

УДК 621.744.532.546

**В. М. Карпенко, канд. техн. наук, доц.****ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ АСУ ТП СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЯ**

В статье проанализировано 22 варианта структурных формул компоновочных схем, что позволило выявить наиболее производительную из них, позволяющую использовать одно автоматизированное устройство для испытания образца на прочность и деформацию с целью определения реологических свойств формовочных смесей, компоновочную схему с двумя входами и двумя выходами ( $2(3B)C_12(Y)$ ).

Четырехпозиционное устройство испытания выполнено на карусельном столе с четырьмя гильзами. Устройство испытания имеет две одинаковые позиции загрузки – выгрузки и две позиции испытания, два параллельных потока съема информации, которые проходят через четыре станции, причем карусельный стол совершает за цикл поворот на 90 градусов.

Устройство испытания по данной компоновочной схеме легко встраивается в состав смесеприготовительного комплекса, занимает меньшую площадь, смесь после испытания возвращается назад в смеситель. Представление рассматриваемого технологического процесса испытаний в виде структурных формул позволяет выявить возможные варианты временной и пространственной организации процесса, определить реализуемые, а также установить главные параметры.

**Введение**

Повышение требований к качеству оборудования, применяемого для контроля свойств формовочных смесей в связи с интенсификацией технологических процессов, расширением номенклатуры состава смесей и повышением качества, заставляет искать пути повышения качества компоновок, новые технические решения. Методы, позволяющие создавать и анализировать компоновки проектируемых узлов контроля формовочных смесей, могут оказать помощь конструкторам на начальных стадиях проектирования, указать пути совершенствования проектируемого и область применения существующего оборудования.

Системно-структурный метод позволяет решать вопросы выбора оптимального варианта структуры проектируемого объекта и определять его основные свойства. На основе этого метода при использовании средств машинной графики можно выполнить синтез структурных и компоновочных схем рассматриваемых узлов. Синтезирование одно- и многопозиционных автоматов контроля, имеющих дублирование рабочих органов, потребовало расширения ранее предложенных компоновочных схем.

**Формирование и анализ компоновочных схем**

На рис. 1 предложена типовая компоновочная схема четырехпозиционного устройства для контроля свойств формовочных смесей. Приводная станция обеспечивает пошаговое перемещение испытуемого образца от станции заполнения через позиции испытаний – станции уплотнения (измерение деформационных параметров), станции среза (измерение прочностных параметров) – к станции выталкивания и разрушения образца.

Уплотненный образец на последующих стадиях подвергается прочностным и деформационным испытаниям (рис. 2). Данные операции могут выполняться на одной или нескольких позициях. Совмещение и разделение по месту данных операций, как и выполнение операций уплотнения и выдавливания на отдельных позициях, определяют структуру устройств контроля и структуру автоматической системы контроля в целом.

Выделенный состав операций образует систему

$$s_1 = \langle 3, Y_y, Y_\delta, B \rangle, \quad (1)$$

где индексы  $y$  и  $\delta$  соответствуют операциям испытания образцов на прочность и деформацию.

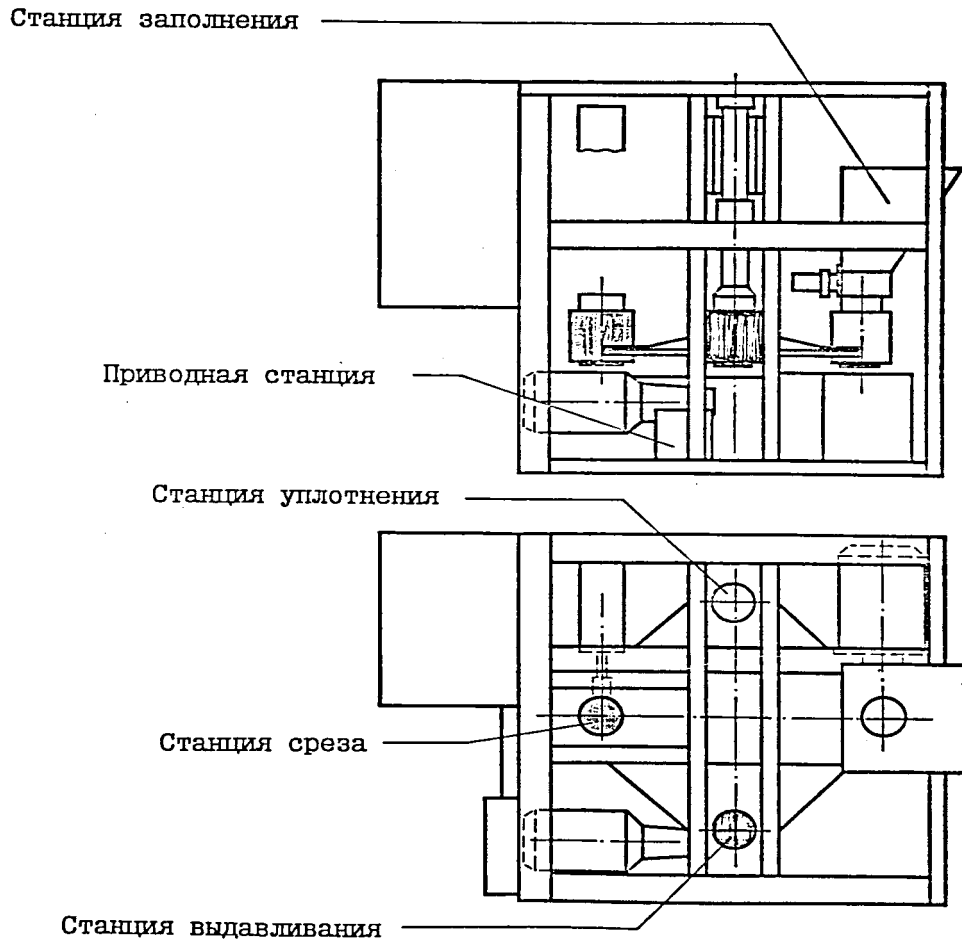


Рис. 1. Типовая компоновочная схема устройств для автоматического контроля свойств формовочных смесей

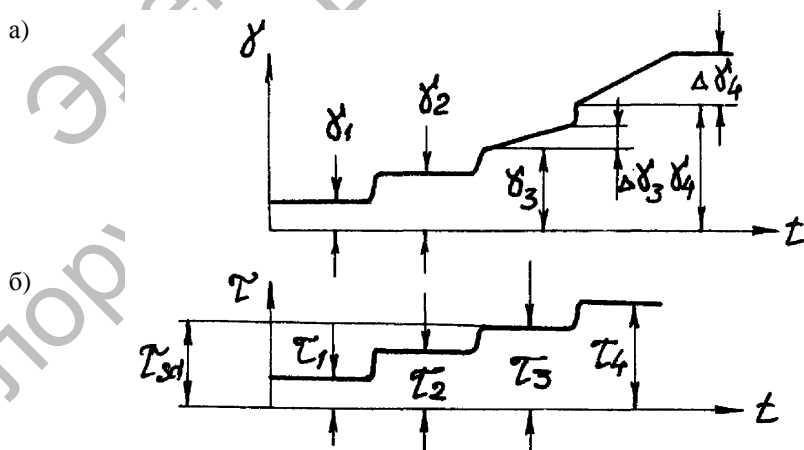


Рис. 2. Зависимости процессов уплотнения в смеси при сдвиге: а – график зависимости деформаций; б – график напряжений сдвига

Организация технологических процессов испытаний определяется составом выделенных операций и пространственно-временными отношениями в системе  $S_I$ .

Множество возможных вариантов организации технологических процессов испытаний определяется совокупностью сочетаний операций.

Обозначим попарное совмещение:

– совмещение операций во времени и пространстве  $C_0$  (уплотнение – измерение величины деформации);

– совмещение операций во времени и разделение в пространстве  $C_1$  (выдавливание кома – взвешивание остатков смеси);

– разделение во времени и в пространстве  $C_2$  (измерение нормальных – измерение касательных напряжений).

Вариант  $У$  системы  $S_I$  запишется в виде структурной формулы

$$У = \langle 3C_1UC_1BC_1 \rangle. \quad (2)$$

Вариант данной компоновочной схемы, соответствующий структурной формуле (2), представлен на рис. 3.

Если ограничиться рассмотрением технологического процесса изготовления и испытания образца, при котором заполнение опоки смеси предшествует во времени уплотнению смеси в гильзе, то варианты, имеющие в своем составе  $C_0$ , не могут быть реализованы. Симметричность и транзитивность отношений  $C_i$  позволяет существенно ограничить число рассматриваемых вариантов. Отношение  $C_3$  будем записывать последовательностью соединенных операций:

$$3C_3У - 3У.$$

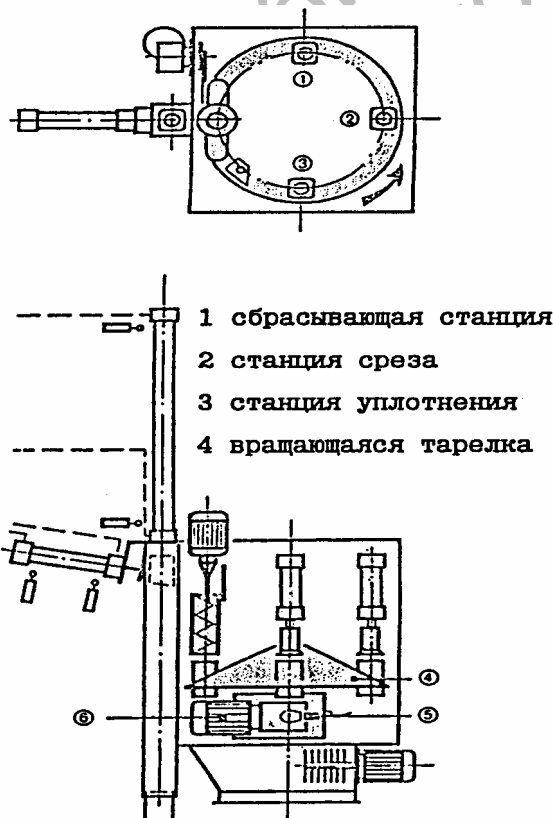


Рис. 3. Компоновочная схема установки для непрерывного контроля ротационного типа с аэратором

Свойства отношений и ограничений, накладываемые технологическим процессом испытаний, позволили выделить 22 варианта структурных формул компоновочных схем, выделяющие варианты с симметричным дублированием операций технологического процесса испытаний и варианты без дублирования. Структурные схемы устройств для испытания различного типа, определяющие их функциональные основные части, назначение и взаимосвязи, получены на основе синтезированных структурных формул устройств для испытаний.

При выполнении схем приняты следующие графические обозначения:

– функциональные основные части, т. е. позиции, на которых выполняются операции технологического процесса испытаний, показаны в виде квадратов с маркировкой операций, выполняемых на

этих позициях;

– взаимосвязи между позициями, вход и выход из станции показаны стрелками.

Структура входов и выходов синтезируемых устройств автоматизированного контроля имеет большое значение при построении автоматизированной системы управления процессами смесеприготовления и формообразования. По этому признаку синтезированные устройства контроля можно разделить на четыре группы (табл. 1). В табл. 1 *A* – наличие аналога, штриховые линии нужно рассматривать только как разделение вариантов: с одним входом и одним выходом (схемы 1–7); с двумя входами и одним выходом (схемы 8–11); с одним входом и двумя выходами (схемы 12–15); с двумя входами и двумя выходами (схемы 16–22).

Табл. 1. Общая характеристика структурных схем

Номер схемы	Структурная формула	Структурная схема	<i>N</i>	<i>M</i>	$T_i$	<i>A</i>
1	2	3	4	5	6	7
1	$ZUB$	$\rightarrow$ $\boxed{ZUB}$ $\rightarrow$	1	2	$T_1$	Есть
2	$ZUC_1B$	$\rightarrow$ $\boxed{ZU}$ $\rightarrow$ $\boxed{B}$ $\rightarrow$	2	2	$T_2 = T_{20} \wedge T_{21}$	Есть
3	$3 C_1UB$	$\rightarrow$ $\boxed{3}$ $\rightarrow$ $\boxed{UB}$ $\rightarrow$	2	2	$T_3 = T_{30} \wedge T_{31}$	Есть
4	$ZB C_1Y$	$\begin{matrix} & \uparrow & \\ & \boxed{ZB} & \leftarrow \boxed{Y} \\ & \uparrow & \end{matrix}$	2	2	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Есть
5	$ZB C_2(Y)$	$\begin{matrix} & \uparrow & \\ \boxed{Y} & \leftarrow \boxed{ZB} & \leftarrow \boxed{Y} \\ & \uparrow & \end{matrix}$	3	2	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Есть
6	$3 C_2(Y) C_1B$	$\begin{matrix} \boxed{Y} & \rightarrow & \downarrow \\ \uparrow & & \boxed{B} & \rightarrow \\ \rightarrow & \boxed{3} & \downarrow & \\ \downarrow & & \uparrow & \\ \boxed{Y} & \rightarrow & \uparrow & \end{matrix}$	4	2	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Нет
7	$3 C_1UC_1B$	$\rightarrow$ $\boxed{3}$ $\rightarrow$ $\boxed{Y}$ $\rightarrow$ $\boxed{B}$ $\rightarrow$	3(4)	3(4)	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Есть

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
8	$2(3) C_1 YB$		3	2	$T_3 = T_{30} \wedge T_{31}$	Есть
9	$2(3Y) C_1 B$		3	2	$T_2 = T_{20} \wedge T_{21}$	Есть
10	$2(3 C_1 Y) C_1 B$		5	5	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Нет
11	$2(3) C_1 Y C_1 B$		4	4	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Нет
12	$3 C_1 2(YB)$		3	2	$T_3 = T_{30} \wedge T_{31}$	Есть
13	$3Y C_1 2(B)$		3	2	$T_2 = T_{20} \wedge T_{21}$	Есть
14	$3 C_1 2(Y C_1 B)$		5	5	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Нет
15	$3 C_1 Y C_1 2(B)$		4	4	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Нет
16	$2(3B) C_1 Y$		3	2	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Есть
17	$2(3Y) C_1 2(B)$		4	4	$T_2 = T_{20} \wedge T_{21}$	Нет

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
18	$2(3)$ $C_1 2(YB)$		4	4	$T_3 = T_{30} \wedge T_{31}$	Нет
19	$2(3B)$ $C_1 2(Y)$		4	4	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Нет
20	$2(3 C_1 Y)$ $C_1 B)$		6	6	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Нет
21	$2(3YB)$		1	2	$T_1$	Есть
22	$2(3) C_1 Y$ $C_1 2(B)$		5	5	$T_4 = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42}$	Нет

Структурные формулы устройств автоматического контроля определяют следующие параметры:

- число  $N$  позиций, на которых выполняются рассматриваемые операции;
- число  $M$  гильз, которое определяется числом позиций с параллельным выполнением операций;
- структуру организации  $T_i$  производственного процесса во времени и пространстве.

Если рассматривать каждую из операций технологического процесса испытаний как процесс взаимодействия рабочих органов и объекта обработки, то

структурная формула позволяет выявить транспортные и вспомогательные операции, необходимые при переходе от одной операции испытания к другой, и определить  $T_i$  производственного процесса.

При переходе  $3 - Y$  и  $Y - B$  (в случае последовательного выполнения попарно связанных операций на одной позиции) появление вспомогательных операций связано со сменой в пространстве рабочего инструмента, сопрягаемого с объектом обработки (смесь в гильзе). Выполнение операций процесса на отдельных позициях позволяет заменить вспомогательные операции транспорт-

ными при переходе  $Z - Y$ , т. к. при гравитационном заполнении механизм заполнения не сопряжен с гильзой механической связью. Переход  $Y - B$  и в этом случае вызывает появление вспомогательных операций, т. к. при выполнении этих операций рабочий инструмент непосредственно сопряжен с гильзой. Вспомогательные операции суммируются здесь с транспортными.

Появление транспортных переходов обусловлено структурными формулами, имеющими в своем составе  $C_1$ , что предполагает передачу обработки с позиции на позицию. Технологический процесс испытаний предполагает наличие в  $T_i$  операций установки и удаления объекта обработки. Эти операции совмещены в пространстве, определенном структурной формулой, соответственно с  $Z$  и  $B$ . Сопряжение гильзы с механизмом выдавливания при последующем удалении испытуемой смеси вызывает появление вспомогательных операций.

Состав выполняемых переходов изменяется с изменением организации технологического процесса таким образом, что каждую из структурных формул можно сопоставить с выполнением определенной  $T_i$  производственного процесса при длительности:

- $t_1$  - заполнения гильзы формовочной смесью;
- $t_2$  - уплотнения формовочной смеси с замером величины деформации;
- $t_3$  - выдавливания формовочной смеси из гильзы с замером прочностных характеристик;
- $t_n$  - транспортных операций (аэрация формовочной смеси);
- $t_{mi}$  - вспомогательных операций;
- $t_e$  - установки (входа);
- $t_y$  - удаления смеси из устройства испытания.

Тогда для рассматриваемых вариантов структурных формул возможны четыре различных варианта  $T_i$ , обусловленные различным положением  $C_1$  и структурной формулой устройств испытания:

$$T_1 = f(3VB \vee 2(3VB));$$

$$T_2 = f(3YC_1B \vee 2(3Y)C_1B \vee 3YC_12(B) \vee 2(3Y)C_12(B)) = T_{20} \wedge T_{21};$$

$$T_3 = f(3C_1YB \vee 2(3)C_1YB \vee 3C_12(YB) \vee 2(3)C_12(YB)) = T_{30} \wedge T_{31};$$

$$T_4 = f \left( \begin{array}{l} 3BC_1Y \vee 3BC_12(Y) \vee \\ \vee 3C_1YC_1B \vee 3C_12(Y)C_1B \vee \\ \vee 2(3C_1Y)C_1B \vee 2(3)C_1YC_1B \vee \\ \vee 3C_12(YC_1B) \vee 3C_1YC_12(B) \vee \\ \vee 2(3B)C_1Y \vee 2(3B)C_12(Y) \vee \\ \vee 2(3C_1YC_1B) \vee 2(3)C_1YC_12(B) \end{array} \right) = T_{40} \wedge T_{41} \wedge T_{42},$$

где

$$T_1 = t_e \wedge t_1 \wedge t_{mi} \wedge t_2 \wedge t_{mi} \wedge t_3 \wedge t_{mi} \wedge t_y,$$

а  $T_{20} \dots T_{42}$  - величины, определяющие структуру производственного процесса между отдельными позициями и на них, которые равны:

$$T_{20} = t_e \wedge t_1 \wedge t_{mi} \wedge t_2 \wedge t_n;$$

$$T_{21} = t_{mi} \wedge t_3 \wedge t_{mi} \wedge t_y;$$

$$T_{30} = T_{40} = t_e \wedge t_1 \wedge t_n;$$

$$T_{31} = t_2 \wedge t_{mi} \wedge t_3 \wedge t_{mi} \wedge t_y;$$

$$T_{41} = t_2 \wedge t_{mi} \wedge t_n;$$

$$T_{42} = t_3 \wedge t_{mi} \wedge t_y.$$

Полученные зависимости позволяют определить продолжительность такта цикла  $t_u$  операций испытаний для рассматриваемой структурной формулы. Для технологического процесса испытания, операции которого выполняются последовательно на одной позиции (схема 1),  $t_u$  равняется сумме длительностей операций, определенных  $T_1/t_u = f(T_1)$ .

Для технологического процесса испытания, операции которого выпол-

няются параллельно на нескольких позициях (схемы 2–7, 8–11, 12–15)

$$t_u = f(\max T_{ij}),$$

где  $T_{ij}$  – последовательность выполнения операций на каждой позиции.

Для технологических процессов испытания, в результате выполнения которого одновременно производятся деформационные и прочностные испытания,

$$t_u = 0,5(f(T_1) \vee f(\max T_{ij})).$$

Причем для компоновочной схемы устройств испытания (схемы 16 и 22) данная структурная формула выполняется при условии

$$T_{41} \geq 2(T_{40} \vee T_{42}).$$

Таким образом, представление рассматриваемого технологического процесса испытаний в виде структурных формул позволяет выявить возможные варианты временной и пространственной организации процесса, определить реализуемые, а также установить главные параметры. Анализ отношений, определяющих переход от одной операции технологического процесса испытания к другой, позволяет выявить  $T_i$  производственного процесса и определить необходимость дополнительных переходов  $t_n$  и  $t_{mi}$ . Полученные структурные формулы и  $T_i$  дают возможность перейти к синтезированию технологического оборудования, реализующего рассматриваемые технологические процессы испытаний.

Устройство испытания с ассиметричным дублированием операций технологического процесса испытаний имеет смысл при организации непрерывного или роботизированного отбора формовочной смеси. Так, например, для устройства испытания по структурной формуле испытания  $3C_i UBC_i B$  появляется возможность испытания смеси на последних позициях. Числа  $N$ ,  $M$ ,  $T_i$  производственного

процесса и  $t_u$  определяют по приведенным выше формулам.

### Выводы

Анализ структурных формул устройств испытания показал, что наиболее производительной, позволяющей использовать одно автоматизированное устройство для испытания образца на прочность и деформацию, является компоновочная схема с двумя входами и двумя выходами –  $2(3B)C_1 2(V)$ .

Четырехпозиционное устройство испытания (см. рис. 1 и 3) выполнено на карусельном столе с четырьмя гильзами. Устройство испытания имеет две одинаковые позиции загрузки – выгрузки и две позиции испытания, два параллельных потока съема информации, которые проходят через четыре станции, причем карусельный стол совершает за цикл поворот на 90 градусов.

Устройство испытания по данной компоновочной схеме легко встраивается в состав смесеприготовительного комплекса, занимает меньшую площадь, смесь после испытания возвращается назад в смеситель.

Представление рассматриваемого технологического процесса испытаний в виде структурных формул позволяет выявить возможные варианты временной и пространственной организации процесса, определить реализуемые, а также установить главные параметры.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко, В. М. Непрерывный контроль реологических свойств и состава смесей в процессе их приготовления / В. М. Карпенко, И. В. Матвеевко // Литейное производство. – 1995. – № 4–5. – С. 30–31.
2. Карпенко, В. М. Использование методов реологии в системах управления смесеприготовлением / В. М. Карпенко // Литье и металлургия. – 2004. – № 2 (30). – С. 71–74.
3. Матвеевко, И. В. Реологические основы испытаний формовочных смесей и импульсного уплотнения / И. В. Матвеевко, В. С. Бельчук. – М. : МАСИ (ВТУЗ–ЗИЛ), 1991. – 87 с.



Гомельский государственный  
технический университет им. П. О. Сухого  
Материал поступил 15.01.2007

**V. M. Karpenko**  
**The general approaches to forming the lay-out  
schemes of control devices of agglutinant sands  
characteristics**

Gomel State Polytechnic University named after P. O. Sykhai

The article reveals 22 variants of structural formulae of lay-out schemes which enables to determine the most productive one ( $2(3B)C_12(Y)$ ) that has two enters and two exits. This scheme allows to use one automatized device for testing a sample for durability and deformation in order to determine rheological characteristics of agglutinant sands.

A dual-dual-position test device is build-up on the four-cylinders rotary desk. This test device has two equal loading and unloading positions, two test positions and two co-current flows of information reading that pass through four stations. At the same time the rotary desk of this test device turns ninety-degrees in one cycle.

The test device of the proposed lay-out scheme is easily built into the structure of the mixing complex, it takes less space. The agglutinant sand returns to the mixing complex after testing.

The representing of the tests process in the form of structural formulae enables to determine possible temporal and spatial variants of process organization. In addition it allows to fix the realizable and the main process parameters.