

## Модели расписаний переработки двух видов сырья с различной кратностью использования каскада экстракторов

Перов А.Г., Косачев В.С., Кошевой Е.П.

Кубанский государственный технологический университет

*Использование одного каскада на различных видах сырья увеличивает время ожидания измельченного сырья перед его загрузкой в экстрактор. Снижение этого времени, возможно, при использовании специализированных каскадов и уменьшении кратности их использования. Из этого следует, что при организации краткосрочного оперативного планирования число переходов установки с одного вида сырья на другое должно быть минимально. Определяющим фактором такого расписания становится операция дробления. В этом случае при оптимальной переработке сырья эта стадия для рассматриваемого производства определяет временной график простоев расписания.*

Ключевые слова: экстракция, теория расписаний, эфиромасличном сырье.

В реальных производственных условиях экстракторы периодического действия высокого давления ( $\text{CO}_2$ -экстракторы) объединяют в установки (два параллельно работающих экстрактора), имеющие общую систему обеспечения (конденсатор, испаритель, и т.д.). В этом случае процесс переработки сырья проходит в этих экстракторах параллельно (загрузка установка, экстрагирование, слив установка).

Рассмотрим модели бинарных расписаний образующихся при переработке двух видов сырья с различной кратностью использования каскада экстракторов на данном виде сырья. При составлении графика Ганта для моделируемого расписания учитывалось, что при переходе каскада с одного сырья на другое необходима очистка каскада от остатков предыдущего сырья. Основными моделируемыми параметрами процесса являются число каскадов, используемых для переработки данного вида сырья ( $k$ ) и кратность использования этих каскадов ( $n_1, n_2$ ). Функциями отклика в этом случае являются время завершения работ ( $D$ ) и простой каскадов ( $\Delta$ ).

Рассмотрим простейшее расписание, возникающее при использовании одного каскада на двух видах сырья ( $k=1, n_1=1, n_2=1$ ). Даже в этом простейшем случае возможно два вида расписаний, имеющих различные функции отклика (Рисунок 1).

Сравнивая эти два графика Ганта, видим, что время завершения работ и простой каскада в первом случае меньше чем во втором. Это соответствует упорядочиванию по правилу Джонсона, т.к. представленные расписания фактически образуют двухстадийную систему и минимум соответствует более короткой первой стадии. Для проверки этого предположения рассмотрим расписания, возникающие при использовании каскада дважды на кориандре и однократно на укропе ( $k=1, n_1=2, n_2=1$ ). Как и в предыдущем случае, оптимальное расписание (Рисунок 2) подчиняется правилу Джонсона ( $D=640, \Delta_1=110, \Delta_2=335$ ). Рассмотрим процесс построения модели расписания при многократном использовании каскада на двух видах сырья.

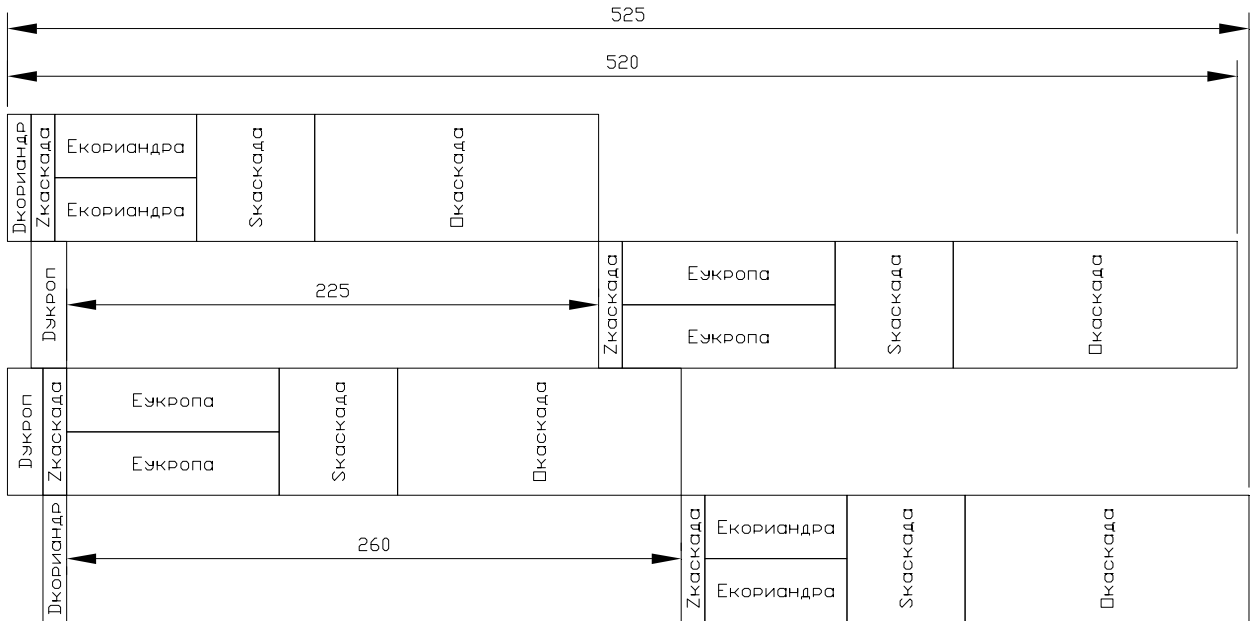


Рис. 1. Диаграмма Ганта экстракции кориандра и укропа однократно на одном каскаде ( $k=1, n_1=1, n_2=1$ )

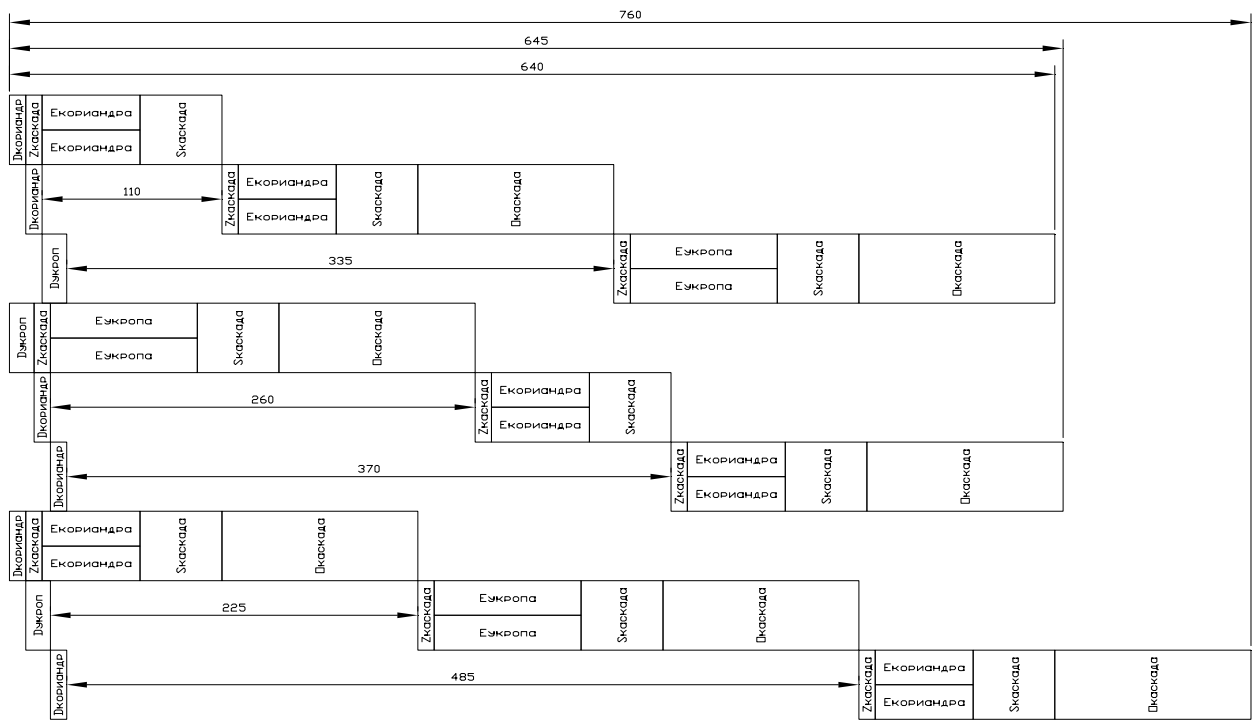


Рис. 2. Диаграмма Ганта экстракции кориандра и укропа на одном каскаде ( $k=1, n_1=2, n_2=1$ )

В простейшем случае этот вариант расписания соответствует двукратному использованию экстрактора на обоих видах сырья ( $k=1, n_1=2, n_2=2$ ). Очевидно, в этом случае возможно создание четырех расписаний с различными вариантами переработки (Рисунок 3).

Как видно из представленных графиков Ганта оптимальным также является расписание, удовлетворяющее алгоритму Джонсона. Следовательно, бинарные расписания образованные на одном каскаде фактически представляют собой расписания двух машин на нескольких партиях сырья.

Особенностью данного процесса является тот факт, что при переходе с одного сырья на другое длительность второй стадии увеличивается на время очистки каскада. Следовательно, при расчете графика выполнения работ матричным методом этот факт должен учитываться в матричных уравнениях.

В общем виде матрица длительностей выполнения работ в этом случае имеет следующую блочную структуру:

$$W_b = \left\| \begin{array}{ccc|ccc} d_{1,1} & \Lambda & d_{1,i} & \Lambda & d_{1,n_1} & d_{1,n_1+1} & \Lambda & d_{1,j} & \Lambda & d_{1,n_1+n_2} \\ s_{2,1} & \Lambda & s_{2,i} & \Lambda & o_{2,n_1} & s_{2,n_1+1} & \Lambda & s_{2,j} & \Lambda & o_{2,n_1+n_2} \end{array} \right\| \quad (1)$$

где  $n_1$  - кратность использования каскада на первом сырье;

$n_2$  - кратность использования каскада на втором сырье;

$d_{1,i}$  - дробление первого сырья,  $i = 1, 2, \dots, n_1$ ;

$d_{1,j}$  - дробление второго сырья,  $j = n_1+1, n_1+2, \dots, n_1+n_2$ ;

$s_{2,i}$  -  $\Sigma$  (загрузка, экстракция, слив) первого сырья,  $i = 1, 2, \dots, n_1-1$ ;

$s_{2,j}$  -  $\Sigma$  (загрузка, экстракция, слив) второго сырья,  $j = n_1+1, n_1+2, n_1+n_2-1$ ;

$o_{2,n1}$  -  $\Sigma$  (загрузка, экстракция, слив, очистка) первого сырья;

$o_{2,n2}$  -  $\Sigma$  (загрузка, экстракция, слив, очистка) второго сырья.

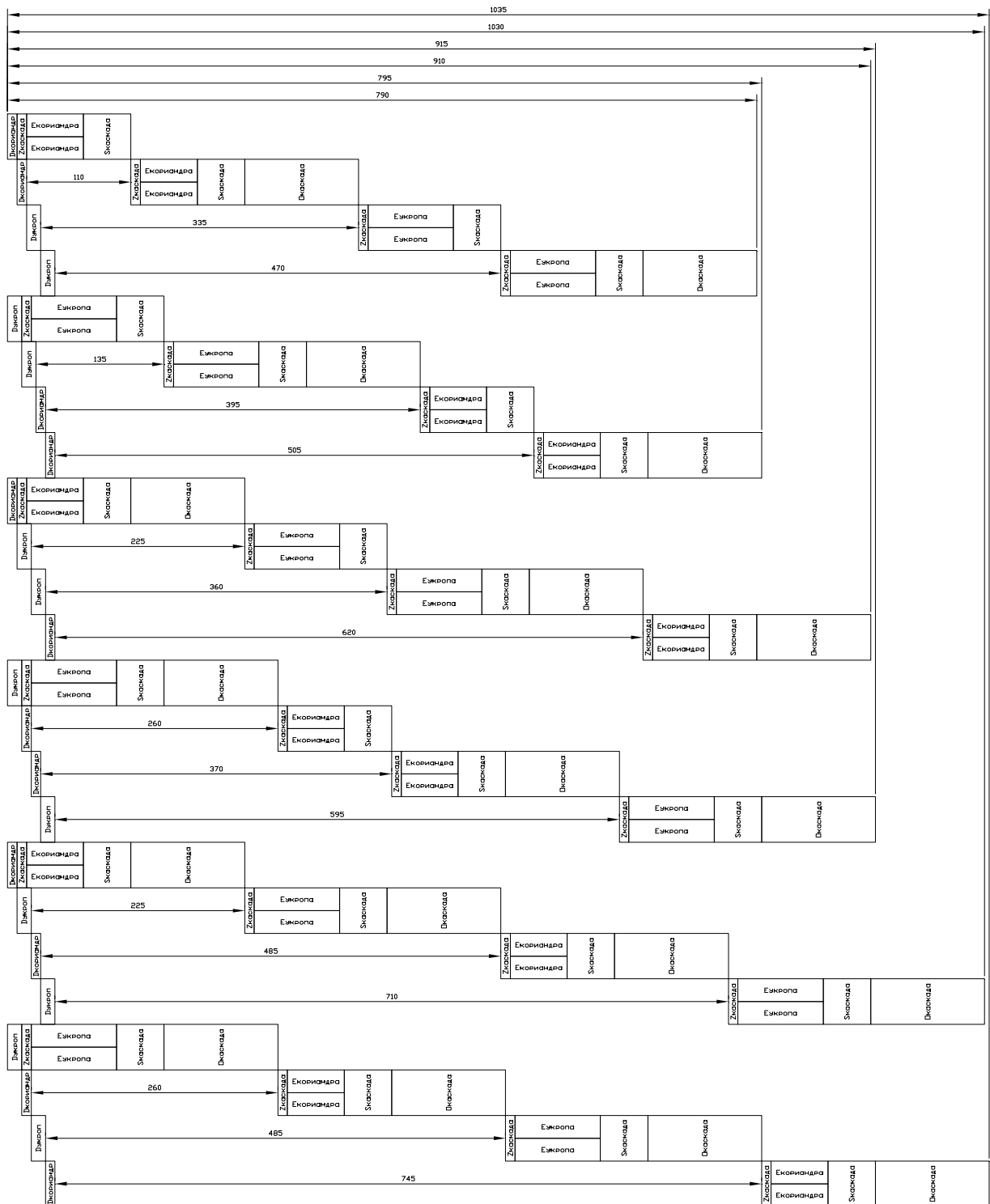


Рис. 3. Диаграмма Ганта экстракции кориандра и укропа на одном каскаде ( $k=1, n_1=2, n_2=2$ ).

В этом случае матрица завершения работ ( $Z$ ) может быть рассчитана по следующей матричной формуле:

$$Z_b = \begin{vmatrix} w_{1,1} & \sum_{i=1}^2 w_{1,i} & \Lambda & \sum_{i=1}^j w_{1,i} & \Lambda & \sum_{i=1}^{n_1+n_2} w_{1,i} \\ w_{1,1} + w_{2,1} & w_{2,2} + \{z_{1,2}; z_{2,1}\}_{\max} & \Lambda & w_{2,j} + \{z_{1,j}; z_{2,j-1}\}_{\max} & \Lambda & m_{2,n_1+n_2} + \{z_{1,n_1+n_2}; z_{2,n_1+n_2-1}\}_{\max} \end{vmatrix} \quad (2)$$

Представленное матричное уравнение позволяет определить не только завершение всех стадий процесса, но и их начало - вычитанием из матрицы ( $Z_b$ ) матрицы ( $W_b$ ). Использование элементов полученной матрицы начала работ ( $R_b = Z_b - M_b$ ) позволяет определить длительность простоев каскадов в ожидании загрузки их сырьем по формуле:

$$S_{b\Delta} = \sum_{j=1}^{n_1+n_2} (r_{2,j} - z_{1,j}). \quad (3)$$

Аналогично возможно построение расписаний для произвольного числа партий различного сырья и различной кратности использования одного каскада на этих партиях сырья.

Одним из возможных вариантов реализации матричного алгоритма является среда инженерных расчетов MathCAD. В качестве исходных данных могут быть использованы: вектор кратностей использования каскада ( $myN$ ); вектор длительностей дробления сырья ( $myD$ ); вектор длительностей суммарного времени загрузки экстракции и слива каскада ( $myS$ ) и вектор длительностей очистки каскада ( $myO$ ). В этом случае матрица длительностей будет содержать столько блоков, сколько элементов содержится в векторе ( $myN$ ). Длина каждого блока равна величине каждого элемента этого вектора. Матрица длительностей ( $myW$ ) формируется на основе следующего модуля:

$$myW := \begin{vmatrix} k \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1.. \text{rows}(myN) \\ \quad \text{for } j \in 1.. myN_{i-1} \\ \quad \quad \begin{vmatrix} mw_{0,k} \leftarrow myD_{i-1} \\ mw_{1,k} \leftarrow myS_{i-1} \\ k \leftarrow k + 1 \end{vmatrix} \\ \quad \quad mw_{1,k-1} \leftarrow mw_{1,k-1} + myO_{i-1} \end{vmatrix} mw \quad (4)$$

Матрица завершения работ ( $myZ$ ) может быть сформирована на основе другого модуля, использующего данные исходных векторов.

Таким образом представленные модули (4) и (5) позволяют определить все характеристики расписаний многоассортиментной переработки сырья на одном каскаде. При этом оптимальное построение расписаний возможно при использовании перестановочного алгоритма Джонсона.

$$\begin{array}{l}
\text{myZ} := \left| \begin{array}{l}
k \leftarrow 0 \\
\text{for } i \in 1.. \text{rows}(\text{myN}) \\
\quad \left| \begin{array}{l}
\text{for } j \in 1.. \text{myN}_{i-1} \\
\quad \left| \begin{array}{l}
\text{mw}_{0,k} \leftarrow \text{myD}_{i-1} \\
\text{mw}_{1,k} \leftarrow \text{myS}_{i-1} \\
k \leftarrow k + 1
\end{array} \right. \\
\text{mw}_{1,k-1} \leftarrow \text{mw}_{1,k-1} + \text{myO}_{i-1}
\end{array} \right. \\
\text{for } j \in 0.. k - 1 \\
\quad \left| \begin{array}{l}
\text{mz}_{0,j} \leftarrow \sum_{i=0}^j \text{mw}_{0,i} \\
\text{mz}_{1,j} \leftarrow \text{mw}_{0,0} + \text{mw}_{1,0} \text{ if } j = 0 \\
\text{mz}_{1,j} \leftarrow \max(\text{mz}_{1,j-1}, \text{mz}_{0,j}) + \text{mw}_{1,j} \text{ otherwise}
\end{array} \right. \\
\text{mz}
\end{array} \right.
\end{array} \quad (5)$$

В качестве примера построения такого расписания можно рассмотреть переработку трех видов сырья (кориандр, укроп и хмель) на основе следующих исходных векторов:

$$\begin{array}{l}
\text{myN} := \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 5 \end{pmatrix} \quad \text{Вектор кратностей для трех видов сырья} \\
\text{myD} := \begin{pmatrix} 10 \\ 15 \\ 25 \end{pmatrix} \quad \text{Вектор длительностей дробления трех видов сырья} \\
\text{myS} := \begin{pmatrix} 120 \\ 150 \\ 180 \end{pmatrix} \quad \text{Вектор длительностей суммарного времени} \\
\text{myO} := \begin{pmatrix} 120 \\ 120 \\ 120 \end{pmatrix} \quad \text{Вектор длительностей очистки каскада} \\
\quad \quad \quad \text{для трех видов сырья}
\end{array} \quad (6)$$

Использование исходных данных (6) в модуле (4) позволяет получить матрицу длительностей, которая оптимально упорядочена (минимальные длительности вначале первой строки этой матрицы):

$$\text{myW} = \begin{pmatrix} 10 & 10 & 10 & 15 & 15 & 25 & 25 & 25 & 25 & 25 \\ 120 & 120 & 240 & 150 & 270 & 180 & 180 & 180 & 180 & 300 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Использование этой матрицы в модуле (5) позволяет получить матрицу завершения работ:

$$myZ = \begin{pmatrix} 10 & 20 & 30 & 45 & 60 & 85 & 110 & 135 & 160 & 185 \\ 130 & 250 & 490 & 640 & 910 & 1090 & 1270 & 1450 & 1630 & 1930 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Вычитая из матрицы завершения работ матрицу длительностей, получаем матрицу начала работ ( $myR=myZ-myW$ ):

$$myR = \begin{pmatrix} 0 & 10 & 20 & 30 & 45 & 60 & 85 & 110 & 135 & 160 \\ 10 & 130 & 250 & 490 & 640 & 910 & 1090 & 1270 & 1450 & 1630 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Матрица ( $myR$ ): позволяет рассчитать вектор времен простоя каскада ( $\Delta$ ) при выполнении данной производственной программы:

$$\Delta_j := myR_{1,j} - myZ_{0,j} \quad (10)$$

где  $j$  - текущий элемент вектора  $\Delta$ ,  $j=1, 2, \dots, \Sigma(myN)$ .

В данном примере вектор ( $\Delta$ ) имеет следующие элементы:

$$\Delta^T = (0 \ 110 \ 220 \ 445 \ 580 \ 825 \ 980 \ 1135 \ 1290 \ 1445) \quad (11)$$

## Выводы:

Использование одного каскада на различных видах сырья увеличивает время ожидания измельченного сырья перед его загрузкой в экстрактор. Снижение этого времени возможно при использовании специализированных каскадов и уменьшении кратности их использования. Из этого следует, что при организации краткосрочного оперативного планирования число переходов установки с одного вида сырья на другое должно быть минимально. Определяющим фактором такого расписания становится операция дробления. В этом случае при оптимальной переработке сырья эта стадия для рассматриваемого производства определяет временной график простоев расписания.

## Список литературы

1. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсевиц В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. М.: Наука, 1989. 322 с.
2. Кафаров, В.В., Мешалкин В.П. - Анализ и синтез химико-технологических систем. М. : Химия, 1991.-431 с.
3. Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции. - М. : Анахарсис, 2002. - 304 с.
4. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. М., Наука, 1975 г.