$            |

Серед апробованих електродів найбільше придатним для дослідження електрохімічних перетворень ацетиленових пероксидів є скловуглецевий електрод.

### Література

1. Иванчев С.С. Радикальная полимеризация. – Л.: Химия, 1985. – 346 с.
2. Антоновський В.Л., Бузланова М.М. Аналитическая химия органических пероксидных соединений. – М.: Химия, 1978. – 268 с.
3. Яцишин М.Н., К.Р. Горбачевская, Н.Л. Пандяк, М.А. Ковбуз. Термическая устойчивость и полярографическое восстановление пероксидэфиров о (м)-карборан-1-карбоновых и бензойной кислот// Журн. общей химии. – 2004, т. 74, вып. 4. – С. 620-627.
4. Шварчовская Н.Л., Горбачевская К.Р., Яцишин М.Н., Ковбуз М.А. Полярографическое восстановление ацетиленовых диалкилпероксидов// Журн. общей химии. – 1997, т. 67, вып. 5. – С. 829-832.
5. Горбачевская К.Р., Ковбуз М.А., Логинова Н.Н., Подлеская Н.К. Полярографическое определение пероксидных групп в иницирующих системах на основе  $\beta$ -оксиэтилтрет.бутилпероксида// Журн. аналит. хим. – 1990, т. 45. – С. 1670-1672.
6. Шварчовська Н.Л. Електрохімічна активність пероксидів алкінів на електродах різної природи// Вісн. Львів. ун-ту: Сер. хім. – 1997, вип. 37. – С. 22-24.

УДК 513.8

Доц. Ю.І. Грицюк, канд. техн. наук – УкрДЛТУ

### МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ КАРТ РОЗКРОЮ ДЛЯ ГОЛОВНОЇ ТА ОСНОВНОЇ ЧАСТИН ПЛИТИ

Розглянуто методику процесу формування усіх допустимих карт розкрою для головної та основної частин плитних деревних матеріалів (ПДМ) на меблевій заготовці з суцільними поздовжньо-поперечними пропилами (СП-ПП) та з суцільними поздовжніми і зміщеними поперечними пропилами (СПіЗПП), а також з врахуванням обмежень на використання максимальної ширини головної частини плити, на використання номінальних ширин (НШД) ділянок частин плити, повторюваності заготовок малих довжин і смуг малих ширин. Це дало змогу з використанням генератора для двовимірного розміщування прямокутних об'єктів (ПО) у межах заданих ділянок прямокутної площини (ПП) з комбінацією декількох "сіток" розробити генератор для розміщування ПО у межах головної та основної частин ПП з отриманням комбінації двох карт розміщення ПО. Розроблена відповідна математична модель, в яку входять математичне формулювання, алгоритм розв'язання і програмне забезпечення з використанням технології структурного програмування.

## The technique for generating the cutting maps for main and basic parts of a plate

The technique is considered to create all possible cutting maps for main and basic parts of plate wooden materials (PWM) into furniture blanks with continuous longitudinal-crossing cuts (CL-CC) as well as with continuous longitudinal and shifted crossing cuts (CLC&SCC). The limitations are taken into account on using the maximal width of a main plate part, on using the nominal widths of parts spans of a plate, and on replicating the blanks of small length and bands of small width. This made it possible to elaborate the generator for placing rectangular objects (RO) within the boundaries of main and basic parts of a rectangular plane (RP) getting the combination of two maps for RO placing, with the use of a generator of two-dimensional placing of RO within the boundaries of established areas of RP. The proper mathematical model was developed that includes the mathematical definitions, the solution algorithm and the software based on the technology of a structured programming.

### Постановка завдання

З метою не тільки кращого використання розкроюваного матеріалу, але й значного підвищення продуктивності ділянки розкрою багато типів сучасного спеціалізованого обладнання [1, 4] мають можливість здійснювати розкрій ПДМ на заготовки не тільки з СП-ПП та СПіЗПП, тобто за картами з комбінаціями однієї, двох, трьох і більше "сіток" [3], але й за картами розкрою для головної та основної частин ПДМ з СП-ПП та СПіЗПП. Обидві частини плити розрізаються окремо одна від другої і кожна за своїми картами, через що тривалість робочого циклу процесу розкрою стає майже вдвічі більшою у випадку послідовного розкрою частин на одному обладнанні. З метою зменшення тривалості розкрою використовують паралельно дві прості лінії або одну складну, але з двома незалежними функціональними модулями. В обох випадках збільшується як вартість обслуговування розкрійного обладнання, так і зростають експлуатаційні витрати, пов'язані з процесом розкрою.

Під час формування карт розкрою для головної та основної частин ПДМ, як і у попередніх випадках [2, 3, 6], необхідно дотримуватись деяких обмежень стосовно особливостей роботи розкрійного обладнання. Насамперед, головна частини плити в основному становить третину від усієї її довжини і розрізається, як правило, першою. В основній частині смуги розміщуються вздовж плити, а в головній частині – як вздовж, так і впоперек плити. Окрім того, кожна частина плити може розрізатися СП-ПП [6], а також СПіЗПП [3], або в будь-якій з цих комбінацій (рис. 1). За номінальні ширини ділянок (НШД) частин плити, по ширині яких розміщуватимуться смуги, переважно беруться номінальні ширини секцій столів чи штовхачів з можливіми відхиленнями. Також можуть враховуватися ще багато інших обмежень, які стосуються як розкрійного обладнання, так і самої організації процесу виготовлення меблевих заготовок. Тому у даному розділі будемо розглядати тільки загальний підхід до розв'язання такої задачі, а максимальні розміри довжини головної частини позначимо через  $D^H$ , водночас НШД частин плити позначимо через  $ш_1^D$ ,  $ш_2^D$  і  $ш_3^D$ .

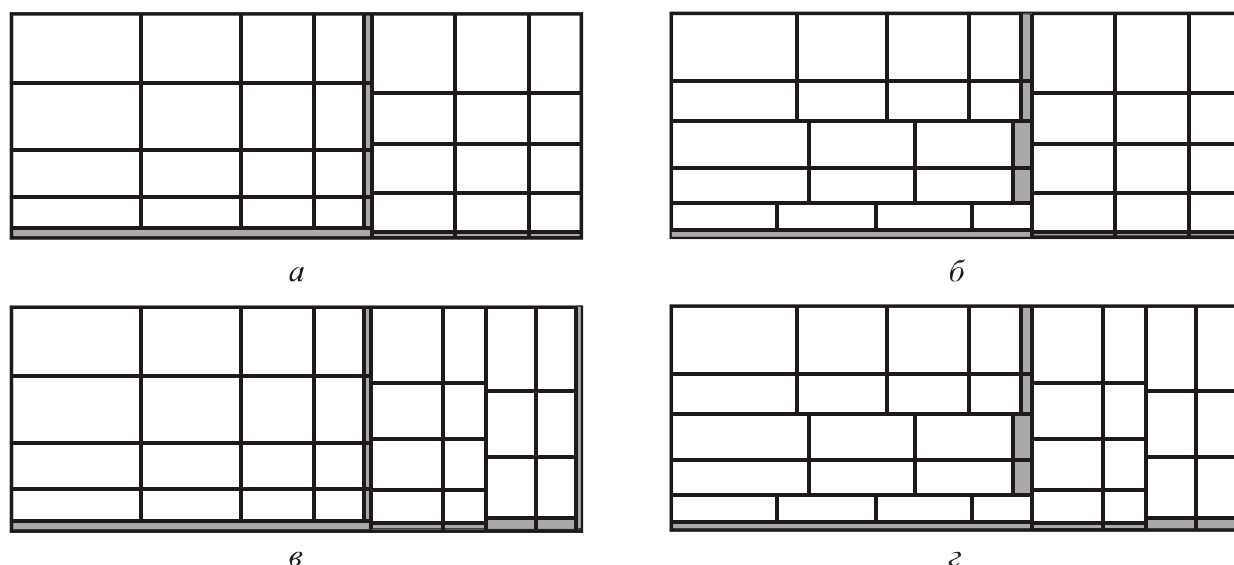


**Рис. 1. Варіанти комбінацій базових конфігурацій карт розкрою для головної та основної частин ПДМ на заготовки**

У загальному випадку завдання полягає в тому, щоб не тільки розмістити смуги по ширині кожної частини плити, а в частинах – по ширині кожної з її ділянок, але й розмістити ще заготовки вздовж смуг і то окремо у кожній з її ділянок і частин. За кожною ділянкою плити можуть закріплюватися відповідні множини ширин смуг, а за кожною смугою – відповідні множини довжин заготовок. Тепер, маючи одну, дві або три множини ширин смуг для кожної ділянки головної чи основної частин плити, необхідно сформувати карти розкрою за схемою "сітка", водночас для всієї частини плити – з комбінацією двох або трьох "сіток", а також з врахуванням обмежень на використання максимальної ширини головної частини плити та НШД кожної з частин плити. Така постановка завдання є основним спрямуванням, якого необхідно дотримуватись під час розроблення універсальної методики розв'язання даної задачі.

Таким чином, **метою даної роботи** є розроблення методики процесу формування допустимих карт розкрою для головної та основної частин ПДМ на меблевій заготовці з СП-ПП і СПіЗПП, а також з врахуванням обмежень на використання максимальної ширини головної частини плити та НШД кожної з частин плити, на повторюваність заготовок малих довжин і смуг малих ширин. З метою універсальності програмне забезпечення спробуємо розробити так, щоби воно було водночас придатним для генерування карт розміщення ПО у межах частин ПП з однією "сіткою", комбінацією двох, трьох і більше, при необхідності, "сіток".

## 1. Особливості методики розв'язання задачі

Основні особливості методики розв'язання даної задачі розглянемо на конкретних прикладах у наростаючому порядку складності вирішуваних завдань. Це означає, що спочатку розглянемо випадок розміщення смуг з однієї множини по ширині головної та основної частин плити без врахування обмеження на використання НШД частин плити, а потім – з розміщенням смуг з двох чи трьох множин по ширині головної та основної частин плити з врахуванням даного обмеження. Такий порядок висвітлення даного матеріалу

пов'язаний з тим, що процес розміщування смуг по ширині головної чи основної частин плити без врахування обмеження на використання номінальних ширин їх ділянок відповідає процесу формування карт розкрою з СП-ПП. Якщо ж врахувати це обмеження, то розміщування смуг по ширині ділянок частин плити буде відповідати процесу формування карт розкрою з СПіЗПП. Після проведення відповідних розрахунків можна порівняти отримані результати і зробити висновки про доцільність застосування запропонованої методики.

Для розуміння сказаного розглянемо конкретні приклади.

**Приклад 1.** Нехай задано ПДМ довжиною 5500 і шириною 1830 мм. Довжина плити розділена на дві частини: головна має максимальну довжину 1830 мм, а основна – все решта. Окрім того, для кожної з частин плити задано смуги шириною 555, 405 і 125 мм, у кожній з яких заготовки мають такі довжини: 655, 505 і 155 мм. Орієнтація смуг у головній частині – впоперек плити. Завдання полягає у тому, щоб сформувати усі допустимі карти розкрою для головної та основної частин ПДМ на заготовки з СП-ПП. За критерій ефективності будь-якої карти розкрою потрібно прийняти показник ефективності використання розкроюваного матеріалу.

В умові задачі нічого не сказано про можливість повороту заготовок на карті розкрою. Будемо вважати, що їхні довжини мають бути паралельними довжині ПДМ. Окрім того, проаналізувавши вхідні дані, бачимо, що карти розкрою необхідно сформувати з врахуванням обмеження на повторюваність заготовок малих довжин і смуг малих ширин. Таким чином, із врахуванням вимог умови задачі та з дотриманням цих обмежень якраз і будемо формувати усі допустимі карти розкрою, виходячи з таких вхідних даних:

$$\begin{aligned} D'' &= 5500; D^{\Gamma''} = 1830; \\ \Pi'' &= 1830; D = 1; \\ m_1^c &= 3; \overline{N_1^c} = \begin{Bmatrix} 3 \\ 3 \\ 3 \end{Bmatrix}; \overline{\Pi_1^c} = \begin{Bmatrix} 555 \\ 405 \\ 125 \end{Bmatrix}; \overline{D_1^3} = \begin{Bmatrix} 655 & 505 & 155 \\ 655 & 505 & 155 \\ 655 & 505 & 155 \end{Bmatrix}. \end{aligned}$$

Для зручності подання результатів розрахунку підготуємо табл. 1, у якій для кожної карти розкрою будемо спочатку записувати розміри головної та основної частин плити, потім – характеристики карт розкрою для головної частини, а вже після них – для основної частини. Для пояснення процесу формування карт розкрою для головної та основної частин плити з СП-ПП застосуємо поетапне подання послідовності дій. Окрім того, з подальшого пояснення поки що усунемо обмеження на розміщення заготовок малих довжин і смуг малих ширин. Це дасть змогу зосередити увагу тільки на основних особливостях розв'язання даної задачі стосовно її конкретної умови.

Отож, під час формування поточної  $\Theta$ -ої карти розкрою для головної та основної частин ПДМ на заготовки з СП-ПП необхідно виконати такі етапи розв'язання задачі. Нагадаємо, що процес розміщування ПО починається з головної частини плити, тобто  $g = 1$ .

**Етап 1-ий.** Оскільки смуги в головній частині ПДМ мають орієнтацію впоперек плити, то вона буде мати такі робочі розміри:  $\Pi_{\text{роб}}^{\Gamma''} = D^{\Gamma''}$ ,

$D_{\text{роб}}^{\text{гч}} = \mathbf{Ш}^{\text{н}}$ . Процес розв'язання задачі починається з  $\mathbf{u}=1$ -ої основної смуги шириною  $\mathbf{ш}_{\text{g1u}}$ , в яку входять  $\mathbf{j}=1$ -а основна і усі інші ( $\mathbf{j} = \overline{2, \mathbf{n}_{\text{g1u}}}$ ) допоміжні заготовки довжиною  $\mathbf{d}_{\text{g1uj}}$  ( $\mathbf{j} = \overline{1, \mathbf{n}_{\text{g1u}}^{\text{uv}}}$ ). Спочатку способом РПООР ПО генерується  $\mathbf{v}=1$ -ий варіант розміщення заготовок вздовж  $\mathbf{u}$ -ої основної смуги довжиною  $\mathbf{D}_{\text{роб}}^{\text{гч}}$  з повторюваністю  $\mathbf{p}_{\text{g1uj}}^{\text{uv}}$  ( $\mathbf{j} = \overline{1, \mathbf{n}_{\text{g1u}}^{\text{uv}}}$ ). Потім необхідно відшукати такі ширини допоміжних смуг, до яких обов'язково входили б такі самі довжини заготовок як і у  $\mathbf{v}=1$ -му варіанті розміщення заготовок для  $\mathbf{u}$ -ої основної смуги, розміщеної в головній частині плити. У результаті виконання такого пошуку утворюється поточна робоча множина смуг з ширинами  $\mathbf{ш}_{\text{gli}}^{\text{uv}}$  ( $\mathbf{i} = \overline{\mathbf{u}, \mathbf{m}_{\text{g1}}^{\text{uv}}}$ ) і відповідними однаковими довжинами заготовок  $\mathbf{d}_{\text{glij}}^{\text{uv}}$  ( $\mathbf{j} = \overline{1, \mathbf{n}_{\text{g1i}}^{\text{uv}}}$ ;  $\mathbf{i} = \overline{\mathbf{u}, \mathbf{m}_{\text{g1}}^{\text{uv}}}$ ). З отриманої множини смуг способом РПООР ПО генерується  $\mathbf{w}=1$ -й варіант розміщення смуг по ширині головної частини плити розміром  $\mathbf{Ш}_{\text{роб}}^{\text{гч}}$  з повторюваністю  $\mathbf{y}_{\text{gli}}^{\text{uvw}}$  ( $\mathbf{i} = \overline{\mathbf{u}, \mathbf{m}_{\text{g1}}^{\text{uv}}}$ ). У результаті виконання таких дій формується  $\omega=1$ -а карта розкрою головної частини плити з СП-ПП.

**Етап 2-ий.** Тепер потрібно визначити робоче значення (залишку) довжини основної частини плити:  $\mathbf{D}_{\text{роб}}^{\text{оч}} = \mathbf{D}^{\text{н}} - \sum_{\mathbf{i}=\mathbf{u}}^{\mathbf{m}_{\text{g1}}^{\text{uv}}} \mathbf{ш}_{\text{gli}}^{\text{uv}} \cdot \mathbf{y}_{\text{gli}}^{\text{uv}}$ , де  $\mathbf{g} = 1$ . Ширина основної частини плити буде відповідати ширині ПДМ, тобто  $\mathbf{Ш}_{\text{роб}}^{\text{оч}} = \mathbf{Ш}^{\text{н}}$ . Для основної частини плити  $\mathbf{g} = 2$ . Процес розв'язання задачі починається з  $\mathbf{u}=1$ -ої основної смуги шириною  $\mathbf{ш}_{\text{g1u}}$ , в яку входять  $\mathbf{j}=1$ -а основна і усі інші ( $\mathbf{j} = \overline{2, \mathbf{n}_{\text{g1i}}}$ ) допоміжні заготовки довжиною  $\mathbf{d}_{\text{g1uj}}$  ( $\mathbf{j} = \overline{1, \mathbf{n}_{\text{g1i}}^{\text{uv}}}$ ). Спочатку способом РПООР ПО генерується  $\mathbf{v}=1$ -ий варіант розміщення заготовок вздовж  $\mathbf{u}$ -ої основної смуги довжиною  $\mathbf{D}_{\text{роб}}^{\text{оч}}$  з повторюваністю  $\mathbf{p}_{\text{g1ij}}^{\text{uv}}$  ( $\mathbf{j} = \overline{1, \mathbf{n}_{\text{g1i}}^{\text{uv}}}$ ). Потім необхідно відшукати такі ширини допоміжних смуг, до яких обов'язково входили б такі самі довжини заготовок як і у  $\mathbf{v}=1$ -му варіанті розміщення заготовок для  $\mathbf{u}$ -ої основної смуги, розміщеної в основній частині плити. У результаті виконання такого пошуку утворюється поточна робоча множина смуг з ширинами  $\mathbf{ш}_{\text{gli}}^{\text{uv}}$  ( $\mathbf{i} = \overline{\mathbf{u}, \mathbf{m}_{\text{g1}}^{\text{uv}}}$ ) і відповідними однаковими довжинами заготовок  $\mathbf{d}_{\text{glij}}^{\text{uv}}$  ( $\mathbf{j} = \overline{1, \mathbf{n}_{\text{g1i}}^{\text{uv}}}$ ;  $\mathbf{i} = \overline{\mathbf{u}, \mathbf{m}_{\text{g1}}^{\text{uv}}}$ ). З отриманої множини смуг способом РПООР ПО генерується  $\mathbf{w}=1$ -й варіант розміщення смуг по ширині основної частини плити розміром  $\mathbf{Ш}_{\text{роб}}^{\text{оч}}$  з повторюваністю  $\mathbf{y}_{\text{gli}}^{\text{uvw}}$  ( $\mathbf{i} = \overline{\mathbf{u}, \mathbf{m}_{\text{g1}}^{\text{uv}}}$ ). Внаслідок виконання таких дій формується  $\mathbf{v}=1$ -а карта розкрою основної частини плити з СП-ПП.

У результаті комбінації  $\omega=1$ -ої та  $\mathbf{v}=1$ -ої карт розкрою з СП-ПП, сформованих відповідно для головної та основної частини плити, утворюється  $\mathbf{g}=1$ -а карта розкрою для всієї плити. Потім генерується  $\mathbf{w}=2$ -й варіант розміщення смуг по ширині основної частини плити розміром  $\mathbf{Ш}_{\text{роб}}^{\text{оч}}$  з повторюваністю

$y_{gli}^{uvw}$  ( $i = u, m_{g1}^{uv}$ ), у результаті чого формується  $v=2$ -а карта розкрою для основної частини плити з СП-ПП. Комбінація  $\omega=1$ -ої та  $v=2$ -ої карт розкрою з СП-ПП, сформованих для кожної з частин плити, утворює  $\vartheta=2$ -у карту розкрою для всієї плити і т.д. Процес переходу від однієї смуги до іншої, які належать до основної частини плити, завершується аж на останній смузі, яка має найменшу ширину.

Після завершення перебору всіх допустимих варіантів розміщення смуг по ширині основної частини плити розміром  $\Pi_{роб}^{0ч}$  необхідно перейти до виконання 1-го етапу, але тільки до тої дії, з якої починається генерування наступного  $w=2$ -го варіанту розміщення смуг по ширині головної частини плити розміром  $\Pi_{роб}^{гч}$ . Виконавши її, сформується  $\omega=2$ -а карта розкрою з СП-ПП. Після цього потрібно перейти до 2-го етапу і з самого початку повністю його виконати. Внаслідок комбінації  $\omega=2$ -ої карти розкрою з СП-ПП, сформованої для головної частини плити, та поточної  $v$ -ої карти розкрою з СП-ПП, сформованої для основної частини плити, утвориться поточна  $\vartheta$ -а карта розкрою для всієї плити і т.д.

Після завершення перебору всіх допустимих варіантів розміщення смуг по ширині головної частини плити розміром  $\Pi_{роб}^{гч}$  відбувається перехід до наступного, тобто  $v=2$ -го варіанту розміщення заготовок вздовж  $u$ -ої основної смуги довжиною  $D_{роб}^{гч}$ . Потім відшукуються допоміжні смуги з аналогічними довжинами заготовок як і в основній смузі. З отриманої множини смуг способом РПООР ПО генерується знову ж таки  $w=1$ -й варіант розміщення смуг по ширині головної частини плити розміром  $\Pi_{роб}^{гч}$ . Виконавши її, сформується поточна  $\omega$ -а карта розкрою з СП-ПП. Після цього потрібно перейти до 2-го етапу і з самого початку повністю його виконати і т.д.

Після завершення перебору всіх допустимих варіантів розміщення заготовок вздовж основної смуги, яка належить до головної частини плити, необхідно перейти до наступної смуги, яка раніше була допоміжною, а тепер стає основною. Для цієї основної смуги аналогічно виконуються всі розглянуті вище дії, починаючи з 1-го етапу. Процес переходу від однієї смуги до іншої, які стосуються головної частини плити, завершується аж на останній смузі, яка має найменшу ширину. Після цього завершується процес розв'язання задачі.

Розглянуту вище послідовність дій повністю використаємо для розв'язання задачі з прикл. 1, а фрагменти результатів програмного розрахунку показано у табл. 1 і на рис. 2. Необхідно також зазначити, що під час розв'язання даної задачі враховується обмеження на використання максимальної ширини головної частини плити, а також на повторюваність заготовок малих довжин і смуг малих ширин.

**Табл. 1 (фрагмент). Допустимі карти розкрою для головної та основної частин ПДМ на заготовки з СП-ПП (розміри ПДМ: 5500×1830 мм; довжина головної частини: 1830 мм)**

| № карти | Характеристика смуг                                            |                | Повторюваність заготовок довжиною |     |      | Заповнення смуг заготовками довжиною |      |      |        | Залишок смуги | Відходи, м <sup>2</sup><br>Kz |
|---------|----------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-----|------|--------------------------------------|------|------|--------|---------------|-------------------------------|
|         | ш <sub>i</sub>                                                 | у <sub>i</sub> | 655                               | 505 | 155  | 655                                  | 505  | 155  | всього |               |                               |
| 1       | 2                                                              | 3              | 4                                 | 5   | 7    | 9                                    | 10   | 12   | 14     | 15            | 16                            |
| 2       | Розміри частин плити: головна – 1830×1790, основна – 3710×1830 |                |                                   |     |      |                                      |      |      |        |               |                               |
|         | 555                                                            | 3              | 2                                 | 1   | 0    | 1310                                 | 505  | 0    | 1815   | 15            | 0.4886                        |
|         | 405                                                            | 0              | 0                                 | 0   | 0    | 0                                    | 0    | 0    | 0      | 0             |                               |
|         | 125                                                            | 1              | 2                                 | 1   | 0    | 1310                                 | 505  | 0    | 1815   | 15            |                               |
|         | 555                                                            | 2              | 5                                 | 0   | 2    | 3275                                 | 0    | 310  | 3585   | 125           | 0.9515                        |
|         | 405                                                            | 1              | 5                                 | 0   | 2    | 3275                                 | 0    | 310  | 3585   | 125           |                               |
| 125     | 2                                                              | 5              | 0                                 | 2   | 3275 | 0                                    | 310  | 3585 | 125    |               |                               |
| 40      | Розміри частин плити: головна – 1830×1765, основна – 3735×1830 |                |                                   |     |      |                                      |      |      |        |               |                               |
|         | 555                                                            | 2              | 2                                 | 1   | 0    | 1310                                 | 505  | 0    | 1815   | 15            | 0.2564                        |
|         | 405                                                            | 1              | 2                                 | 1   | 0    | 1310                                 | 505  | 0    | 1815   | 15            |                               |
|         | 125                                                            | 2              | 2                                 | 1   | 0    | 1310                                 | 505  | 0    | 1815   | 15            |                               |
|         | 555                                                            | 3              | 0                                 | 7   | 1    | 0                                    | 3535 | 155  | 3690   | 45            | 0.9745                        |
|         | 405                                                            | 0              | 0                                 | 0   | 0    | 0                                    | 0    | 0    | 0      | 0             |                               |
|         | 125                                                            | 1              | 0                                 | 7   | 1    | 0                                    | 3535 | 155  | 3690   | 45            |                               |
| 90      | Розміри частин плити: головна – 1830×1790, основна – 3710×1830 |                |                                   |     |      |                                      |      |      |        |               |                               |
|         | 555                                                            | 3              | 1                                 | 2   | 1    | 655                                  | 1010 | 155  | 1820   | 10            | 0.2759                        |
|         | 405                                                            | 0              | 0                                 | 0   | 0    | 0                                    | 0    | 0    | 0      | 0             |                               |
|         | 125                                                            | 1              | 1                                 | 2   | 1    | 655                                  | 1010 | 155  | 1820   | 10            |                               |
|         | 555                                                            | 1              | 0                                 | 7   | 1    | 0                                    | 3535 | 155  | 3690   | 20            | 0.9726                        |
|         | 405                                                            | 3              | 0                                 | 7   | 1    | 0                                    | 3535 | 155  | 3690   | 20            |                               |
| 125     | 0                                                              | 0              | 0                                 | 0   | 0    | 0                                    | 0    | 0    | 0      |               |                               |
| 160     | Розміри частин плити: головна – 1830×1790, основна – 3710×1830 |                |                                   |     |      |                                      |      |      |        |               |                               |
|         | 555                                                            | 3              | 0                                 | 3   | 2    | 0                                    | 1515 | 310  | 1825   | 5             | 0.1932                        |
|         | 405                                                            | 0              | 0                                 | 0   | 0    | 0                                    | 0    | 0    | 0      | 0             |                               |
|         | 125                                                            | 1              | 0                                 | 3   | 2    | 0                                    | 1515 | 310  | 1825   | 5             |                               |
|         | 555                                                            | 3              | 0                                 | 7   | 1    | 0                                    | 3535 | 155  | 3690   | 20            | 0.9808                        |
|         | 405                                                            | 0              | 0                                 | 0   | 0    | 0                                    | 0    | 0    | 0      | 0             |                               |
| 125     | 1                                                              | 0              | 7                                 | 1   | 0    | 3535                                 | 155  | 3690 | 20     |               |                               |
| 230     | Розміри частин плити: головна – 1830×1745, основна – 3755×1830 |                |                                   |     |      |                                      |      |      |        |               |                               |
|         | 555                                                            | 0              | 0                                 | 0   | 0    | 0                                    | 0    | 0    | 0      | 0             | 0.3938                        |
|         | 405                                                            | 4              | 2                                 | 1   | 0    | 1310                                 | 505  | 0    | 1815   | 15            |                               |
|         | 125                                                            | 1              | 2                                 | 1   | 0    | 1310                                 | 505  | 0    | 1815   | 15            |                               |
|         | 555                                                            | 2              | 1                                 | 6   | 0    | 655                                  | 3030 | 0    | 3685   | 70            | 0.9609                        |
|         | 405                                                            | 1              | 1                                 | 6   | 0    | 655                                  | 3030 | 0    | 3685   | 70            |                               |
| 125     | 2                                                              | 1              | 6                                 | 0   | 655  | 3030                                 | 0    | 3685 | 70     |               |                               |

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
|     | 655 | 505 | 155 |
| 555 | 1   | 2   | 3   |
| 405 | 4   | 5   | 6   |
| 125 |     |     |     |

K=pt= №40. Kz=97.45%

|   |   |   |   |   |   |   |   |         |         |   |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---------|---------|---|--|--|--|
| T | T | T | T | T | T | T | 3 | T       | T       | 5 |  |  |  |
| T | T | T | T | T | T | T | 3 | $N_1^0$ | $N_2^0$ | 4 |  |  |  |
| T | T | T | T | T | T | T | 3 | $N_1^0$ | $N_2^0$ | 4 |  |  |  |
|   |   |   |   |   |   |   |   | $N_1^0$ | $N_2^0$ | 4 |  |  |  |

K<sub>pT</sub> = 96.60. K<sub>z</sub> = 98.08%

[illegible]

K<sub>pT</sub>= N<sub>oT</sub>. **Kz=95.5%**

[illegible]

K<sub>пр</sub> = №90. K<sub>з</sub> = 97,76%

|   |   |   |   |   |   |   |   |       |       |       |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|-------|-------|--|--|
| T | T | T | T | T | T | T | 3 | 3     |       |       |  |  |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | T     | T     | T     |  |  |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | T     | T     | T     |  |  |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | $N_0$ | $N_0$ | $N_0$ |  |  |

K=pT= N<sub>o</sub>T30. **Kz=96.09%**

|    |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|
| No | T | T | T | T | T | T |
| No | T | T | T | T | T | T |
| 4  | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
|    |   |   |   |   |   |   |
|    |   |   |   |   |   |   |
|    |   |   |   |   |   |   |

**Рис. 2. Карти розкрою для головної та основної частин ПДМ на заготовки з СП-ПП (розміри ПДМ: 5500×1830 мм; довжина головної частини: 1830 мм)**

У результаті виконання розглянутої вище послідовності дій згенеровано усі допустимі варіанти розміщення смуг шириною  $\mathbf{m}_{di}$  ( $i = \overline{1, m_1}$ ) по ширині головної частини ПДМ розміром  $\mathbf{Ш}_{роб}^{гч}$  з орієнтацією смуг впоперек плити і заготовок довжиною  $\mathbf{Д}_{dij}$  ( $j = \overline{1, n_{1i}}$ ;  $i = \overline{1, m_1}$ ) вздовж смуг головної та основної частини плити, кожна з яких має відповідно довжину  $\mathbf{Д}_{роб}^{гч}$  і  $\mathbf{Д}_{роб}^{оч}$ . У загальному випадку процес формування поточної карти розкрою для головної та основної частин ПДМ на заготовки з СП-ПП полягає у: визначенні робочої ширини головної частини плити, вздовж якої будуть розміщуватися смуги; одновимірному розміщуванні заготовок вздовж основної смуги; підбиранні допоміжних смуг, до яких входили б усі заготовки з довжинами як і в основній смузі; одновимірному розміщуванні смуг по ширині головної частини плити; утворенні карти розкрою для головної частини плити з СП-ПП; аналогічному виконанні зазначених вище дій, але вже для основної частини плити; комбінації двох сформованих карт розкрою для кожної частини плити в одну карту розкрою, але вже для всієї плити. Розглянутий підхід назовемо *способом РПОДР заготовок у межах головної та основної частин ПДМ з СП-ПП*, а також з врахуванням обмежень на повторюваність заготовок малих довжин і смуг малих ширин. Особливість цього способу у тому, що серед усіх сформованих карт розкрою для всієї плити не трапляється однакових варіантів.

Послідовність дій запропонованої вище методики спробуємо застосувати для розв'язання дещо складнішої задач, але у формальній її постановці.

**Приклад 2.** Нехай задано ПП довжиною 5500 і шириною 1830 мм. Довжина ПП розділена на дві частини: головна має максимальну довжину 1830 мм, а основна – все решта. Ширина кожної частини ПП розділена на дві окремі ділянки, 1-а з яких має номінальну ширину  $1220^{+100}$  мм, а 2-га –  $610^{+0}$  мм. Окрім того, для кожної з ділянок ПП

задано смуги шириною 555, 405 і 125 мм, у кожній з яких ПО мають такі довжини: 655, 505 і 155 мм. Орієнтація смуг у головній частині – впоперек ПП. Завдання полягає у тому, щоби, врахувавши обмеження на використання максимальної ширини головної частини ПП, на використання НШД частин кожної з частин ПП, згенерувати усі допустимі карти розміщення ПО у межах головної та основної частин ПП з комбінацією двох "сіток". За критерій ефективності будь-якої карти розміщення ПО потрібно прийняти показник інтенсивності заповнення ПП ПО.

З врахуванням вимог умови задачі необхідно згенерувати всі допустимі карти розміщення ПО у межах головної та основної частин ПП з використанням таких вхідних даних:

$$\begin{aligned} D^n &= 5500; D = T; \overline{III^{\partial}} = \begin{Bmatrix} 1220 \pm 100 \\ 610 \pm 0 \end{Bmatrix}; \\ III^n &= 1830; D^{ГЧ} = 1830; \\ m_{1,2}^c &= 3; N_{1,2}^c = \begin{Bmatrix} 3 \\ 3 \\ 3 \end{Bmatrix}; III_{1,2}^c = \begin{Bmatrix} 555 \\ 405 \\ 125 \end{Bmatrix}; D_{1,2}^3 = \begin{Bmatrix} 655 & 505 & 155 \\ 655 & 505 & 155 \\ 655 & 505 & 155 \end{Bmatrix}. \end{aligned}$$

Як і у попередньому прикладі, застосуємо принцип поетапного подання послідовності виконуваних дій. Не вдаючись у конкретні деталі виконуваних обчислень, фрагменти результатів програмного розрахунку показано у табл. 2 і на рис. 3. Таким чином, у результаті виконання відповідних розрахунків згенеровано усі допустимі варіанти розміщення смуг шириною  $III_{di}$  ( $i = \overline{1, m_d}, d = \overline{1, D}$ ) по ширині ділянок головної та основної частин ПП розміром відповідно  $III_d^{ГЧ} \pm \Delta III_d^{ГЧ}, d = \overline{1, D}$  і  $III_d^{об} \pm \Delta III_d^{об}, d = \overline{1, D}$ , ПО довжиною  $D_{dij}$  ( $K = \overline{1, n_{di}}; i = \overline{1, m_d}$ ) вздовж смуг двох ділянок, кожна з яких має довжину  $D_{роб}^{ГЧ}$  і  $D_{роб}^{об}$ .

Табл. 2 (фрагмент). *Допустимі карти розміщення ПО у межах головної та основної частин ПП з комбінацією двох "сіток"* (розміри ПП: 5500×1830 мм; довжина головної частини: 1830 мм; НШД частин ПП:  $1220^{+100}, 610^{+0}$  мм)

| № карти | Характеристика смуг                                         |                | Повторюваність ПО довжиною |     |     | Заповнення смуги ПО довжиною |      |     |        | Залишок смуги | Відходи, м <sup>2</sup><br>Kz |
|---------|-------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------|-----|-----|------------------------------|------|-----|--------|---------------|-------------------------------|
|         | ш <sub>i</sub>                                              | у <sub>i</sub> | 655                        | 505 | 155 | 655                          | 505  | 155 | всього |               |                               |
| 1       | 2                                                           | 3              | 4                          | 5   | 7   | 9                            | 10   | 12  | 14     | 15            | 16                            |
| 2       | Розміри частин ПП: головна – 1830×1790, основна – 3710×1830 |                |                            |     |     |                              |      |     |        |               |                               |
|         | 555                                                         | 2              | 2                          | 1   | 0   | 1310                         | 505  | 0   | 1815   | 15            | 0.3740                        |
|         | 405                                                         | 0              | 0                          | 0   | 0   | 0                            | 0    | 0   | 0      | 0             |                               |
|         | 125                                                         | 1              | 2                          | 1   | 0   | 1310                         | 505  | 0   | 1815   | 15            |                               |
|         | 555                                                         | 1              | 2                          | 1   | 0   | 1310                         | 505  | 0   | 1815   | 15            |                               |
|         | 405                                                         | 0              | 0                          | 0   | 0   | 0                            | 0    | 0   | 0      | 0             |                               |
|         | 125                                                         | 0              | 0                          | 0   | 0   | 0                            | 0    | 0   | 0      | 0             |                               |
|         | 555                                                         | 2              | 5                          | 0   | 2   | 3275                         | 0    | 310 | 3585   | 125           | 0.9628                        |
|         | 405                                                         | 0              | 0                          | 0   | 0   | 0                            | 0    | 0   | 0      | 0             |                               |
|         | 125                                                         | 1              | 5                          | 0   | 2   | 3275                         | 0    | 310 | 3585   | 125           |                               |
|         | 555                                                         | 1              | 4                          | 2   | 0   | 2620                         | 1010 | 0   | 3630   | 80            |                               |
|         | 405                                                         | 0              | 0                          | 0   | 0   | 0                            | 0    | 0   | 0      | 0             |                               |
|         | 125                                                         | 0              | 0                          | 0   | 0   | 0                            | 0    | 0   | 0      | 0             |                               |
| 100     | Розміри частин ПП: головна – 1830×1790, основна – 3710×1830 |                |                            |     |     |                              |      |     |        |               |                               |
|         | 555                                                         | 2              | 2                          | 1   | 0   | 1310                         | 505  | 0   | 1815   | 15            | 0.2450                        |
|         | 405                                                         | 0              | 0                          | 0   | 0   | 0                            | 0    | 0   | 0      | 0             |                               |
|         | 125                                                         | 1              | 2                          | 1   | 0   | 1310                         | 505  | 0   | 1815   | 15            |                               |
|         | 555                                                         | 1              | 2                          | 1   | 0   | 1310                         | 505  | 0   | 1815   | 15            |                               |

| 1      | 2                                                            | 3                                                            | 4 | 5 | 7    | 9    | 10   | 12   | 14   | 15   | 16     |        |        |
|--------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---|---|------|------|------|------|------|------|--------|--------|--------|
|        | 405                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0.9757 |        |        |
|        | 125                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        | 555                                                          | 2                                                            | 1 | 6 | 0    | 655  | 3030 | 0    | 3685 | 25   |        |        |        |
|        | 405                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        | 125                                                          | 1                                                            | 1 | 6 | 0    | 655  | 3030 | 0    | 3685 | 25   |        |        |        |
|        | 555                                                          | 1                                                            | 2 | 4 | 2    | 1310 | 2020 | 310  | 3640 | 70   |        |        |        |
|        | 405                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        | 125                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        |                                                              |                                                              |   |   |      |      |      |      |      |      |        |        |        |
|        | Розміри частин ІІІ: головна – 1830×1790, основна – 3710×1830 |                                                              |   |   |      |      |      |      |      |      |        |        |        |
|        | 555                                                          | 2                                                            | 0 | 3 | 2    | 0    | 1515 | 310  | 1825 | 5    |        | 0.2299 |        |
|        | 405                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
| 125    | 1                                                            | 0                                                            | 3 | 2 | 0    | 1515 | 310  | 1825 | 5    |      |        |        |        |
| 555    | 1                                                            | 1                                                            | 2 | 1 | 655  | 1010 | 155  | 1820 | 10   |      |        |        |        |
| 405    | 0                                                            | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |        |        |        |
| 125    | 0                                                            | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |        |        |        |
| 555    | 2                                                            | 1                                                            | 6 | 0 | 655  | 3030 | 0    | 3685 | 25   |      |        |        |        |
| 405    | 0                                                            | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |        |        |        |
| 125    | 1                                                            | 1                                                            | 6 | 0 | 655  | 3030 | 0    | 3685 | 25   |      |        |        |        |
| 555    | 1                                                            | 2                                                            | 4 | 2 | 1310 | 2020 | 310  | 3640 | 70   |      |        |        |        |
| 405    | 0                                                            | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |        |        |        |
| 125    | 0                                                            | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |        |        |        |
| 0.9772 |                                                              |                                                              |   |   |      |      |      |      |      |      |        |        |        |
|        |                                                              |                                                              |   |   |      |      |      |      |      |      |        |        |        |
| 7900   | Розміри частин ІІІ: головна – 1830×1770, основна – 3730×1830 |                                                              |   |   |      |      |      |      |      |      |        |        |        |
|        | 555                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0.2751 |        |        |
|        | 405                                                          | 3                                                            | 2 | 1 | 0    | 1310 | 505  | 0    | 1815 | 15   |        |        |        |
|        | 125                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        | 555                                                          | 1                                                            | 2 | 1 | 0    | 1310 | 505  | 0    | 1815 | 15   |        |        |        |
|        | 405                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        | 125                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        | 555                                                          | 2                                                            | 0 | 7 | 1    | 0    | 3535 | 155  | 3690 | 40   |        |        |        |
|        | 405                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        | 125                                                          | 1                                                            | 0 | 7 | 1    | 0    | 3535 | 155  | 3690 | 40   |        |        |        |
|        | 555                                                          | 1                                                            | 2 | 4 | 2    | 1310 | 2020 | 310  | 3640 | 90   |        |        |        |
|        | 405                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        | 125                                                          | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
|        | 0.9727                                                       |                                                              |   |   |      |      |      |      |      |      |        |        |        |
|        |                                                              |                                                              |   |   |      |      |      |      |      |      |        |        |        |
|        | 10900                                                        | Розміри частин ІІІ: головна – 1830×1770, основна – 3730×1830 |   |   |      |      |      |      |      |      |        |        |        |
|        |                                                              | 555                                                          | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        | 0      | 0.2636 |
|        |                                                              | 405                                                          | 3 | 0 | 3    | 2    | 0    | 1515 | 310  | 1825 |        | 5      |        |
|        |                                                              | 125                                                          | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        | 0      |        |
| 555    |                                                              | 1                                                            | 0 | 3 | 2    | 0    | 1515 | 310  | 1825 | 5    |        |        |        |
| 405    |                                                              | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
| 125    |                                                              | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
| 555    |                                                              | 2                                                            | 1 | 6 | 0    | 655  | 3030 | 0    | 3685 | 45   |        |        |        |
| 405    |                                                              | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
| 125    |                                                              | 1                                                            | 1 | 6 | 0    | 655  | 3030 | 0    | 3685 | 45   |        |        |        |
| 555    |                                                              | 1                                                            | 2 | 4 | 2    | 1310 | 2020 | 310  | 3640 | 90   |        |        |        |
| 405    |                                                              | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
| 125    |                                                              | 0                                                            | 0 | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |        |        |        |
| 0.9738 |                                                              |                                                              |   |   |      |      |      |      |      |      |        |        |        |

ному розміщуванні ПО вздовж основної смуги для  $d=1$ -ої ділянки головної частини ПП; підбиранні допоміжних смуг, до яких входили б усі ПО з довжинами як і в основній смузі; одновимірному розміщуванні смуг по ширині  $d=1$ -ої ділянки головної частини ПП; утворенні карти розміщення ПО у межах  $d=1$ -ої ділянки головної частини ПП за схемою "сітка"; аналогічному виконанні зазначених вище дій для  $d=2$ -ої ділянки головної частини ПП; комбінації двох згенерованих карт розміщення ПО у межах ділянок головної частини ПП з утворенням карти розміщення ПО у межах всієї головної частини ПП з комбінацією  $D$ -ої кількості "сіток"; визначенні робочої довжини і ширини основної частини ПП; аналогічному виконанні зазначених вище дій, але тільки стосовно основної частини ПП; комбінації двох згенерованих карт розміщення ПО у межах головної та основної частини ПП з утворенням карти розміщення ПО у межах всієї ПП.



**Рис. 3. Варіанти карт розміщення ПО у межах головної та основної частин ПП з комбінацією двох "сіток" (розміри ПП: 5500×1830 мм; довжина головної частини: 1830 мм; НШД частин ПП: 1220<sup>±100</sup>, 610<sup>±0</sup> мм)**

Розглянутий підхід назвемо способом РПОДР ПО у межах  $d$ -ої ділянки головної чи основної частин ПП з комбінацією  $D$ -ої кількості "сіток", а також з врахуванням обмежень на використання максимальної ширини головної частини плити, на використання НШД кожної з частин ПП, повторюваності ПО малих довжин і смуг малих ширин. Особливість цього способу у тому, що серед усіх згенерованих карт розміщення ПО у межах всієї ПП не трапляється однакових як за якісними (зовнішнім виглядом), так і за кількісними (кількістю ПО кожного виду) характеристиками.

## 2. Математичне формулювання задачі

Процес генерування всієї множини можливих карт розміщення ПО у межах головної та основної частин ПП з комбінацією декількох "сіток", а та-

кож з врахуванням обмежень на використання максимальної ширини головної частини ПП і НШД кожної з її частин має таке математичне формулювання.

Введемо позначення для таких вхідних даних:

- $D^n, \Pi^n$  – довжина і ширина ПП;
- $D^{n^c}$  – максимальна довжина головної частини ПП;
- $K^c$  – кількість частин ПП;
- $\overline{D^{\partial}} = \{d_g^{\partial}, g = \overline{1, K^c}\}$  – кількість ділянок поділу ширини  $g$ -ої частини ПП;
- $\overline{\Pi^{\partial}} = \{\overline{\Pi_g^{\partial}} = \{\overline{\Pi_{gd}^{\partial}} \pm \Delta \Pi_{gd}^{\partial}, d = \overline{1, d_g^{\partial}}\}, g = \overline{1, K^c}\}$  – номінальні ширини  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП, вздовж яких необхідно розмістити ширини смуг;
- $\overline{M^c} = \{\overline{M_g^c} = \{\overline{m_{gd}^c}, d = \overline{1, d_g^{\partial}}\}, g = \overline{1, K^c}\}$  – кількість ширин смуг, які можна розміщати по ширині  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП;
- $\overline{\Pi^c} = \{\overline{\Pi_g^c} = \{\overline{\Pi_{gdi}^c} = \{\overline{m_{gdi}^c}, i = \overline{1, m_{gd}^c} : \overline{m_{g,d,i-1}^c} \geq \overline{m_{gdi}^c}\}, d = \overline{1, d_g^{\partial}}\}, g = \overline{1, K^c}\}$  – впорядковані за спаданням ширини смуг для  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП;
- $\overline{N^{no}} = \{\overline{N_g^{no}} = \{\overline{N_{gd}^{no}} = \{\overline{n_{gdi}^{no}}, i = \overline{1, m_{gd}^c}\}, d = \overline{1, d_g^{\partial}}\}, g = \overline{1, K^c}\}$  – кількість ПО у  $i$ -ій смузі для  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП;
- $\overline{D^{no}} = \{\overline{D_g^{no}} = \{\overline{D_{gd}^{no}} = \{\overline{D_{gdi}^{no}}, i = \overline{1, m_{gd}^c}\}, d = \overline{1, d_g^{\partial}}\}, g = \overline{1, K^c}\}$ ,  
 $\overline{D_{gdi}^{no}} = \{\overline{D_{gdij}^{no}}, j = \overline{1, n_{gdi}^{no}} : \overline{D_{g,d,i,j-1}^{no}} \geq \overline{D_{gdij}^{no}}\}$  – впорядковані за спаданням довжини ПО у  $i$ -ій смузі для  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП.

Завдання полягає в тому, щоби за відомими значеннями вхідних даних згенерувати всю множину допустимих карт розміщення ПО у межах ділянок головної та основної частин ПП за схемою "сітка", а у межах кожної з частин ПП – з комбінацією декількох "сіток". Кожна з таких згенерованих карт складається з комбінації одного з варіантів розміщення ПО довжиною  $\overline{D_{gdij}^{no}}$  вздовж смуг  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП, кожна з яких має довжину  $\overline{D_{g,pob}^{c,uvw}}$  і допустимих варіантів розміщення смуг шириною  $\overline{m_{gdi}^c}$  по ширині  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП розміром  $\overline{\Pi_{gd,pob}^{\partial,uvw}}$  і з отриманням таких складових результату розрахунку:

- повторюваностей ПО у смугах:

$$\begin{aligned} \overline{\overline{P_{gd}}} &= \left\{ \overline{\overline{P_{gd}^u}} = \left\{ \overline{\overline{P_{gd}^{uv}}}, v = \overline{1, Kp_{gd}^u} \right\}, u = \overline{1, m_{gd}^c} \right\}, d = \overline{1, d_g^{\partial}}, g = \overline{1, K^c}; \\ \overline{\overline{P_{gd}^{uvw}}} &= \left\{ \overline{\overline{P_{gdi}^{uvw}}} = \left\{ \overline{p_{gdij}^{uvw}}, j = \overline{1, n_{gdi}^{no}} \right\}, i = \overline{u, m_{gd}^{uv}}, w = \overline{1, Ks_{gd}^{uv}} \right\}; \\ p_{gdij}^{uvw} &= \begin{cases} f[\overline{D_{g,pob}^{c,uvw}}, \overline{D_{gdi}^{no}}, \overline{P_{gdi}^{u,v-1,w}}], & \text{якщо } i > u; \\ \overline{p_{gduj}^{uvw}}, & \text{якщо } i = u; \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

- повторюваностей смуг по ширині ділянок ПП



метрів у виразах (1)-(3) використовується така послідовність дій і відповідні математичні співвідношення. Нагадаємо також, що процес розміщування ПО починається з  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП.

Перед початком розміщення ПО робочі розміри (ширини і довжини)  $g=1$ -ої (головної) частини ПП визначаються за такими формулами:

$$\mathbf{w}_{g,po6}^{\partial} = D^{r^u}; \mathbf{d}_{g,po6}^{\partial} = \mathbf{I}^n, g \in 1 \quad (4)$$

Робоча ширина (максимальне значення)  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП визначається за такою формулою

$$\mathbf{w}_{gd,po6}^{\partial} = \mathbf{w}_{gd}^{\partial} + \Delta \mathbf{w}_{gd}^{\partial}, d = 1, g \in \{1, K^u\}. \quad (5)$$

Введемо ще такі додаткові змінні:  $\mathbf{z}_{gdi}^{uv}$  – поточна довжина залишку  $i$ -ої смуги, вздовж якої потрібно розмістити  $j$ -ий ПО під час генерування  $v$ -го варіанту розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги для  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП;  $\mathbf{i}_{gdi}^{uv}$  – номер ПО, з якого починається обчислення повторюваностей ПО під час генерування  $v$ -го варіанту розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги для  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП. Перед початком генерування  $v=1$ -ої карти розміщення ПО у межах  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП названі змінні набувають таких значень:  $\mathbf{u}=1$ ;  $\mathbf{i}=\mathbf{u}$ ;  $\mathbf{z}_{gd1}^{11} = D_{g,po6}^u$  і  $\mathbf{i}_{gd1}^{11} = 0$ , а також  $\overline{\mathbf{P}_{gd}^{111}} = 0$ .

Поточна повторюваність  $j$ -го ПО для  $i=u$ -ої основної смуги і поточна довжина її залишку під час генерування  $v$ -го варіанту їх розміщення вздовж  $u$ -ої основної смуги для  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП визначаються з такого співвідношення:

$$\left( \begin{array}{l} \mathbf{p}_{gdi}^{uvw} = \text{int} \left[ \frac{\mathbf{z}_{gdi}^{uv}}{D_{di}^{no}} \right]; \\ \mathbf{z}_{g,d,i,j+1}^{uv} = \mathbf{z}_{g,d,i,j}^{uv} - D_{di}^{no} \cdot \mathbf{p}_{gdi}^{uvw}; \end{array} \right), j = \overline{\mathbf{i}_{gdi}^{uv} + 1, \mathbf{n}_{gdi}^{uv}}; i = u; g \in \{1, K^u\}. \quad (6)$$

Потім відшукуються такі допоміжні смуги, до яких входять обов'язково всі довжини ПО як у  $v=1$ -му варіанті розміщення ПО для  $u$ -ої основної смуги  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП, у результаті чого утворюються відповідно робочі довжини ПО і робочої ширини смуг:

$$\overline{D_{gd}^{uv}} = \left\{ \overline{D_{gdi}^{uv}} = \left\{ D_{gdi}^{uv}, j = \overline{1, \mathbf{n}_{gdi}^{uv}} \right\}, i = \overline{u, \mathbf{m}_{gd}^{uv}} \right\}, g \in \{1, K^u\},$$

$$\overline{\mathbf{I}_{gd}^{uv}} = \left\{ \mathbf{w}_{gdi}^{uv}, i = \overline{u, \mathbf{m}_{gd}^{uv}} \right\}, g \in \{1, K^u\}, \quad (7)$$

$$D_{gdi}^{uv} = \begin{cases} D_{gdik}^{no}, \text{ якщо } \mathbf{p}_{gduj}^{uvw} > 0 \wedge D_{gduj}^{no} = D_{gdik}^{no}; \\ 0 - \text{в інш. випадку} \end{cases}$$

$$\mathbf{w}_{gdi}^{uv} = \begin{cases} \mathbf{w}_{gdi}^c, \text{ якщо } \mathbf{p}_{gduj}^{uvw} > 0 \wedge D_{gduj}^{no} = D_{gdik}^{no}; \\ 0 - \text{в інш. випадку} \end{cases} \quad (8)$$

$$\overline{k} = \overline{1, \mathbf{n}_{gdi}^{no}}; \overline{j} = \overline{1, \mathbf{n}_{gdu}^{uv}}; \overline{i} = \overline{u + 1, \mathbf{m}_{gd}^c}$$

Введемо ще такі додаткові змінні:  $c_{gdi}^{uvw}$  – поточна довжина залишку ширини  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП, вздовж якого потрібно розмістити  $i$ -ту смугу для  $w$ -го варіанту їх розміщення під час генерування  $v$ -го варіанту розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги;  $k_{gd}^{uvw}$  – номер смуги, з якої починаються обчислення повторюваностей смуг під час генерування  $w$ -го варіанту їх розміщення по ширині  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП для  $v$ -го варіанту розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги. Перед початком генерування  $w=1$ -го варіанту розміщення смуг по ширині  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП для  $v=1$ -го варіанту їх розміщення вздовж  $u$ -ої основної смуги названі змінні набувають таких значень:  $c_{gdu}^{uv1} = \pi_{gd,po6}^0$  і  $k_{gd}^{uv1} = 0$ , а також  $\overline{Y_{gd}^{uv1}} = 0$ .

Поточна повторюваність  $i$ -ої смуги і поточна довжина залишку робочої ширини  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП під час генерування  $w$ -го варіанту їх розміщення по ширині цієї ділянки частини ПП для  $v$ -го варіанту їх розміщення вздовж  $u$ -ої основної смуги визначаються з такого співвідношення:

$$\left( y_{gdi}^{uvw} = \text{int} \left[ \frac{c_{gdi}^{uvw}}{\pi_{gdi}^{uv}} \right]; \right. \\ \left. c_{g,d,i+1}^{uvw} = c_{gdi}^{uvw} - \pi_{gdi}^{uv} \cdot y_{gdi}^{uvw} \right), i = \overline{k_{gd}^{uvw} + 1, m_{gd}^{uv}} : k_{gd}^{uvw} \geq u; g \in \{1, K^u\}. \quad (9)$$

Поточна повторюваність  $j$ -го ПО для  $i$ -ої допоміжної смуги під час генерування  $w$ -го варіанту розміщення смуг по ширині  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП для  $v$ -го варіанту розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги визначається з такого співвідношення

$$\left( p_{gdi,j}^{uvw} = p_{gdu,j}^{uvw}, j = \overline{1, n_{gdi}^{uv}} \right), i = \overline{u + 1, m_{gd}^{uv}}; g \in \{1, K^u\}. \quad (10)$$

У результаті комбінації одного з варіантів розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги і одного з варіантів розміщення смуг по ширині  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП утворюється  $\omega_{gd}$ -а карта розміщення ПО у межах  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП, згенерованої за схемою "сітка". У цьому місці у випадку розгляду двох ділянок  $g=1$ -ої (головної) частини ПП необхідно здійснити рекурсивний перехід до наступної  $d=2$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП, виконати певну послідовність дій (див. нижче), повернутись знову в це саме місце і продовжити виконання подальших розрахунків.

Таким чином, наступний поточний  $w=w+1$  варіант розміщення смуг по ширині  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП базується на попередньому варіанті з такими змінами. Повторюваності смуг без будь-яких змін з попереднього варіанту їх розміщення по ширині  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП переносяться в наступний варіант, тобто

$$y_{gdi}^{uvw} = y_{gdi}^{u,v,w-1}, i = \overline{k_{gd}^{uvw}, m_{gd}^{uv} - 1}; g \in \{1, K^u\}. \quad (11)$$

Повторюваність останньої  $m_{gd}^{uv}$ -ої смуги прирівнюється до нуля ( $y_{g,d,m_{gd}^{uv}}^{uv} = 0$ ) і відшукується така, нехай,  $k_{gd}^{uvw}$ -а смуга, повторюваність якої є більшою від нуля ( $y_{g,d,k_{gd}^{uvw}}^{uvw} > 0$ ). Потім ця повторюваність зменшується на одиницю ( $y_{g,d,k_{gd}^{uvw}}^{uvw} = y_{g,d,k_{gd}^{uvw}}^{uvw} - 1$ ), а початкова довжина залишку ширини  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП для  $k_{gd}^{uvw}$ -ої смуги перед початком генерування  $w$ -го варіанту визначається за такою формулою

$$c_{g,d,k_{gd}^{uvw}}^{uvw} = w_{gd,rob} - \sum_{i=1}^{k_{gd}^{uvw}} w_{gdi}^{uv} \cdot y_{gdi}^{uvw}; g \in \{1, K^u\}. \quad (12)$$

Після цього за співвідношенням (9) визначаються поточна повторюваність  $i$ -ої смуги і поточна довжина залишку робочої ширини  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП під час генерування  $w$ -го варіанту їх розміщення. Аналогічно продовжуються розрахунки для кожного наступного варіанту розміщення смуг. Припинення процесу генерування допустимих варіантів розміщення смуг по ширині  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП відбувається під час виконання такої умови:

$$y_{gdi}^{uvw} = 0 \wedge i = u; g \in \{1, K^u\}, \quad (13)$$

тобто, з обов'язковою нульовою повторюваністю  $u$ -ої основної смуги.

Наступний поточний  $v=v+1$  варіант розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги, що належить до  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП, базується на попередньому з такими змінами. Повторюваності ПО без будь-яких змін з попереднього варіанту їх розміщення вздовж  $u$ -ої основної смуги переносяться в наступний варіант, тобто

$$p_{gdij}^{uvw} = p_{gdij}^{u,v-1,w}, j = \overline{i_{gdi}^{uv}, n_{gdi}^{uv} - 1}; i = u; g \in \{1, K^u\}. \quad (14)$$

Повторюваність останнього  $n_{gdi}^{uv}$ -го ПО прирівнюється до нуля ( $p_{g,d,i,n_{gdi}^{uv}}^{uv} = 0$ ) і відшукується такий, нехай,  $i_{gdi}^{uv}$ -ий ПО, повторюваність якого є більшою від нуля ( $p_{g,d,i,i_{gdi}^{uv}}^{uv} > 0$ ). Потім ця повторюваність зменшується на одиницю ( $p_{g,d,i,i_{gdi}^{uv}}^{uvw} = p_{g,d,i,i_{gdi}^{uv}}^{uvw} - 1$ ), а початкова довжина залишку смуги для  $i_{gdi}^{uv}$ -го ПО перед початком генерування  $v$ -го варіанту визначається за формулою

$$z_{g,d,i,i_{gdi}^{uv}}^{uv} = d_{g,rob}^{u,v,w} - \sum_{j=1}^{i_{gdi}^{uv}} d_{gdij}^{uv} \cdot p_{gdij}^{uvw}, g \in \{1, K^u\}. \quad (15)$$

Після цього за співвідношенням (6) визначаються поточна повторюваність  $j$ -го ПО і поточна довжина залишку смуги під час генерування  $v$ -го варіанту їх розміщення вздовж смуг  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП. Аналогічно продовжуються розрахунки для кожного наступного варіанту розміщення ПО. Припинення процесу генерування допустимих варіантів розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП відбувається під час виконання такої умови

$$p_{gdi}^{uvw} = 0, j = 1, \overline{n_{gdi}^{uv} - 1} \wedge i = u; g \in \{1, K^u\}, \quad (16)$$

тобто, з обов'язковою нульовою повторюваністю усіх ПО (без останнього), які знаходяться у  $u$ -ій основній смузі.

Після цього відбувається перехід до наступної смуги, що належить до  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП і яка раніше була допоміжною, а тепер вже стає основною і продовжуються розрахунки, починаючи із співвідношення (5). Перехід від однієї основної смуги до іншої завершується аж на останній смузі, яка має найменшу довжину, тобто  $u = 1, m_{gd}^c$ , де  $d=1$  і  $g \in \{1, K^u\}$ . Якщо  $d=1$  і  $g=1$ , то після цього завершується процес розв'язання задачі. Якщо ж  $d > 1$  і  $g \in \{1, K^u\}$ , то процес розв'язання задачі продовжується з переходом на  $d = d - 1$  (попередню) ділянку  $g=1$ -ої (головної) частини ПП.

Після рекурсивного переходу до наступної  $d=2$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП визначається її робоча ширина за такою формулою

$$m_{gd, \text{роб}}^{\partial} = m_{g,d-1}^{\partial, uvw} - \sum_{i=1}^{m_{g,d-1}^{uvw}} m_{g,d-1,i}^{uv} \cdot y_{g,d-1,i}^{uvw} + m_{g,d}^{\partial} + \Delta m_{g,d}^{\partial}; g \in \{1, K^u\}. \quad (17)$$

Потім за співвідношенням (6) здійснюється розрахунок  $v$ -го варіанту розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги, відбувається підбір допоміжних смуг (співвідношення (7) і (8)) і здійснюється розрахунок  $w$ -го варіанту розміщення смуг по ширині  $d=2$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП (співвідношення (9)). У результаті комбінації одного з варіантів розміщення ПО вздовж основної смуги і одного з варіантів розміщення смуг по ширині  $d=2$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП утворюється  $\omega_{gd}$ -а карта розміщення ПО у межах цієї ділянки частини ПП за схемою "сітка". У цьому місці, якщо розглядаються три (чотири і т.д.) ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП, необхідно здійснити рекурсивний перехід до наступної  $d$ -ої її ділянки. Якщо ж таких ділянок більше немає, то внаслідок комбінації  $\omega_{g1}$ -ої карти розміщення ПО у межах  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП та поточної  $\omega_{g2}$ -ої карти розміщення ПО у межах  $d=2$ -ої ділянки ПП утворюється поточна  $v_g$ -а карта розміщення ПО у межах всієї  $g=1$ -ої (головної) частини ПП з комбінацією двох "сіток". У цьому місці необхідно здійснити рекурсивний перехід до  $g=2$ -ої (основної) частини ПП і, аналогічно як і для головної частини, виконати всі розглянуті вище дії.

Після цього, починаючи із співвідношення (11), генерується наступний поточний  $w=w+1$  варіант розміщення смуг по ширині  $d=1$ -ої ділянки  $g=1$ -ої (головної) частини ПП і т.д.

Після рекурсивного переходу до наступної  $g=2$ -ої (основної) частини ПП визначаються її робочі ширина і довжина за такими формулами:

$$m_{g, \text{роб}}^{\partial} = M^{\partial}; \quad D_{g, \text{роб}}^{\partial, uvw} = D^{\partial} - \sum_{d=1}^{d_{g-1}^{\partial}} \sum_{i=u}^{m_{g-1,d}^{uvw}} m_{g-1,d,i}^{uv} \cdot y_{g-1,d,i}^{uvw}, g = 2. \quad (18)$$

Всі інші дії виконуються так само, як і для  $g=1$ -ої (головної) частини ПП, починаючи з визначення робочої ширини (максимального значення)  $d=1$ -ої ді-

лянки (5), тільки з тією різницею, що вони мають стосуватися  $g=2$ -ої (основної) частини ПП. Комбінація  $v_1$ -ої та  $v_2$ -ої карт розміщення ПО у межах кожної з частин ПП, згенерованих з комбінацією двох "сіток", утворює  $\mathfrak{D}$ -у карту розміщення ПО у межах всієї ПП і т.д.

До показників ефективностей згенерованих карт розміщення ПО у межах ПП під час генерування  $v$ -го варіанту розміщення ПО вздовж  $u$ -ої основної смуги і  $w$ -го варіанту розміщення смуг по ширині ділянок частин ПП належать такі складові результати розрахунку:

- заповнення смуг  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП, кожна з яких має довжину  $D_{g,роб}^{u,v,w}$

$$\left\{ \overline{S_{gd}^{uvw}} = \left\{ s_{gdi}^{uvw} = \sum_{j=1}^{n_{gdi}^{uv}} D_{gdij}^{uv} \cdot p_{gdij}^{uvw}, i = \overline{u, m_{gd}^{uv}} \right\}, d = \overline{1, d_g^{\partial}} \right\}, g = \overline{1, K^u}; \quad (19)$$

- заповнення  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП, кожна з яких має ширину  $\mathfrak{W}_{gd,роб}^{\partial,uvw}$

$$\left\{ \delta_{gd}^{uvw} = \sum_{i=u}^{m_{gd}^{uv}} \mathfrak{W}_{gdi}^{uv} \cdot y_{gdi}^{uvw}, d = \overline{1, d_g^{\partial}} \right\}, g = \overline{1, K^u}; \quad (20)$$

- загальне заповнення  $d$ -ої ділянки  $g$ -ої частини ПП

$$\left\{ \Omega_{gd}^{uvw} = \delta_{gd}^{uvw} \cdot s_{gdu}^{uvw}, d = \overline{1, d_g^{\partial}} \right\}, g = \overline{1, K^u}; \quad (21)$$

- загальне заповнення  $g$ -ої частини ПП ПО

$$\Omega_g^{uvw} = \sum_{d=1}^{d_g^{\partial}} \Omega_{gd}^{uvw}, g = \overline{1, K^u}; \quad (22)$$

- загальне заповнення всієї ПП ПО

$$\Omega^{uvw} = \sum_{g=1}^{K^u} \Omega_g^{uvw}; \quad (23)$$

- інтенсивність заповнення  $g$ -ої частини ПП ПО

$$Kz_g^{uvw} = \frac{\Omega_g^{uvw}}{S_{g,роб}^{uvw}}, g = \overline{1, K^u}; \quad (24)$$

- інтенсивність заповнення всієї ПП ПО

$$Kz^{uvw} = \frac{\Omega^{uvw}}{S^n}, \quad (25)$$

де:  $s_{g,роб}^{uvw} = D_{g,роб}^{u,v,w} \cdot \mathfrak{W}_{g,роб}^{\partial,uvw}$  – площа  $g$ -ої частини ПП;  $S^n = D^n \cdot \mathfrak{W}^n$  – площа ПП.

Зрозуміло, що для способу РПОДР ПО у межах  $d$ -ої ділянок  $g$ -ої частини ПП за схемою "сітка" для виразу (21) є необов'язковим обчислення заповнення кожної смуги ПО, оскільки всі смуги мають однакову довжину і однакове заповнення.

\* \* \*

1. На підставі конкретних числових даних розглянуто методику процесу формування усіх допустимих карт розкрою для головної та основної частин ПДМ на меблевій заготовки з СП-ПП і СПіЗПП, а також з врахуванням обмежень на вико-

ристання максимальної ширини головної частини плити, на використання НШД ділянок частин плити, повторюваності заготовок малих довжин і смуг малих ширин.

2. Запропонований підхід щодо процесу формування допустимих карт розкрою для головної та основної частин плити на заготовки названо *способом РПОДР заготовок у межах заданої d-ої ділянки частини плити з СП-ПП, а у межах всієї частини плити – з СПіЗПП*. Враховуються також обмеження на використання максимальної ширини головної частини плити, на використання НШД кожної з частин плити, на повторюваності заготовок малих довжин і смуг малих ширин. Особливість цього способу у тому, що серед усіх сформованих карт розкрою для всієї плити не трапляється однакових варіантів.

3. Розроблена відповідна математична модель, в яку входять математичне формулювання, алгоритм розв'язання і програмне забезпечення з використанням технології структурного програмування.

### Література

1. **Германское** оборудование для деревообработки. Каталог справочник. – FG Holz, 1998. – 210 с.

2. **Грицюк Ю.І.** Методика врахування в картах розкрою плитних матеріалів заготовок малих довжин і смуг малих ширин// Лісове госп-во, лісова, паперова і деревообробна промисловість: Міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 27. – С. 78-95.

3. **Грицюк Ю.І.** Методика формування карт розкрою з суцільними поздовжніми і зміщеними поперечними пропилами// Наук. вісник УкрДЛТУ: Сучасні теоретичні розробки в деревообробному і меблевому виробництвах. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.5. – С. 61-80.

4. **Примеры** новейших угловых установок с двумя и несколькими пилами с прижимной балкой для раскроя мелких, средних и крупных партий плит// Лесдревмаш. Машины, оборудование и приборы для лесной и деревообрабатывающей промышленности. Особый официальный межвыставочный выпуск. – Штутгарт, ФРГ: НК international, Holz-Zentralblatt. – 1997. – С 24-33.

5. **Перспекти** фірми "Schwabedissen", ФРН. – 1998, 2000, 2001, 2002.

6. **Грицюк Ю.І.** Регулярне двовимірне розміщування прямокутних об'єктів у межах прямокутної площини// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.2. – С. 243-259.

