

УДК 621.9.+ 621.6

В.С. Гусарев, канд. техн.наук, В.Б. Наддачин, канд. техн.наук,  
Одесса, Украина

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНТАЖА

*Стаття визначає методологію процесу аналізу структури процесу та автоматичної системи монтажу. Метод ілюстровано прикладом монтажу комплекту вала з підшипниками у корпус. Метод є корисним на початкових етапах проектування монтажних систем.*

**Ключові слова:** *структурна схема, автоматична система монтажу, складання вала*

*В статтє изложена методика анализа структуры процесса и автоматической системы монтажа изделий. Метод иллюстрирован примером сборки вала с двумя подшипниками с корпусом. Метод полезно использовать на начальных стадиях проектирования систем.*

**Ключевые слова:** *структурная схема, автоматическая система монтажа, сборка вала*

*The article sets out the methodology of the analysis of the structure of the process and automatic mounting. The method is illustrated with an example of an Assembly with two shaft bearings. Method is useful in the initial stages of systems design*

**Keywords:** *block diagram, automatic assembly system, shaft assembly*

Сборка — заключительный этап изготовления машины, в значительной степени определяющий ее эксплуатационные качества. Трудоёмкость сборочных работ в машиностроении составляет примерно 20-70% от общей трудоёмкости изготовления машин. Средняя трудоёмкость сборочных работ изделий в настоящее время составляет в США и ФРГ 40%, в Англии, Франции и Италии 50%, в КНР доходит до 70% от всей трудоёмкости машины. На машиностроительных заводах из всего объема сборочных работ автоматизировано только 15-20%, совсем малую часть занимают сборочно-монтажные и монтажные операции.

Монтаж - это автоматическая сборка, которая выполняется из стандартных деталей (например, подшипников) и отдельных блоков (узлов), предварительно изготовленных, иногда такие блоки называют комплектующими изделиями. Монтаж, т.е. автоматизация сборочных процессов, повышает производительность труда рабочих, улучшает условия их работы, сокращает число рабочих-сборщиков, повышает качество продукции, уменьшает удельную площадь цеха под сборку, снижает себестоимость выпускаемой продукции.

Задача создания автоматических систем для сборки (машинно-ручной процесс) и монтажа (машинный процесс) требует использования новых методов проектирования на основе структурного моделирования. Метод состоит из двух частей: первый известный – переработка конструкции на «технологичность» для осуществления автоматического монтажа, и второй само моделирование структуры процесса и оборудования.

Первая часть: изделия, предназначенные для автоматической сборки, должны удовлетворять требованиям технологичности:

- Простотой конструкции и способностью обеспечивать легкость соединения элементов сборки.
- Полной взаимозаменяемостью сборочных единиц.
- Расчлененностью на законченные взаимозаменяемые сборочные единицы и соединения, которые должны обеспечивать удобство подвода сборочных приспособлений, захвата, перемещения, монтажа.
- Максимальная унификация и нормализация сборочных единиц и минимальное количество деталей, входящих в сборочную единицу.

Вторая часть - содержит решение задач структурного моделирования технологических процессов сборки (сопряжения деталей), требует установления связей между структурой объекта изготовления (изделия) и структурой оборудования, на котором реализуется технологические процессы сборки изделия.

Сложность поставленной задачи состоит в том, что при построении моделей необходимо выбирать их элементы, исходя из законов проектирования технологических процессов, которые отражены в технологии машиностроения.

Для решения конкретной задачи технологического проектирования (конструкции изделия, технологический процесс изготовления, разработка программы сборки) необходима своя модель, отражающая особенности объекта проектирования. Для моделирования автоматического оборудования предлагается рассматривать набор сборочных единиц, как первичный элемент процесса, в котором комбинация их в изделие предписывает определенную комбинацию сборочных операций процесса монтажа. Модель оборудования представлена элементами, комбинирующие простейшие операции, которые должны выполняться в одно или два транспортно-установочное движение. Рассмотрим процесс структурного моделирования на примере сборки вала с двумя подшипниками и разъемным корпусом.

***Проектирование схем сборки, технологического процесса, структуры оборудования и алгоритмов функционирования.***

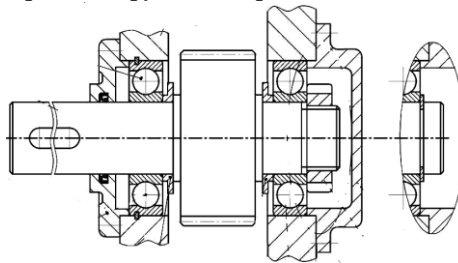


Рисунок 1. Вал-шестерня с 2-мя подшипниками

Приведем пример применения метода структурного моделирования процесса, оборудования и алгоритма функционирования. Покажем, как

ведеться проектування по всім етапам зборки вала і двох підшипників в корпусі.

**Етап 1. Технологічність конструкції і кодирование.**

В даному изделиї є різьбове з'єднання, що дозволяє закріпити підшипник. Для автоматическої зборки це з'єднання не допустимо, тому вимагається заміна його на стопорне кільце.

Кодирование изделия начнем с вала, обозначив его  $a_1$ . Все элементы, относящиеся к нему, следует обозначить через  $a_i$ . Это две втулки  $a_2$  и  $a_3$ , и стопорное кольцо  $a_4$ . Подшипники обозначим, как  $(ab)_1$  и  $(ab)_2$ . Элементы, относящиеся к корпусу, обозначены через  $b_i$ . Корпус разъемный из двух частей. Основание  $b_1$ , крышка корпуса  $b_2$  и две крышки для подшипников  $b_3$  и  $b_4$ . Вносим обозначения всех элементов на чертеж.

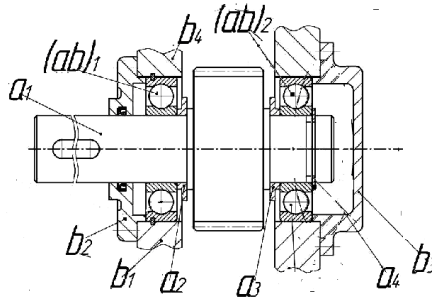


Рисунок 2. Вал- шестерня с 2-мя подшипниками технологично скорректированная конструкция для автоматического монтажа

**Етап 2. Составление матрицы изделия**

Первый столбец - элементы, которые относятся к валу. Это вал  $a_1$  с двумя кольцами  $a_2$  и  $a_3$ , и также стопорное кольцо  $a_4$ . Второй - подшипники  $(ab)_1$  и  $(ab)_2$ . Третий - все элементы, которые сопрягаются с корпусом. Это сам корпус  $b_1$ , крышка корпуса  $b_2$  и две крышки подшипников  $b_3$  и  $b_4$ .

Аналогично составляется матрица технологических операций монтажа. Матрицы имеют вид:

$$\begin{matrix} \text{Матрица изделия} & & \text{Матрица ТОП} \\ \left[ \begin{matrix} a_1 & (ab)_1 & b_1 \\ a_2 & (ab)_2 & b_2 \\ a_3 & 0 & b_3 \\ a_4 & 0 & b_4 \end{matrix} \right] & \Rightarrow & \left[ \begin{matrix} A_1 & (AB)_1 & B_1 \\ A_2 & (AB)_2 & B_2 \\ A_3 & 0 & B_3 \\ A_4 & 0 & B_4 \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

**Етап 3. Возможные варианты маршрута сборки и графы процессов**

Рассмотрим два варианта из возможных процессов сборки.

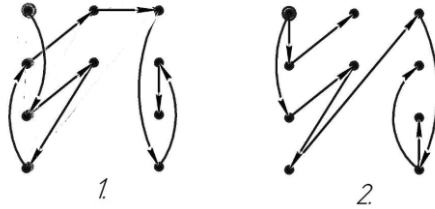


Рисунок 3. Графы вариантов технологического процесса автоматизированного монтажа. Граф 1 - последовательный монтаж, 2 - параллельный монтаж с двух сторон.

Сборка (1 вариант). Первая операция подача  $U(a_1)$  вала  $A_1$ . Вторая – устанавливается на вал кольцо  $a_3$ . Третья - напрессовываются подшипник  $(ab)_2$ , затем закрепляется стопорным кольцом  $a_4$ . Устанавливается кольцо  $a_2$  и затем подшипник  $(ab)_1$ . На операции выполняется установка вала (в сборе) в основание корпуса  $b_1$ . Далее ставится крышка корпуса  $b_4$ . На последней - сборка завершается одновременной установкой крышек подшипников  $b_2$  и  $b_3$ .

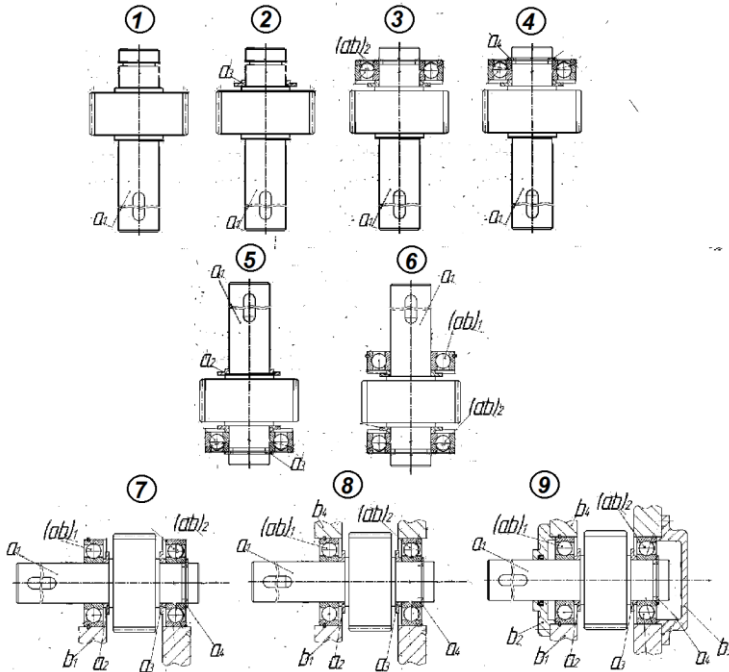


Рисунок 4. Эскиз операций процесс монтажа (1 вариант)

Сборка изделия (2 вариант). Начинается процесс с подачи вала  $U(a_1)$  - первая операция  $A_1$ . На второй операции одновременно с двух сторон устанавливается кольцо  $a_2$  и кольцо  $a_3$ . В третьей - напрессовываются одновременно с двух сторон подшипник  $(ab)_1$  и подшипник  $(ab)_2$ , затем фиксируют подшипник стопорным кольцом  $a_4$ . На четвертой операции - выполняется установка вала в корпус  $b_1$ . На пятой устанавливается крышка  $b_4$  корпуса. На шестой, сборка завершается одновременной установкой крышек подшипников  $b_2$  и  $b_3$ .

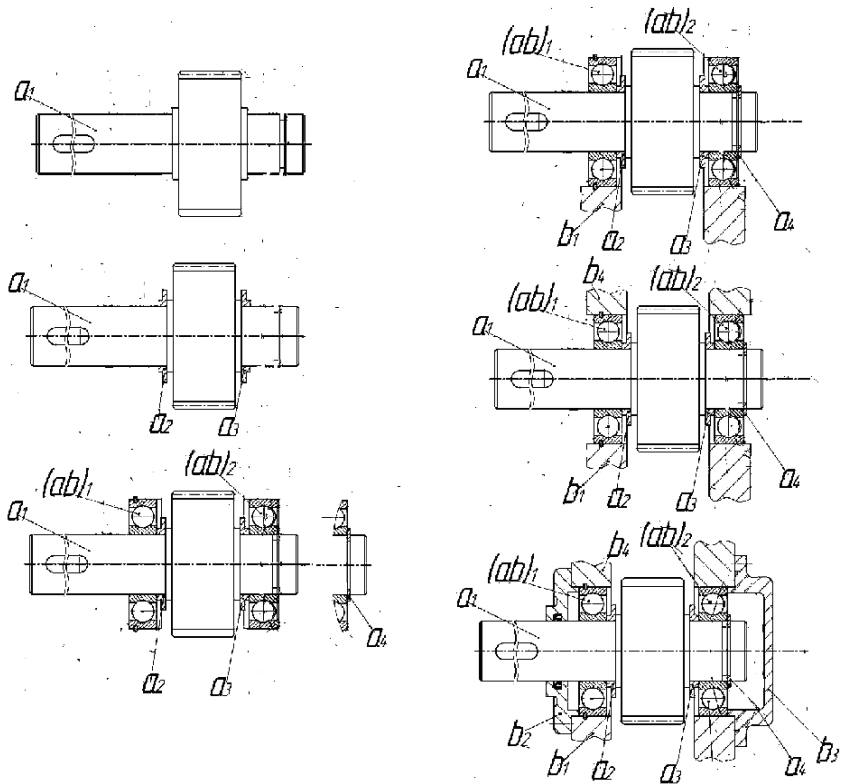


Рисунок 5. Эскиз операций процесс монтажа (2 вариант)

**Етап 4. Распределение технологических операций по позициям**

Исходя из конструкции изделия и графов технологической сборки, распределим операции сборки по ячейкам технологического оборудования. Для этого составим графы технологического маршрута и распределим технологические операции автоматического монтажа по позициям системы. Первый вариант монтажа реализован системой, составленной из двух участков: первый с кольцевым транспортером, а второй с линейным. Положение изделия в системе комбинированное: на первом участке вертикальное, на втором горизонтальное. Второй вариант системы выполняется с использованием линейного конвейера. Положение изделия в системе горизонтальное.

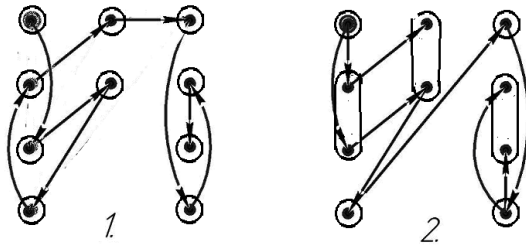


Рисунок 6. Распределение ТОП по техническим средствам: 1 - одиночные монтажные агрегаты, 2 - двоянные машинные агрегаты

**Етап 5. Структурная схема автоматической системы (линии)**

Схема структуры построена на основе последовательного принципа монтажа с применением кольцевого транспортера перемещения по позициям  $P_\gamma$  первого участка и линейного на втором участке подающих деталей  $P_\alpha$ .

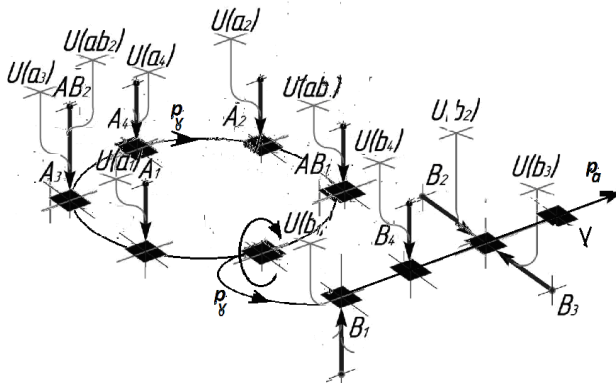


Рисунок 7. Структурная модель системы, последовательная схема (1 вариант)

Структурная схема автоматической монтажной системы представляет собой автоматическую линию, по обе стороны которой располагаются механизмы подачи и установки деталей на базовую деталь вал.

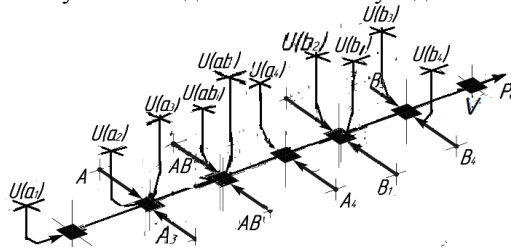


Рис. 8 Структурная модель системы, параллельная схема (2 вариант)

**Этап 6. Алгоритм функционирования системы оборудования**

Алгоритм функционирования автоматической монтажной системы (1 вариант).

$$\left(\frac{U(a_1)}{A_1}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(a_2)}{A_2}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(ab_1)}{AB_1}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(ab_2)}{AB_2}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(b_1)}{B_1}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(b_2)}{B_2}\right)_{p_a} \circ V$$

Алгоритм функционирования автоматической монтажной системы (2 вариант).

$$\left(\frac{U(a_1)}{A_1}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(a_2)}{A_2}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(a_3)}{A_3}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(ab_1)}{AB_1}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(ab_2)}{AB_2}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(b_1)}{B_1}\right)_{p_a} \circ \left(\frac{U(b_2)}{B_2}\right)_{p_a} \circ V$$

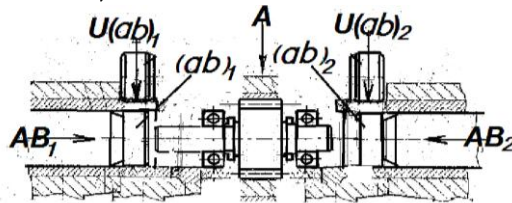


Рисунок 9. Позиция (фрагмент) запрессовки подшипников (2 вариант)

**Этап 7. Определение длительности цикла автоматического монтажа**

Операционная длительность определяется согласно правилу

$\tau$  -преобразования:

для последовательности

$$\tau \left(\frac{U(a_{\square})}{A_{\square}}\right)_{\square} = \tau U(a_{\square}) + \tau A_{\square}$$

для одновременности

$$\tau \left(\frac{U(a_{\square})}{A_{\square}} \circ \frac{U(b_{\square})}{B_{\square}}\right)_{\square} = \begin{cases} \tau \left(\frac{U(a_{\square})}{A_{\square}}\right)_{\square}, & \text{если } \tau \left(\frac{U(a_{\square})}{A_{\square}}\right)_{\square} \geq \tau \left(\frac{U(b_{\square})}{B_{\square}}\right)_{\square} \\ \tau \left(\frac{U(b_{\square})}{B_{\square}}\right)_{\square}, & \text{если } \tau \left(\frac{U(a_{\square})}{A_{\square}}\right)_{\square} \leq \tau \left(\frac{U(b_{\square})}{B_{\square}}\right)_{\square} \end{cases}$$

Расчет ведется по каждой позиции системы для выявления лимитирующей, которая определяет временной интервал выпуска изделия, т.е. длительность цикла. Для упрощения расчета примем условно 1 операционное действие (ОД) равно 1 единицы времени (EB).

### 1. Вариант

Рассмотрим первый вариант работы системы по позициям:  
для первой позиции:

$$\tau U(a_1)p_\alpha = \tau U(a_1) + \tau p_\alpha = 1 + 1 = 2 EB;$$

для второй позиции: четвертой

$$\tau \left( \frac{U(a)_3}{A_3} \circ \frac{U(ab)_2}{AB_2} \right) p_\alpha = \tau U(a)_3 + \tau A_3 + \tau U(ab)_2 + \tau AB_2 + \tau p_\alpha = 5 EB$$

для третьей позиции аналогично

$$\tau \left( \frac{U(b_1)}{B_1} \right) p_\alpha = \tau U(b_1) + \tau B_1 + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 = 3 EB$$

для четвертой, для пятой, шестой и седьмой позиции

$$\tau \left( \frac{U(b_1)}{B_1} \right) p_\alpha = \tau U(b_1) + \tau B_1 + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 = 3 EB$$

для восьмой позиции:  $\tau V = 1 EB$

Поскольку операции на каждой позиции выполняются одновременно, общая позиция с лимитирующей длительностью вторая и третья. Их цикл одинаков и равен наибольшему времени. В нашем случае длительность цикла будет равна времени сборки на третьей позиции:  $\tau_c = 5 EB$

### 2. Вариант.

для первой позиции:

$$\tau U(a_1)p_\alpha = \tau U(a_1) + \tau p_\alpha = 1 + 1 = 2 EB;$$

для второй, третьей, пятой и шестой позиций время одинаково:

$$\tau \left( \frac{U(a)_2}{A_2} \circ \frac{U(a)_3}{A_3} \right) p_\alpha = \tau U(a) + \tau A + \tau p_\alpha = 3 EB$$

для четвертой позиции

$$\tau \left( \frac{U(b_1)}{B_1} \right) p_\alpha = \tau U(b_1) + \tau B_1 + \tau p_\alpha = 1 + 1 + 1 = 3 EB$$

для седьмой позиции:  $\tau V = 1 EB$

Поскольку операции на каждой позиции выполняются одновременно, длительность цикла будет равна наибольшему времени на одной позиции. В нашем случае длительность цикла будет равна времени сборки на второй позиции:  $\tau_c = 3 EB$

### Этап 8. Техническая характеристика автоматической системы.

1. Для первого варианта

- Число сборочных позиций  $E = 10$ .
- Число потоков  $F = 1$ .
- Число механизмов  $G = 23$ .

- Число движений  $H = 33$ .
- Длительность цикла  $\tau_c = 5 \text{ EB}$ .

Продуктивность оборудования находим по формуле:

$$П = 60 \frac{F}{\tau_c} = 60 \frac{1}{5} = 12 \frac{\text{шт}}{\text{мин}}$$

где  $F$  - число потоков сборки,

$\tau_c$  - время цикла.

- Производительность:

## 2. Для второго варианта

Запишем итоговую характеристику сборочного автомата:

- Число сборочных позиций  $E = 7$ .
- Число потоков  $F = 1$ .
- Число механизмов  $G = 21$ .
- Число движений  $H = 26$ .
- Длительность цикла  $\tau_c = 3 \text{ EB}$ .
- Продуктивность:

$$П = 60 \frac{F}{\tau_c} = 60 \frac{1}{3} = 20 \frac{\text{шт}}{\text{мин}}$$

### Этап 9. Решение

Для дальнейшего проектирования принимается вариант 2, т.к. он имеет более высокую продуктивность и наименьшие характеристики.

**Список использованных источников:** 1. *Гусарев В.С., Ковальчук Е.Н.* Структурная модель сборки деталей в конструкции. 20 –я Международная научно – практическая конференция «Физические и компьютерные технологии» (23-24 декабря 2014 г.) Харьков, «Лира.», с. 28 - 33. 2. *Гусарев В.С., Ковальчук Е.Н., Наддачин В.Б.* Автоматическая сборка массовых изделий / Седьмая Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в промышленности». - ИТ\*2012, 30–31 октября 2012 года, Минск, с. 71 - 72. 3. *Гусарев В.С., Ковальчук Е.Н.* Построение сборочно-монтажного оборудования по модульному принципу. /Седьмая Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в промышленности». - ИТ\*2012, 30–31 октября 2012 года, Минск, с. 193 – 194.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Gusarev V.S., Kovalchuk E.N.* Strukturnaya model sborki detalej v konstrukcii. 20 –ya Mezhdunarodnaya nauchno – prakticheskaya konferenciya «Fizicheskie i kompyuternye tehnologii» (23-24 dekabrya 2014 g.) Harkov, «Lira.», s. 28 - 33. 2. *Gusarev V.S., Kovalchuk E.N., Naddachin V.B.* Avtomaticheskaya sborka massovykh izdelij / Sedmaya Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya «Infomacionnye tehnologii v promyshlennosti». - IT\*2012, 30–31 oktyabrya 2012 goda, Minsk, s. 71 - 72. 3. *Gusarev V.S., Kovalchuk E.N.* Postroenie sborochno-montazhnogo oborudovaniya po modulnomu principu. /Sedmaya Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya «Infomacionnye tehnologii v promyshlennosti». - IT\*2012, 30–31 oktyabrya 2012 goda, Minsk, s. 193 – 194.

Надійшла до редколегії 25.06.2018