

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕРЫ БЛИЗОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ МЕХАНОСБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Прилипский Кирилл Владимирович<sup>(1)</sup>, Лобуз Василий Владимирович<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>студент 6 курса, <sup>(2)</sup>кандидат технических наук, ассистент кафедры МТ-3  
*Российская федерация, г. Москва, Московский Государственный  
Университет им. Н.Э.Баумана, кафедра «Технология машиностроения»*

Научный руководитель: Г.Н. Мельников  
*кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-3*

Для машиностроительных предприятий с серийным типом производства одной из основных проблем является необходимость периодического изменения структуры производства вследствие неустойчивости номенклатуры производимой продукции, изменения серийности, износа технологического оборудования. Для обеспечения высоких технико-экономических характеристик производства такое изменение должно основываться на применении предметной или поддетальной специализации участков и цехов [1].

В случае бесфундаментной установки технологического оборудования возможно постоянное обеспечение взаимного соответствия функциональной и пространственной структур цеха с минимальными затратами. Под функциональной структурой понимается разделение станков по участкам с определением номенклатуры технологических операций по каждому станку. Пространственная структура определяет последовательность размещения оборудования в пространстве цеха. Взаимное соответствие данных структур позволяет сократить межоперационные заделы, уменьшить площади под складирование и количество транспортного оборудования, сократить длительность производственного цикла.

Определение как функциональной, так и пространственной структуры производится в ходе технологической подготовки производства квалифицированными специалистами-технологами. Для поднятия уровня качества принимаемых решений необходимо привлечение современной вычислительной техники и программного обеспечения на основе формальных моделей технологической системы производства. Все вышесказанное определяет актуальность работ по синтезу и совершенствованию моделей и методов структуризации технологических систем механосборочного производства серийного типа.

Использование предметной и поддетальной специализации участков и цехов в качестве проектной основы технологической системы производства предполагает глубокую декомпозицию состава оборудования цеха на подсистемы, обладающие собственными целями. При этом происходит замена систем, машин и агрегатов, обслуживающих всё пространство цеха на специализированное оборудование, обслуживающие отдельные участки или даже станки.

В случае грузоподъемного и транспортного оборудования такое разделение зачастую целесообразно. Замена, скажем, мостового крана на множество тельферов или консольно-поворотных кранов, локальных по своему действию, может привести к ускорению передачи заготовок между позициями, сокращению межоперационных заделов. А, следовательно, к повышению экономической эффективности производства.

Для того чтобы выполнить декомпозицию технологической системы цеха в аспекте подъемно-транспортного оборудования, необходимо создать определённые предпосылки в плане расположения технологического оборудования. А именно, следует сформировать принципиальное планировочное решение таким образом, чтобы станки, задействованные на смежных технологических операциях, располагались рядом.

Согласно [3] наиболее рационально решать поставленную задачу при помощи моделирования на треугольной сетке.

В качестве исходных данных для поставленной задачи необходимо использовать линейную последовательность [2], в которой станки, обрабатывающие максимально схожую номенклатуру заготовок, расположены предельно близко друг к другу.

В отличие от [2], при формировании решения на треугольной сетке предполагается учитывать последовательность выполнения технологических процессов, точки подачи/выдачи заготовок и готовой продукции. Учет этих данных позволит формировать окончательное решение без дополнительного этапа с использованием прямоугольной сетки, что в конечном итоге, должно повысить точность методики [2].

Существует два принципиально различных подхода к формированию такого рода решений. Первый – одномоментный синтез решения с его дальнейшей модификацией, осуществляемой, например, перестановками. Второй – пошаговое формирование. В данной работе для дальнейшего сравнительного анализа был разработан эвристический метод на основе второго подхода.

Для того чтобы определить последовательность формирования решения (в том числе – порядок следования участков), необходимо предварительно переработать линейное размещение оборудования и произвести укрупнённый учет расположения точек подачи заготовок и выдачи готовых деталей. Данные действия выполняются исходя из

предположения, что последовательность укладывается на треугольную сетку послойно, а значит, начало, середина и конец линии располагаются в начале, середине и конце треугольной сетки соответственно.

Все возможные случаи расположения точек подачи/выдачи заготовок и готовых деталей (их координаты  $x_O$  и  $x_I$ , соответственно) относительно линейного размещения оборудования (длиной  $|L|$ ) приводятся к трём рассматриваемым ниже:

- а) точка подачи там же, где и выдачи,  $x_O = x_I$ ;
- б) точка подачи противоположна точке выдачи,  $|x_O - x_I| = |L|$ ;
- в) точка подачи (выдачи) на расстоянии половины последовательности от точки выдачи (подачи), располагающейся на краю,  $|x_O - x_I| = 0,5 \cdot |L|$ ,  
где  $x_O = 0$  или  $x_I = |L|$ .

Оптимизация линейного размещения оборудования производится при перемене взаимного расположения множеств, соответствующим участкам, а также при использовании как прямой, так и обратной последовательностей станков во множествах. Критерием оптимизации служит минимум условной мощности грузопотока, рассчитываемый при усреднённых массах заготовок по формуле (1):

$$M_{y\sum} = \sum_{k=1}^D \left( m_k \cdot \left( (S_{i_{\max}}^k - S_{i_{\min}}^k) + |x_O - S_{i_{\max}}^k| + |x_I - S_{i_{\min}}^k| \right) \right) \quad (1)$$

где  $k$  – номер изделия;  $D$  – количество изготавливаемых деталей по наименованиям;  $m_k$  – средняя масса  $k$ -ой заготовки в объеме годового выпуска;  $S_{i_{\min}}^k, S_{i_{\max}}^k$  – номера локаций в линии, занимаемые первой и последней единицей технологического оборудования, применяемых для получения детали  $k$ -ого наименования,  $i$  – номер локации в линии ( $1 \leq i \leq |L|$ ).

Далее определяется рядность размещения станков, исходя из:

- а) заданных габаритов участка: длины  $L_{yч}$  и ширины  $B_{yч}$ ;
- б) усреднённых габаритов инверсных темплетов станков (с половиной нормированного расстояния между станками по контуру): длины  $l_{um}^{cp}$ , ширины  $b_{um}^{cp}$ ;

в) предпочтительного варианта размещения технологического оборудования (параллельно или перпендикулярно проезду).

При этом очевидно ограничение, накладываемое на значения используемых величин:

$$|L| \cdot l_{um}^{cp} \cdot b_{um}^{cp} \leq L_{yч} \cdot B_{yч}$$

Предлагаемый метод должен обуславливать появление кольцевых пространственных структур расположения оборудования, в которых технологическое оборудование сориентировано рабочими зонами друг к другу. Поэтому расчёт рядности представляется рациональным

производить исходя из предпосылки размещения технологического оборудования под углом ( $\alpha$ ) к магистральному проезду:

$$n_L' = \frac{\cos \alpha}{b_{um}^{cp}} (B_{yч} - l_{um}^{cp} \cdot \sin \alpha - b_{um}^{cp} \cdot \cos \alpha),$$

$$n_L = \lfloor n_L' \rfloor, \text{ если } \alpha > 45^\circ; n_L = \lceil n_L' \rceil, \text{ если } \alpha \leq 45^\circ.$$

$$n_B = \left\lceil \frac{|L|}{n_L} \right\rceil,$$

где  $\lceil \cdot \rceil$  – операция округления до большего целого;

$n_L$  – количество рядов технологического оборудования;

$n_B$  – количество локаций в каждом ряду.

Соответственно, размеры шагов сетки рассчитываются следующим образом:

$$l_y = \frac{L_{yч}}{n_L}, l_x = \frac{B_{yч}}{n_B}, l_{xy} = \sqrt{l_x^2 + 0,25 \cdot l_y^2}.$$

Величину угла ( $\alpha$ ) рекомендуется принять  $45^\circ$ .

В данной работе в качестве примера рассматривается случай трехрядного размещения – относительно сложный и наиболее часто встречаемый на практике.

Для упрощения процесса формирования решения выполняется укрупнение групп технологического оборудования путем их объединения. Такое укрупнение производится для групп с количеством станков менее семи. Объединение выполняется с группами, для которых значение меры близости максимально. Мера близости рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{M_{yd}}{M_{yd} + M_{yb} + M_{yc}}, \quad (2)$$

где  $d$  – множество наименований деталей, изготавливаемых на станках обеих групп и  $M_{yd}$  – условная мощность грузопотока соответствующая этим деталям, рассчитанная на линейной последовательности;  $b$  – множество наименований деталей, изготавливаемых на станках  $i$ -ой группы и не изготавливаемых на  $j$ -ой;  $c$  – множество наименований деталей, изготавливаемых на станках  $j$ -ой группы и не изготавливаемых на  $i$ -ой;  $M_{yb}$  и  $M_{yc}$  – аналогично  $M_{yd}$ .

Для начала построения выбирается группа технологического оборудования с максимальной условной мощностью грузопотока. Для нее составляется многоугольник (рис. 1), вершины которого соответствуют единицам технологического оборудования. Все диагонали многоугольника соответствуют технологическим связям между станками. Вес каждой связи равен условной мощности грузопотока для рассматриваемой пары оборудования и рассчитывается по формуле (3):

$$M_{\text{уп}ij} = \sum_{k=1}^d (m_k \cdot z_k), \quad (3)$$

где  $m_k$  – годовой грузопоток, создаваемый заготовками деталей  $k$ -го наименования;  $z_k$  – количество перемещений соответствующих заготовок между  $i$ -м и  $j$ -м станками.

Значения  $M_{\text{уп}ij}$  заносятся в таблицу (рис. 1). Из всего множества треугольников, построенных на вершинах многоугольника, методом перебора определяется треугольник, имеющий максимальную сумму значений связей. Формирование пространственной структуры рассматриваемого участка осуществляется от выбранного базового треугольника путем добавления станков в соседние узлы треугольной решетки. Станок помещается в узел в том случае, если значение меры близости  $R$  для получаемого и базового треугольника максимально.

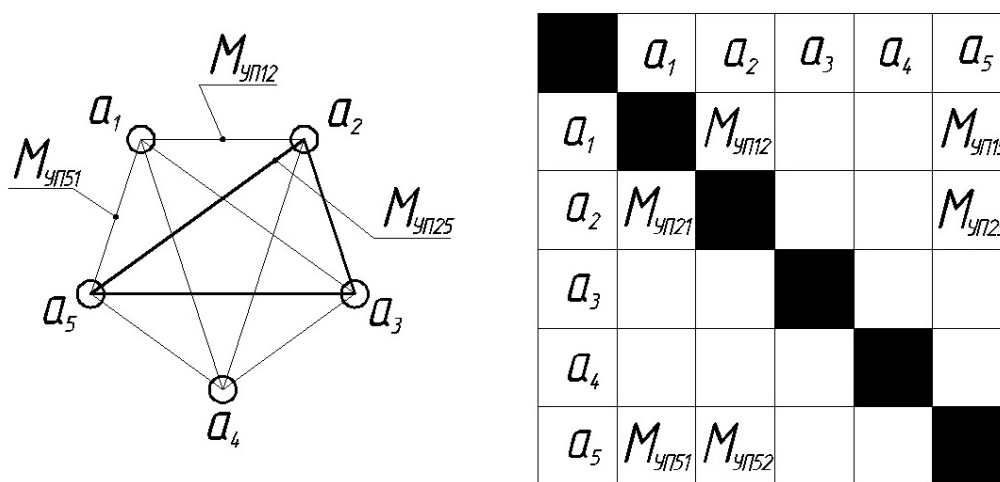


Рис. 1. Многоугольник группы технологического оборудования и матрица связей технологического оборудования.

При добавлении более пяти станков вступают в силу два ограничения:

1. При добавлении станков 6 и 7 должен сформироваться правильный 6-ти угольник (рис. 2).
2. При добавлении 8-го станка накладываются ограничения на добавление 9-го станка, развитие пространственной структуры становится возможным только в 2-х направлениях (рис. 3).

9-ый добавляемый станок должен входить в треугольник, одна из вершин которого входит в треугольник с 8-м станком. При добавлении 9-го станка однозначно определяется направление роста структуры участка. При добавлении 10-го станка рассчитывают меру близости для четырех треугольников (2-х ближних в существующей структуре и двух вновь образуемых при добавлении в узел станка) по формуле (2).

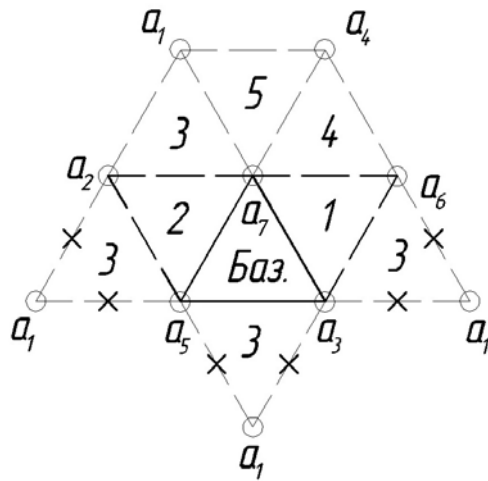


Рис. 2. Ограничения при формировании шестиугольника, состоящего из семи станков.

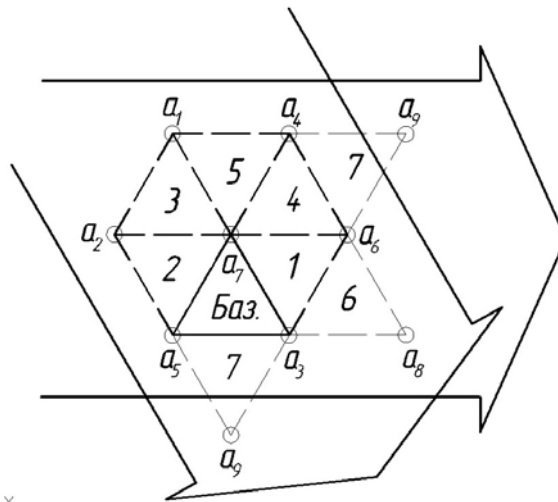


Рис. 3. Ограничение на рост структуры базового участка при добавлении 8-го и 9-го станков.

Добавление станков 11 и 12 осуществляется с расчетом меры близости по формуле (2). Причем добавление 12-го станка сопровождается образованием треугольника, не имеющего общих сторон с треугольником в который входит 11 станок (рис. 4). Последующие ряды заполняются аналогично.

Таким образом, конечная структура будет иметь три возможных вида окончания (рис. 5). Если в базовом участке семь станков, то его структурная схема будет иметь окончание, показанное на рис. 5 (а). Если восемь – на рис. 5 (в), для девяти – рис. 5 (б).

К базовому участку возможно присоединение с двух сторон. Допустим, базовый участок состоит из девяти станков (рис. 6).

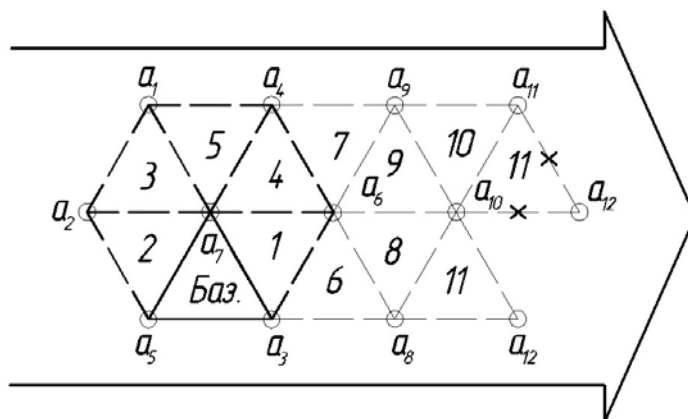


Рис. 4. Порядок присоединения новых узлов к существующей структуре.

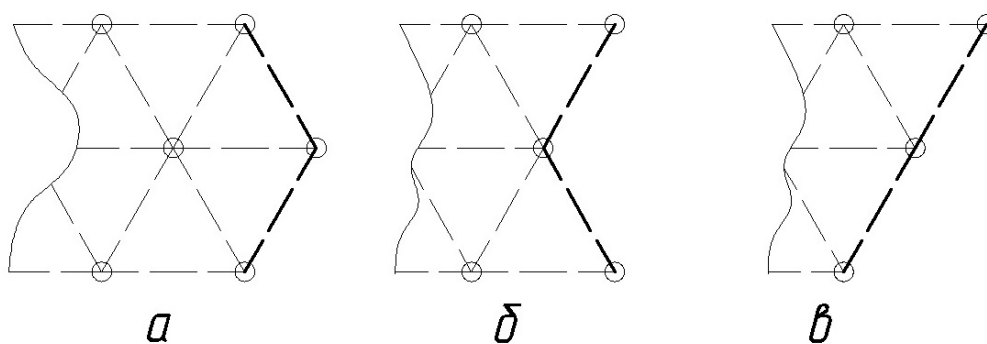


Рис. 5. Виды окончаний получаемых структур.

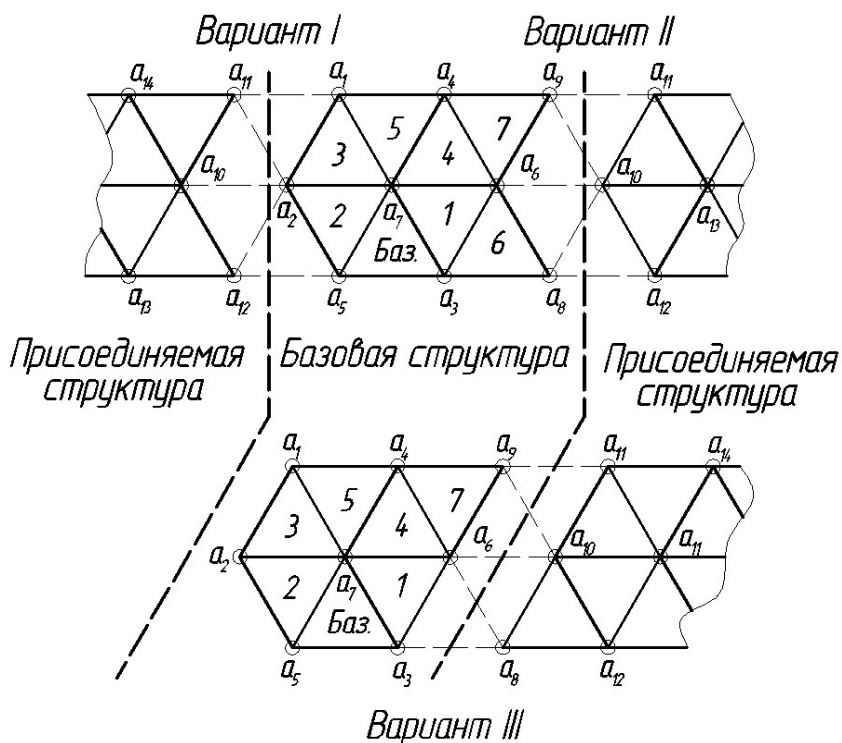


Рис. 6. Варианты присоединения структуры нового участка к существующей структуре.

Вариант I. В крайние узлы добавляются станки с расчетом меры близости по формуле (3). Далее в добавляемом участке определяется треугольник с максимальной условной мощностью грузопотоков между технологическим оборудованием. Если в него не входит ни один из добавленных станков, то производится дальнейшее добавление по одному станку. Если входит – треугольник размещается целиком с расчетом меры близости по формуле (2).

Вариант II. В данном случае в первую очередь заполняется средний свободный узел. Далее – аналогично варианту I.

Вариант III. В первую очередь заполняется крайний свободный узел (на рис. 6 (б) этот узел - 8). Далее – аналогично варианту II.

Предлагаемая методика может быть использована для автоматизации разработки схем планировки оборудования предметных или поддетально специализированных участков, обеспечивающих минимизацию транспортных операций в процессе производства и сокращение длительности производственного цикла.

1. Мельников Г.Н., Вороненко В.П. Проектирование механосборочных цехов; Учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / Под ред. А. М. Дальского – М.: Машиностроение, 1990. - 352 с.

2. Лобуз В.В. Формирование технологически ориентированных структур оборудования в пространстве цеха: Дис...канд. техн. наук. – М.: 2008.- 169 с.

3. Rockstroh, W. Die technologische Betriebsprojektierung. Band 2 Projektierung von Fertigungswerkstätten / W.Rockstroh. – Берлин: VEB Verlag Technik, 1978.-180 с.