

## Вопросы к экзамену по ИКС литья

### Модуль 1

1. Уровни управления. Назначение каждого из уровней.
2. Преимущества компьютерной интеграции технологических участков перед традиционной интеграцией.
3. Опасности и негативные последствия, возникающие при использовании компьютерных систем управления.
4. Состав информационной подсистемы интегрированных компьютерных систем управления.
5. Хранение данных в традиционных и компьютерных системах. Носители информации, требования к системам хранения данных.
6. Состав математического обеспечения компьютерных систем управления. Примеры.
7. Состав программного обеспечения компьютерных систем управления.
8. Классификация компьютерных систем управления по поколениям. Особенности каждого из поколений.
9. Регулирование в системах управления первого поколения. Позиционное и контурное регулирование. Примеры.
10. Основные способы перепрограммирования в системах управления первого поколения.
11. Способы отсчета времени. Устройства для отсчета времени, применяемые при автоматическом управлении.
12. Сравнение различных способов изготовления разовых песчаных форм по технологии с ЧПУ.
13. Специальный инструмент для обработки заготовок разовых песчаных форм на станках с ЧПУ.
14. Понятие о паллетах, кассетах и спутниках. Примеры.
15. Формирования структуры поверхностного слоя формы при обработке резанием на станках с ЧПУ. Факторы, оказывающие решающее влияние.
16. Системы управления второго поколения. Особенности и область применения.
17. Порядок определения режимов резания при адаптивной абразивной зачистке отливок.
18. Понятие об управляющих и управляемых параметрах в адаптивной системе управления. Функции управления.
19. Управляющие и управляемые параметры в адаптивной системе управления зачисткой отливок.
20. Информационное обеспечение адаптивных систем управления зачисткой отливок.
21. Проблемы управления смесеприготовлением при интегрировании с автомати-

ческой литейной линией.

22. Управление с упреждением. Область применения и проблемы реализации.
23. Информационное обеспечение в адаптивной системе смесеприготовления: состав управляющих функций. Проблема устойчивости управления.
24. Управляющие и управляемые параметры в адаптивной системе смесеприготовления.
25. Основные элементы систем управления третьего поколения.
26. Сильный и слабый искусственный интеллект.
27. Сравнение систем управления различных поколений с точки зрения информационного обеспечения и параметров управления.
28. Перспективы четвертого поколения системы управления. Возможные пути развития.

## **Модуль 2**

29. Понятие о потоках событий. Ординарность, последствие, стационарность потоков.
30. Понятие о регулярном, нормальном и Пуассоновском потоках событий. Простейший поток.
31. Статистические параметры, характеризующие случайные процессы, при измерениях и моделировании.
32. Понятие о случайной величине продолжительности операций. Закон распределения времени выполнения цикловой операции.
33. Источники нестабильности времени операции при использовании электро-, гидро- и пневмопривода.
34. Оценка нестабильности продолжительности операции. Коэффициенты размаха и нестабильности.
35. Определение закона распределения общей продолжительности нескольких параллельных операций.
36. Закон распределения продолжительности последовательно выполняемых операций.
37. Структурные схемы алгоритмов управления параллельной работой нескольких модулей.
38. Алгоритмы управления с обратными связями и без обратных связей. Порядок определения выдержек времени для таймеров.
39. Понятие о последовательностном и шаговом алгоритмах интеграции цикла. Источники потерь производительности при интеграции параллельно работающих модулей.
40. Формирование длительности цикла по последовательностному алгоритму без обратных связей.
41. Формирование длительности цикла по шаговому алгоритму без обратных связей.
42. Формирование длительности цикла по последовательностному алгоритму с

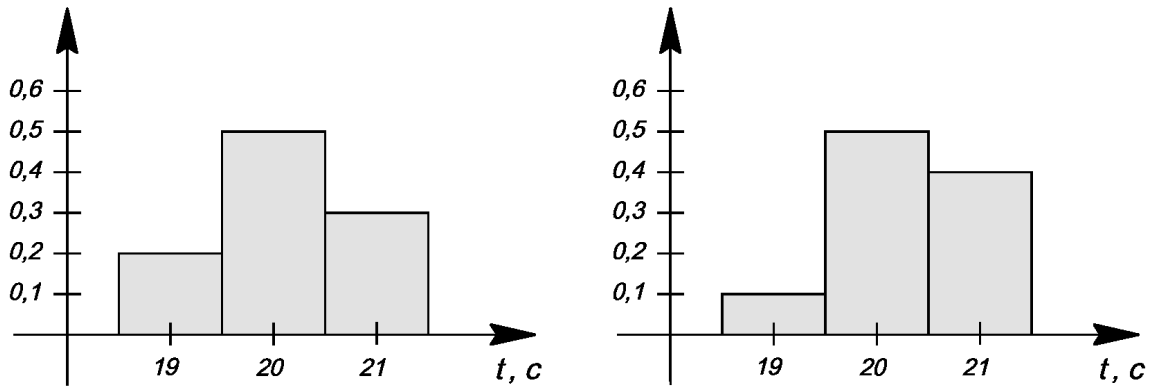
обратными связями.

43. Формирование длительности цикла по шаговому алгоритму с обратными связями.
44. Коэффициент потерь производительности интегрированной системы. Сравнение потерь производительности при различных алгоритмах управления в зависимости от числа параллельных технологических модулей.
45. Описание математической модели интеграции циклового оборудования и конвейера. Допущения модели. Коэффициент скорости конвейера  $\beta$ . Моделируемые параметры.
46. Моделирование интеграции циклового оборудования и конвейера методом Монте-Карло. Исходные данные модели.
47. Схема 0. Определение оптимальной скорости конвейера по результатам моделирования. Зависимость от коэффициента неустойчивости формовочного комплекса.
48. Схема 1. Определение времени цикла формовочного комплекса. Сравнение со схемой 0.
49. Схема 2. Настройка скорости конвейера при условии одинакового коэффициента неустойчивости формовочных автоматов.
50. Схема 3. Формирование времени цикла формовочного комплекса. Выбор оптимальной скорости конвейера. Сравнение потерь производительности со схемой 0.
51. Дрейф временных характеристик оборудования. Синхронизация конвейера.
52. Понятие о SMART-подобных системах диагностики. Параметры, используемые для диагностики состояния оборудования.
53. Диагностика узлов поступательного движения. Сторожевой принцип определения момента возникновения отказа.
54. Основные задачи мониторинга в ИКС.
55. Визуализация результатов мониторинга и SCADA-системы.
56. Предсказание момента выхода оборудования из строя. Назначение предупредительных уровней.

## Типовые задачи по ИКС литья

### Задача 1. Неоднородные параллельные операции

Две операции выполняются параллельно. По результатам хронометража построены гистограммы по времени выполнения для каждой из операций (см. рисунок).



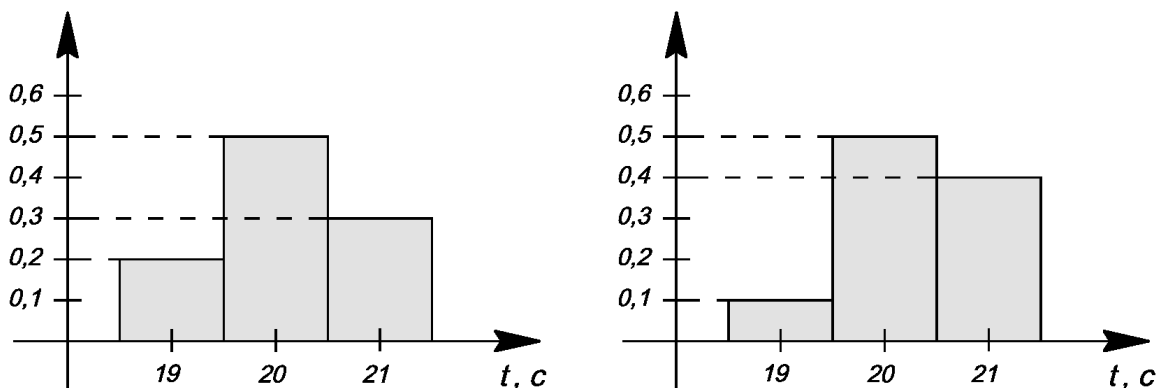
Гистограммы для времени выполнения первой и второй операции

Определить среднее время каждой из операций; построить гистограмму по общему времени выполнения двух операций и определить среднюю общую продолжительность параллельных операций.

Определить потери производительности, вызванные разбросом времени выполнения каждой операции.

#### Решение

Прежде всего определим по гистограммам среднее время выполнения каждой из операций.

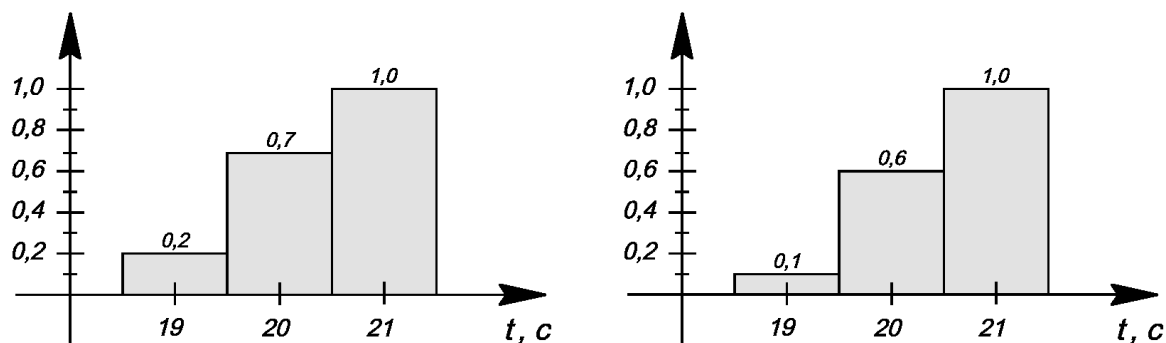


$$\bar{t}_1 = 19 \cdot 0,2 + 20 \cdot 0,5 + 21 \cdot 0,3 = 20,1 \text{ с ;}$$

$$\bar{t}_2 = 19 \cdot 0,1 + 20 \cdot 0,5 + 21 \cdot 0,4 = 20,3 \text{ с .}$$

Для того чтобы построить гистограмму общего времени выполнения двух опе-

раций, построим гистограммы интегрального распределения для каждой из операций.



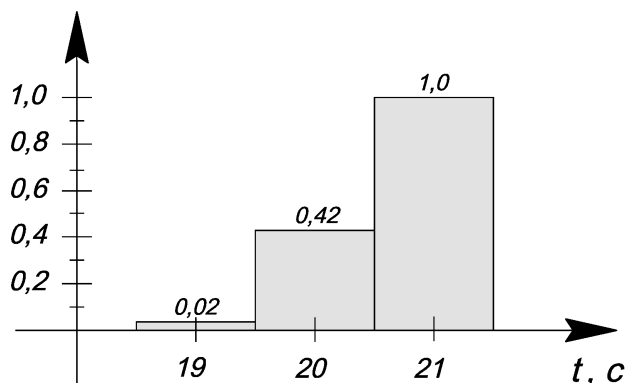
*Гистограммы интегрального распределения для первой и второй операции*

Интегральная гистограмма для общей продолжительности параллельных операций может быть получена последовательным перемножением столбцов с одинаковыми средними значениями:

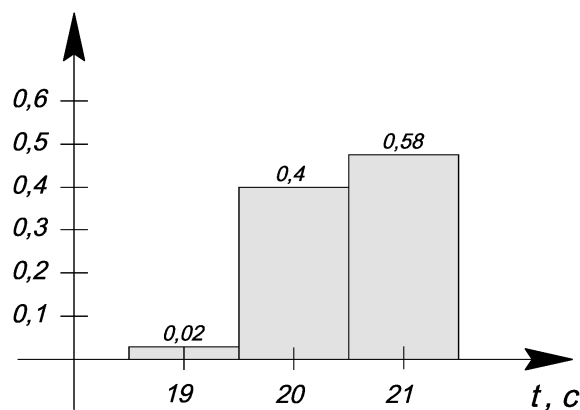
$$0,2 \times 0,1 = 0,02;$$

$$0,7 \times 0,6 = 0,42;$$

$$1,0 \times 1,0 = 1,0.$$



Теперь уже по этой гистограмме можно построить гистограмму плотности вероятности для общей продолжительности путем последовательного вычитания столбцов.



Отсюда уже легко определить среднее время выполнения двух параллельных

операций:

$$\bar{T}_{12} = 19 \cdot 0,02 + 20 \cdot 0,4 + 21 \cdot 0,58 = 20,56 \text{ с.}$$

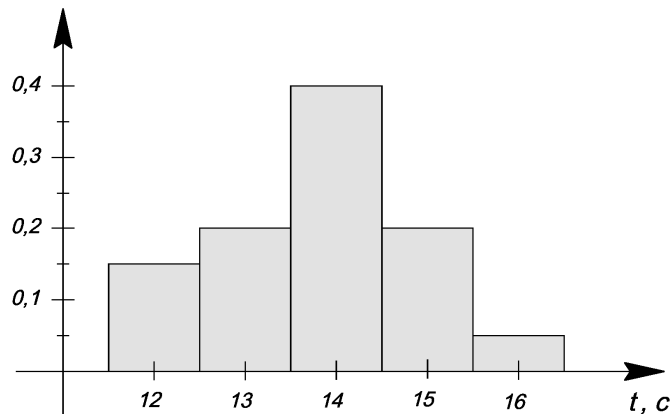
Если не учитывать случайный характер продолжительности каждой операции, можно было бы ожидать, что общее время выполнения двух параллельных операций будет определяться максимальным из средних времен, то есть  $\bar{t}_2 = 20,3 \text{ с.}$

Таким образом, потери производительности, вызванные случайными отклонениями, можно определить следующим образом:

$$\Delta Q = \left(1 - \frac{\bar{t}_2}{\bar{T}_{12}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{20,3}{20,56}\right) \cdot 100\% = 1,26 \text{ \%}.$$

## Задача 2. Однородные параллельные операции

Три параллельные операции выполняются одновременно. По результатам хронометража установлено, что время выполнения всех трех операций описывается одной и той же гистограммой, представленной на рисунке.

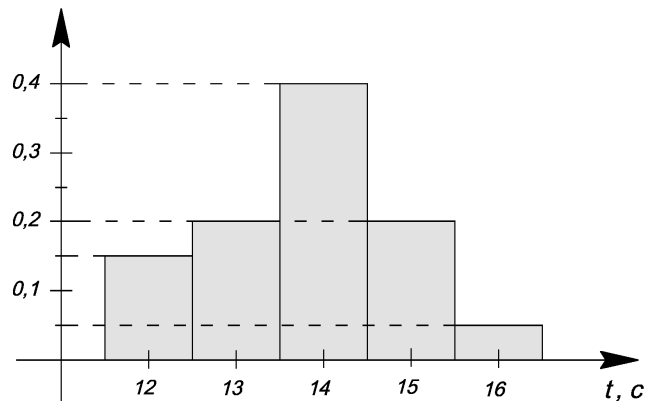


Определить среднее время выполнения одной операции; построить гистограмму для общего времени выполнения и определить среднее продолжительность выполнения трех параллельных операций.

Определить потери производительности, вызванные разбросом времени выполнения каждой операции.

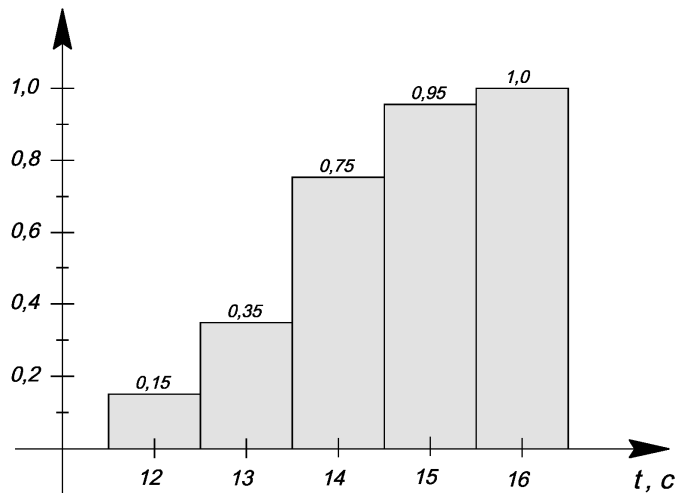
### Решение

Определим по гистограмме среднее время одной операции.



$$\bar{t} = 12 \cdot 0,15 + 13 \cdot 0,2 + 14 \cdot 0,4 + 15 \cdot 0,2 + 16 \cdot 0,05 = 13,8 \text{ с.}$$

Для того чтобы определить среднюю продолжительность трех таких параллельных операций, построим гистограмму интегрального распределения путем последовательного сложения столбцов слева направо.



Теперь по этой гистограмме можно построить гистограмму интегрального распределения для общей продолжительности трех параллельных операций. Это делается последовательным перемножением столбцов с одинаковыми серединами интервалов.

Поскольку все три операции описываются идентичными гистограммами, все сводится к возведению соответствующих значений в куб:

$$0,15^3 = 0,003375;$$

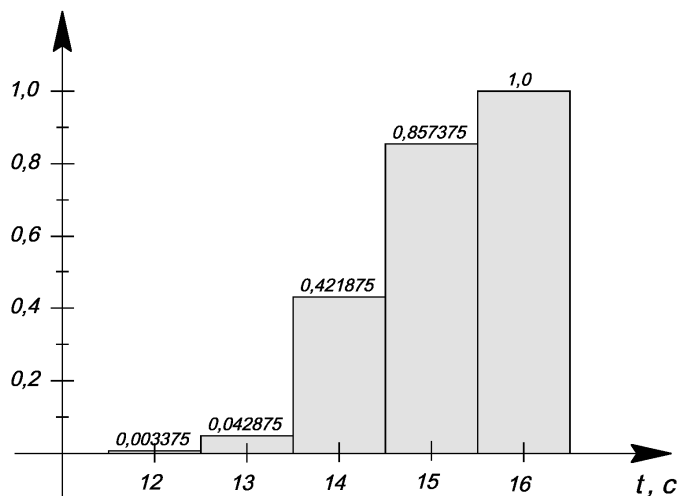
$$0,35^3 = 0,042875;$$

$$0,75^3 = 0,421875;$$

$$0,95^3 = 0,857375;$$

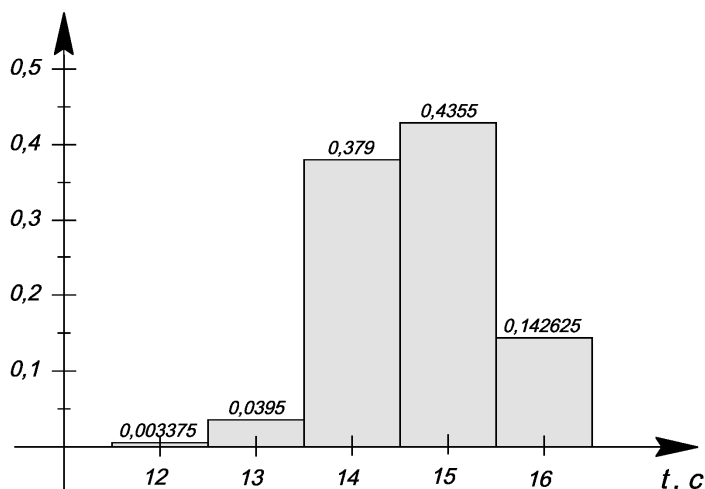
$$1,0^3 = 1,0.$$

По результатам расчетов построим соответствующую гистограмму.



А по этой гистограмме путем последовательного вычитания столбцов построим гистограмму для плотности вероятности для общей продолжительности трех па-

раллельных операций.



По этой гистограмме уже легко определить среднюю продолжительность трех параллельных операций:

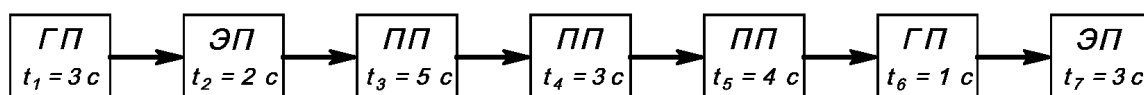
$$\bar{T}_{1-3} = 12 \cdot 0,003375 + 13 \cdot 0,0395 + 14 \cdot 0,379 + 15 \cdot 0,4355 + 16 \cdot 0,142625 = 14,6745 \text{ с.}$$

Потери производительности определяются следующим образом:

$$\Delta Q = \left( 1 - \frac{\bar{t}}{\bar{T}_{1-3}} \right) \cdot 100\% = \left( 1 - \frac{13,8}{14,6745} \right) \cdot 100\% = 5,96 \%$$

### Задача 3. Цикл проектируемой машины

Цикл проектируемой машины состоит из семи последовательных операций, на каждой из которых работает только один механизм. Тип привода механизма для каждой операции указан на рисунке (ЭП – электропривод, ГП – гидропривод, ПП – пневмопривод). Для каждого из механизмов по известным формулам рассчитано номинальное время его работы, которое также указано на рисунке.



Определить статистические характеристики времени цикла машины: среднее время, стандартное отклонение, коэффициент нестабильности.

При расчете принять, что время каждой операции – нормально распределенная величина со средним значением, равным номинальной продолжительности операции. Также принять значения коэффициента нестабильности для соответствующего типа привода:

- для электропривода  $\psi_{ЭП} = 2 \%$ ;
- для гидропривода  $\psi_{ГП} = 5 \%$ ;
- для пневмопривода  $\psi_{ПП} = 10 \%$ .

#### Решение

Сначала из формулы коэффициента нестабильности выразим стандартное отклонение:

$$s = \frac{\psi \cdot \bar{t}}{100\%}.$$

Рассчитаем стандартное отклонение по времени для каждого такта с учетом заданных для каждого типа привода значений коэффициента  $\psi$ :

$$s_1 = \frac{5 \cdot 3}{100\%} = 0,15 \text{ с};$$

$$s_2 = \frac{2 \cdot 2}{100\%} = 0,04 \text{ с};$$

$$s_3 = \frac{10 \cdot 5}{100\%} = 0,5 \text{ с};$$

$$s_4 = \frac{10 \cdot 3}{100\%} = 0,3 \text{ с};$$

$$s_5 = \frac{10 \cdot 4}{100\%} = 0,4 \text{ с};$$

$$s_6 = \frac{5 \cdot 1}{100\%} = 0,05 \text{ с};$$

$$s_7 = \frac{2 \cdot 3}{100\%} = 0,06 \text{ с}.$$

Исходя из свойства бесконечной делимости нормального распределения, можно утверждать, что общее время цикла и его дисперсия будут определяться как сумма средних времен и дисперсий для отдельных операций:

$$\bar{T}_y = \sum_{i=1}^7 t_i = 3 + 2 + 5 + 3 + 4 + 1 + 3 = 21 \text{ (с)}.$$

$$s_y^2 = \sum_{i=1}^7 s_i^2 = 0,15^2 + 0,04^2 + 0,5^2 + 0,3^2 + 0,4^2 + 0,05^2 + 0,06^2 = 0,5302 \text{ (с}^2\text{)}.$$

Соответствующее стандартное отклонение:

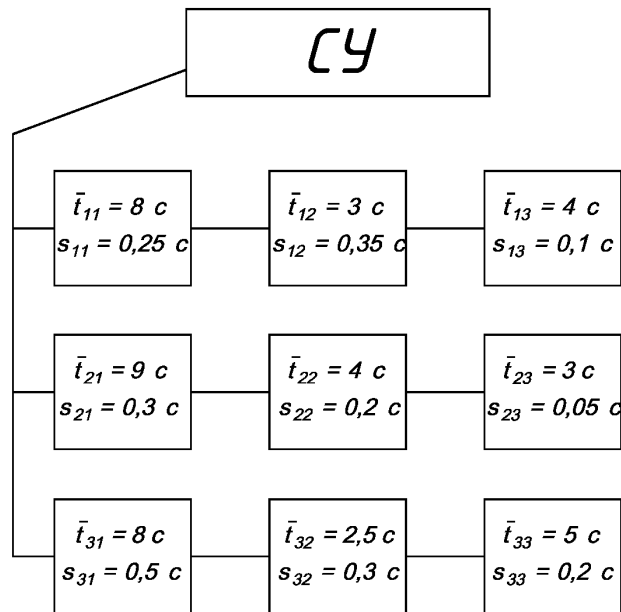
$$s_y = \sqrt{s_y^2} = \sqrt{0,5302} = 0,728 \text{ (с)}.$$

Отсюда можно определить коэффициент нестабильности для всей машины:

$$\psi_y = \frac{s_y}{\bar{T}_y} \cdot 100\% = \frac{0,728}{21} \cdot 100\% = 3,47 \text{ \%}.$$

#### **Задача 4. Алгоритм интеграции без обратных связей**

Три параллельных модуля интегрируются в единый цикл с помощью последовательностного алгоритма без обратных связей. На каждом модуле при этом выполняется по три операции. Временные характеристики каждого такта (среднее время  $\bar{t}$  и стандартное отклонение  $s$ ) указаны на рисунке.



Определить общее время цикла интегрированного комплекса, рассчитать коэффициент потерь производительности и потери производительности относительно последовательного алгоритма без учета случайных отклонений времени каждого такта.

Коэффициент надежности  $k$  принять равным 3.

### Решение

Прежде всего, рассчитаем время цикла для последовательного алгоритма без учета потерь, связанных со случайным характером продолжительности каждой операции. В этом случае время цикла будет равно максимальной из продолжительностей цикла, рассчитанной по средним значениям для каждого модуля:

$$T'_u = \max \left( \sum_j \bar{t}_{ij} \right) = \max (15; 16; 15,5) = 16 \text{ (с)}.$$

При управлении без обратных связей время каждого такта определяется выдержкой таймера, которая определяется по следующей формуле:

$$t_{PB} = \bar{t} + k \cdot s.$$

Рассчитаем соответственно время выдержки таймера для каждой операции на основании данных, приведенных на рисунке.

Для модуля 1:

$$t_{PB11} = 8 + 3 \cdot 0,25 = 8,75 \text{ (с)};$$

$$t_{PB12} = 3 + 3 \cdot 0,35 = 4,05 \text{ (с)};$$

$$t_{PB13} = 4 + 3 \cdot 0,1 = 4,3 \text{ (с)}.$$

Для модуля 2:

$$t_{PB21} = 9 + 3 \cdot 0,3 = 9,9 \text{ (с)};$$

$$t_{PB22} = 4 + 3 \cdot 0,2 = 4,6 \text{ (с)};$$

$$t_{PB23} = 3 + 3 \cdot 0,05 = 3,15 \text{ (с)}.$$

Для модуля 3:

$$t_{PB31} = 8 + 3 \cdot 0,5 = 9,5 \text{ (с);}$$

$$t_{PB32} = 2,5 + 3 \cdot 0,3 = 3,4 \text{ (с);}$$

$$t_{PB33} = 5 + 3 \cdot 0,2 = 5,6 \text{ (с).}$$

При последовательном алгоритме управления каждый модуль работает независимо, поэтому общее время цикла определяется как максимальное из продолжительностей цикла отдельных модулей:

$$T_u = \max(T_i) = \max\left(\sum_j (\bar{t}_{ij} + k \cdot s_{ij})\right).$$

Определим время цикла каждого из модулей:

$$T_1 = \sum_{j=1}^3 t_{PB1j} = 8,75 + 4,05 + 4,3 = 17,1 \text{ (с);}$$

$$T_2 = \sum_{j=1}^3 t_{PB2j} = 9,9 + 4,6 + 3,15 = 17,65 \text{ (с);}$$

$$T_3 = \sum_{j=1}^3 t_{PB3j} = 9,5 + 3,4 + 5,6 = 18,5 \text{ (с).}$$

Следовательно, время цикла интегрированного модуля составит:

$$T_u = T_3 = 18,5 \text{ с.}$$

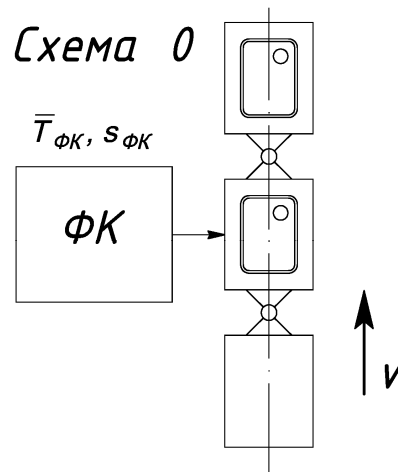
Коэффициент производительности:

$$h = \frac{T'_u}{T_u} = \frac{16}{18,5} = 0,865.$$

Потери производительности:

$$\Delta Q = (1 - h) \cdot 100\% = (1 - 0,865) \cdot 100\% = 13,5 \text{ \%}.$$

### Задача 5. Коррекция скорости конвейера с учетом дрейфа (схема 0)



При мониторинге зафиксирован дрейф временных характеристик формовочного комплекса (ФК) от  $\bar{T}_{\Phi K1} = 30$  с и  $s_{\Phi K1} = 1,5$  с до  $\bar{T}_{\Phi K2} = 35$  с и  $s_{\Phi K2} = 3,5$  с.

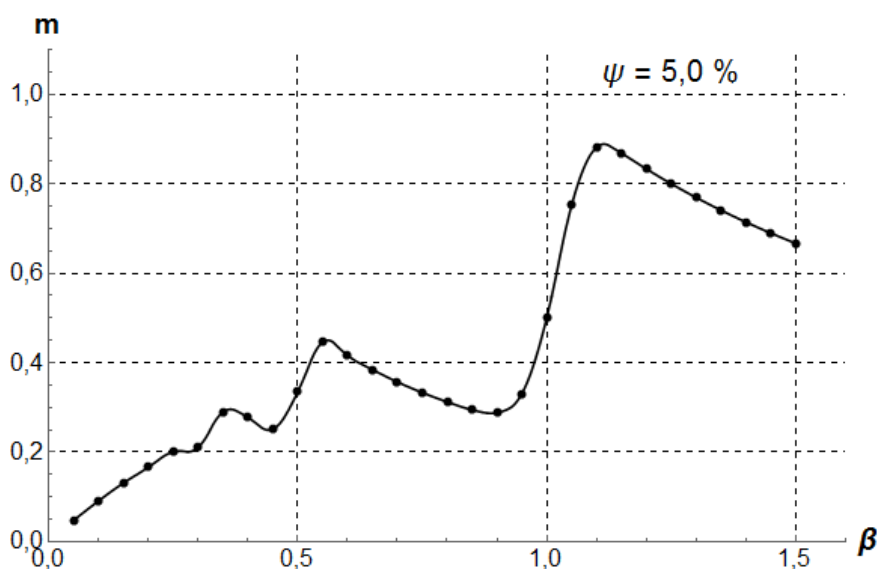
Оцените насколько нужно изменить скорость непрерывно движущегося конвейера, по сравнению с первоначальной, для компенсации зафиксированного дрейфа, при условии что до дрейфа конвейер работал с оптимальной скоростью. Определите производительность линии до дрейфа и после него. Оценить падение производительности линии, вызванное дрейфом с учетом подстройки скорости конвейера и без нее.

### Решение

Определим темп конвейера  $T_{ЛК1}$  до дрейфа. Для этого, прежде всего, необходимо определить коэффициент нестабильности  $\psi_{ФК1}$ :

$$\psi_{ФК1} = \frac{s_{ФК1}}{\bar{T}_{ФК1}} \cdot 100\% = \frac{1,5}{30} \cdot 100\% = 5\% .$$

Для определения оптимального значения коэффициента скорости конвейера  $\beta_{opt.1}$  воспользуемся результатами моделирования для  $\psi = 5\%$ , а именно графиком комплексного коэффициента  $m$ .<sup>1</sup>



Из графика видно, что максимуму функции соответствует  $\beta_{opt.1} = 1,1$ . Отсюда:

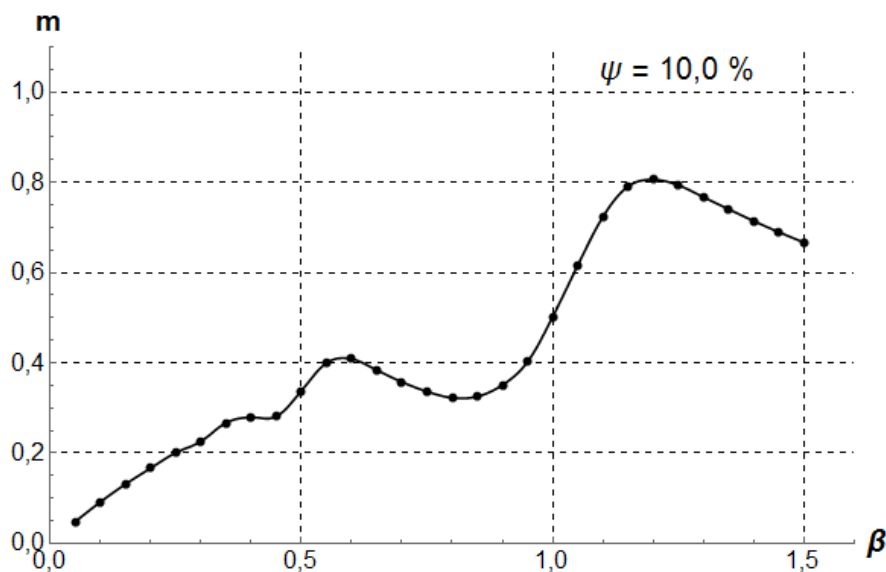
$$T_{ЛК1} = \beta_{opt.1} \cdot \bar{T}_{ФК1} = 1,1 \cdot 30 = 33 \text{ (с)} .$$

Коэффициент нестабильности после дрейфа:

$$\psi_{ФК2} = \frac{s_{ФК2}}{\bar{T}_{ФК2}} \cdot 100\% = \frac{3,5}{35} \cdot 100\% = 10\% .$$

Для определения оптимального значения коэффициента скорости конвейера после дрейфа  $\beta_{opt.2}$  нужно воспользоваться графиком комплексного коэффициента, полученном при моделировании для  $\psi = 10\%$ .

<sup>1</sup> Графики с результатами моделирования для разных значений коэффициента нестабильности  $\psi$  на экзамене будут предоставлены в распоряжение студента.



Видно, что  $\beta_{opt.2} = 1,2$ . Отсюда можно определить оптимальный темп конвейера после дрейфа:

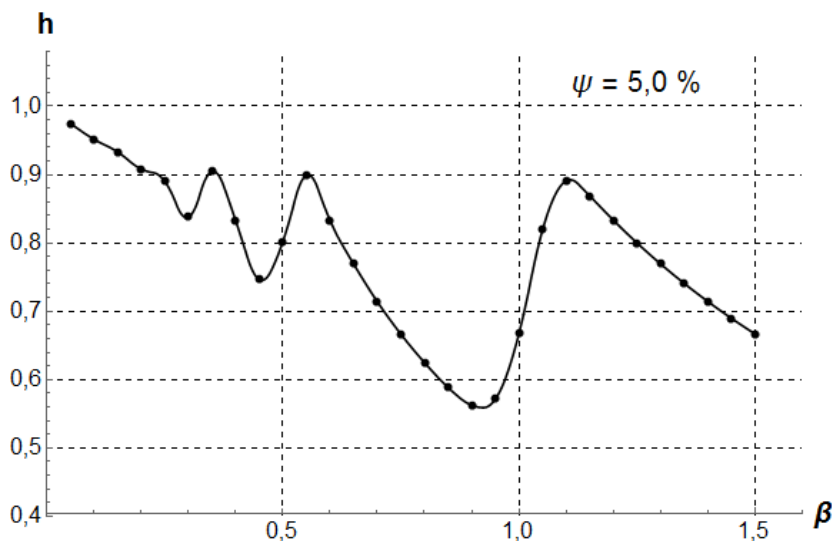
$$T_{ЛК2} = \beta_{opt.2} \cdot \bar{T}_{ФК2} = 1,2 \cdot 35 = 42 \text{ (с)}.$$

Отсюда можно определить необходимое изменение скорости конвейера из соотношения:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_{ЛК1}}{T_{ЛК2}} = \frac{33}{42} = 0,786.$$

То есть  $v_2 = 0,786 v_1$ .

Для определения производительности линии до дрейфа необходимо найти значения коэффициента производительности при  $\beta_{opt.1}$ . Для этого воспользуемся графиком коэффициента производительности, полученным при моделировании для  $\psi = 5\%$ .



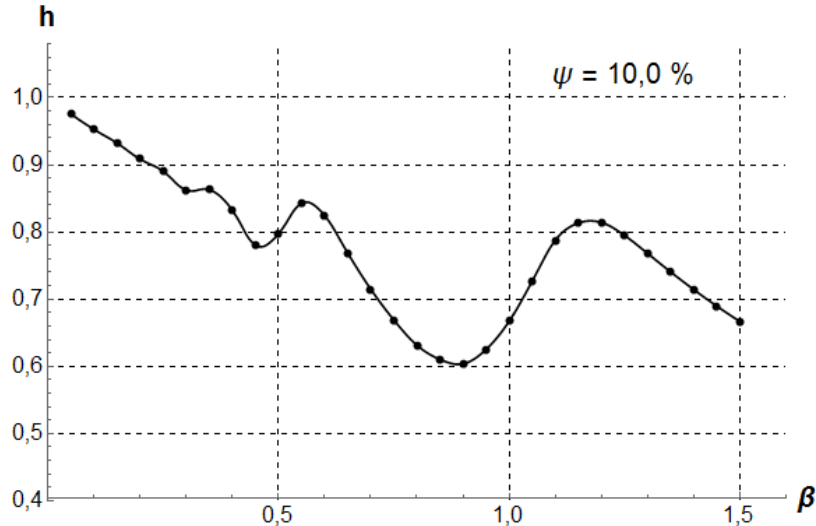
При  $\beta = 1,1$   $h_1 = 0,9$ . Отсюда можно определить среднее время цикла линии:

$$\bar{T}_{ис1} = \frac{\bar{T}_{ФК1}}{h_1} = \frac{30}{0,9} = 33,33 \text{ (с)}.$$

А отсюда можно определить производительность формовочной линии:

$$P_{ИС1} = \frac{3600}{\bar{T}_{ИС1}} = \frac{3600}{33,33} = 108 \text{ (форм/ч)}.$$

Аналогично определяется производительность линии после дрейфа.



При  $\beta = 1,2$   $h_2 \approx 0,81$ . Отсюда определяется среднее время цикла линии:

$$\bar{T}_{ИС2} = \frac{\bar{T}_{ФК2}}{h_2} = \frac{35}{0,81} = 43,21 \text{ (с)}.$$

Производительность линии:

$$P_{ИС2} = \frac{3600}{\bar{T}_{ИС2}} = \frac{3600}{43,21} \approx 83 \text{ (форм/ч)}.$$

Относительное падение производительности можно оценить следующим образом:

$$\delta P = \left(1 - \frac{P_{ИС2}}{P_{ИС1}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{83}{108}\right) \cdot 100\% = 23 \text{ \%}.$$

Таким образом, даже при учете дрейфа в скорости конвейера будет происходить падение производительности на 23 %.

Если же не производить подстройку скорости конвейера под изменившиеся временные параметры, расчет потерь нужно вести по тому же графику  $h(\beta)$  для  $\psi = 10 \text{ \%}$ , но при условии, что  $T_{ЛК2} = T_{ЛК1} = 33 \text{ с}$  (скорость конвейера не менялась), то есть:

$$\beta'_2 = \frac{T'_{ЛК2}}{\bar{T}_{ФК2}} = \frac{T_{ЛК1}}{\bar{T}_{ФК2}} = \frac{33}{35} = 0,94.$$

Тогда  $h'_2 \approx 0,61$  (см. последний график). И следовательно:

$$\bar{T}'_{ИС2} = \frac{\bar{T}_{ФК2}}{h'_2} = \frac{35}{0,61} = 57,38 \text{ (с)};$$

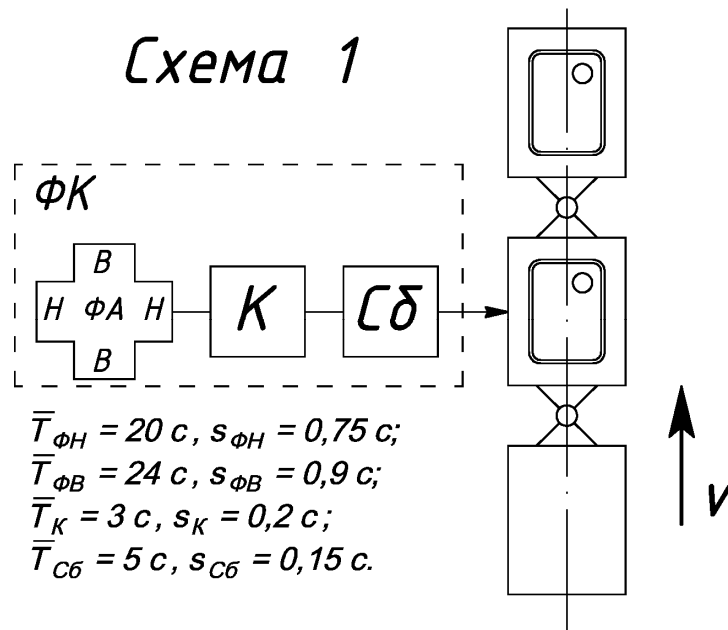
$$P'_{ИС2} = \frac{3600}{\bar{T}'_{ИС2}} = \frac{3600}{57,38} \approx 63 \text{ (форм/ч)};$$

$$\delta P' = \left(1 - \frac{P'_{ИС2}}{P_{ИС1}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{63}{108}\right) \cdot 100\% = 41,7 \%$$

Таким образом, отсутствие учета дрейфа временных параметров формовочного комплекса в скорости конвейера приводит к еще более значительному падению производительности линии.

## Задача 6. Интеграция формовочного комплекса с конвейером (схема 1)

Многопозиционная формовочная машина интегрируется с непрерывно движущимся конвейером по схеме 1. На рисунке приведены временные характеристики (среднее время цикла  $\bar{T}$  и стандартное отклонение  $s$ ) для всех составляющих комплекса. Здесь  $\Phi H$  – формовка полуформы низа,  $\Phi B$  – формовка полуформы верха,  $K$  – кантование,  $Cб$  – сборка.



Определить производительность формовочного комплекса (ФК). Подобрать оптимальный темп конвейера и определить производительность линии.

В расчете принять, что время цикла всех составляющих формовочного комплекса является нормально распределенной случайной величиной с указанными характеристиками (среднее значение и стандартное отклонение).

### Решение

Прежде всего, необходимо определить характеристики цикла формовочного комплекса. Анализ работы входящего в него оборудования показывает, что в конкретном  $i$ -ом цикле работы общее время цикла определяется следующим образом:

$$T_{ци} = T_{\Phi H i} + T_{\Phi B i} + (T_{Cб i} - T_{Cб i-1}).$$

Как видно, время кантования никаким образом не учитывается в общем времени цикла, поскольку кантование выполняется одновременно с формовкой полу-

формы верха и оно заведомо выполняется быстрее.

Поскольку каждая из этих величин подчиняется нормальному распределению, для расчета характеристик цикла формовочного комплекса воспользуемся свойством бесконечной делимости нормального распределения, согласно которому среднее время цикла и его дисперсия являются суммой соответствующих средних времен и дисперсий составляющих операций.

При этом составляющая  $(T_{C\bar{\sigma}i} - T_{C\bar{\sigma}i-1})$  будет давать нулевой вклад в среднее время цикла, но двойной вклад в общую дисперсию (поскольку дисперсии не вычитаются).

$$\bar{T}_{\Phi K} = \bar{T}_{\Phi H} + \bar{T}_{\Phi B} + 0 = 20 + 24 = 44 \text{ (с)};$$

$$s_{\Phi K}^2 = s_{\Phi H}^2 + s_{\Phi B}^2 + 2s_{C\bar{\sigma}}^2 = 0,75^2 + 0,9^2 + 2 \cdot 0,15^2 = 1,4175 \text{ (с}^2\text{)};$$

$$s_{\Phi K} = \sqrt{s_{\Phi K}^2} = \sqrt{1,4175} = 1,19 \text{ (с)}.$$

Время цикла формовочного комплекса также будет нормально распределенной величиной, так что для анализа интеграции его с конвейером можно применять результаты моделирования для схемы 0.

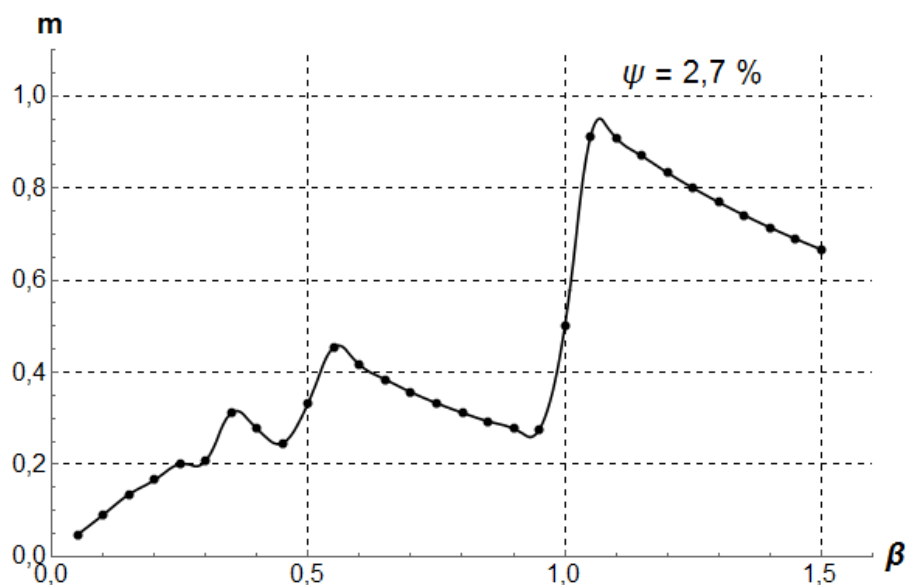
Из полученных значений можно вычислить производительность формовочного комплекса:

$$P_{\Phi K} = \frac{3600}{\bar{T}_{\Phi K}} = \frac{3600}{44} \approx 82 \text{ (форм/ч)}$$

и его коэффициент нестабильности:

$$\psi_{\Phi K} = \frac{s_{\Phi K}}{\bar{T}_{\Phi K}} \cdot 100\% = \frac{1,19}{44} \cdot 100\% = 2,7 \text{ \%}.$$

Для определения оптимального темпа конвейера необходимо воспользоваться результатами моделирования комплексного коэффициента  $m$  для  $\psi = 2,7 \text{ \%}$ .

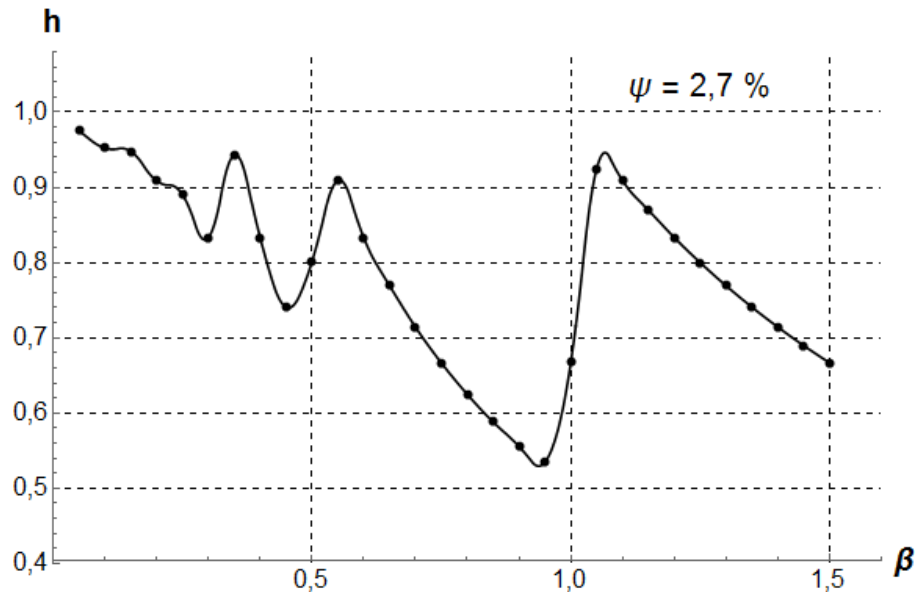


Из графика видно, что максимум достигается при  $\beta \approx 1,07$ .

Таким образом, оптимальный темп конвейера составит:

$$T_{ЛК} = \beta \cdot \bar{T}_{ФК} = 1,07 \cdot 44 \approx 47 \text{ (с)}.$$

Коэффициент производительности можно определить по результатам моделирования этого показателя при том же значении коэффициента  $\beta$ .



При  $\beta = 1,07$   $h \approx 0,94$ . Тогда среднее время цикла линии составит:

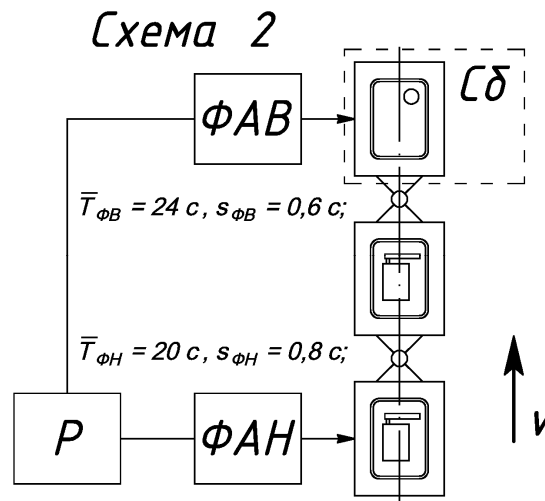
$$\bar{T}_{ЛС} = \frac{\bar{T}_{ФК}}{h} = \frac{44}{0,94} = 46,8 \text{ (с)}.$$

Производительность линии:

$$П_{ЛС} = \frac{3600}{\bar{T}_{ЛС}} = \frac{3600}{46,8} = 77 \text{ (форм/ч)}.$$

### Задача 7. Интеграция формовочного комплекса с конвейером (схема 2)

Формовочный комплекс интегрируется с непрерывно движущимся конвейером по схеме 2. Временные характеристики (среднее время цикла и стандартное отклонение) формовочного автомата полуформы верха и полуформы низа представлены на рисунке. При этом считается, что время цикла автоматов – нормально распределенная величина, так что в расчете можно использовать результаты моделирования для схемы 0.



Определить оптимальный темп конвейера и производительность формовочной линии.

### Решение

Прежде всего, определим коэффициенты неустойчивости для обоих формовочных автоматов:

$$\psi_{\Phi H} = \frac{s_{\Phi H}}{\bar{T}_{\Phi H}} \cdot 100\% = \frac{0,8}{20} \cdot 100\% = 4\%;$$

$$\psi_{\Phi B} = \frac{s_{\Phi B}}{\bar{T}_{\Phi B}} \cdot 100\% = \frac{0,6}{24} \cdot 100\% = 2,5\%.$$

Коэффициенты неустойчивости для двух машин получились разными, а следовательно, и оптимальные значения коэффициентов скорости конвейера для разных машин будут различными, причем поскольку  $\psi_{\Phi H} > \psi_{\Phi B}$ , то и  $\beta_{\text{опт.}\Phi H} > \beta_{\text{опт.}\Phi B}$ . При этом всегда должно выполняться соотношение

$$T_{\text{ЛК}} = \beta_{\Phi H} \cdot \bar{T}_{\Phi H} = \beta_{\Phi B} \cdot \bar{T}_{\Phi B}$$

независимо от того, являются ли указанные коэффициенты  $\beta$  оптимальными или нет.

То есть всегда будет выполняться условие<sup>2</sup>

$$\frac{\beta_{\Phi H}}{\beta_{\Phi B}} = \frac{\bar{T}_{\Phi B}}{\bar{T}_{\Phi H}} = \frac{24}{20} = 1,2.$$

---

### Теоретическое пояснение

Вообще есть три возможности:

- коэффициенты неустойчивости для обеих машин равны, что означает равенство оптимальных значений коэффициента  $\beta$  – в этом случае настройка всегда ведется по более медленной машине;
- более медленная машина работает еще и более неустойчиво, то есть коэффициент  $\psi$  для более медленной машины больше, чем у более быстрой – то же, что и в первом случае, то есть настройка ведется по более медленной машине;
- наконец третья возможность, когда более медленная машина работает стабильнее, чем более быстрая – это самый сложный случай, именно он и рассмотрен в этом примере.

Для выполнения эффективной интеграции формовочного комплекса с конвейером по схеме 2 должно быть обеспечено выполнение двух требований:

- производительность обеих машин должна использоваться наилучшим образом;
- необходимо обеспечить полную занятость конвейера после формовочного автомата полуформы низа ( $q_{\Phi H} = 1$ ), чтобы исключить сбои при сборке форм.

Первое требование учитывается тем фактом, что отклонение от опти-

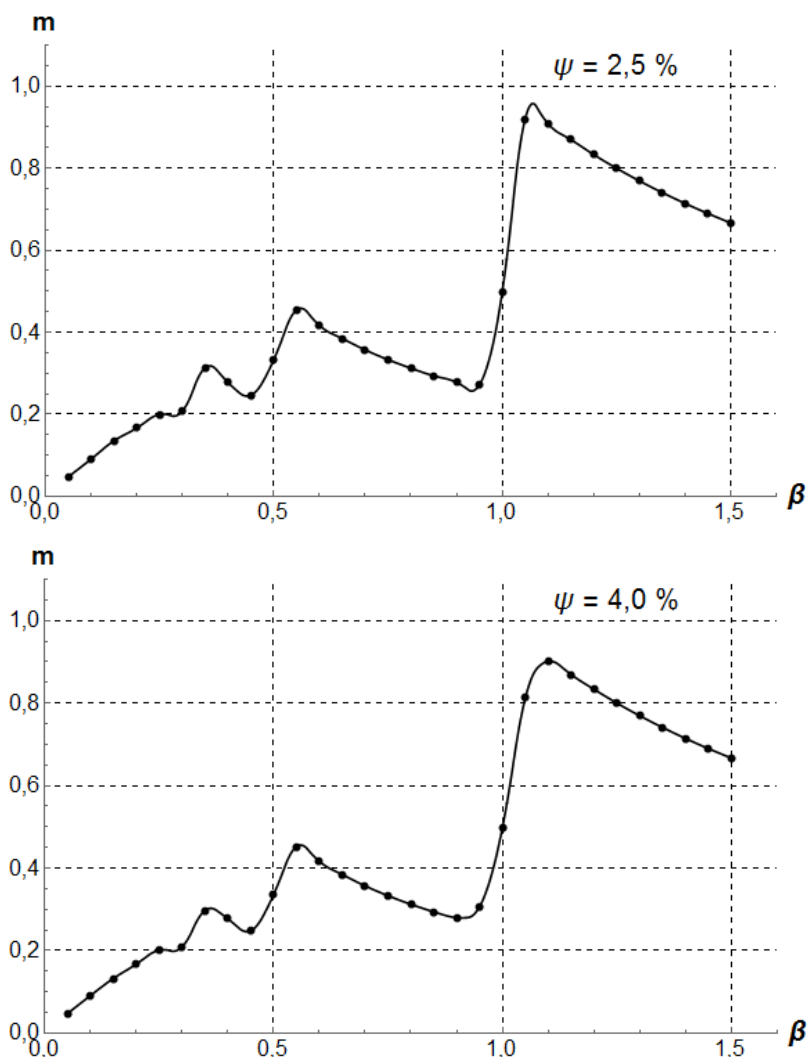
---

<sup>2</sup> Важно составлять это условие таким образом, чтобы оно было больше 1, то есть большее время цикла должно быть в числителе.

мального значения коэффициента  $\beta$  в большую сторону предпочтительнее, так как падение коэффициента в этой области более плавное. Математически это выражается неравенствами  $\beta_{\Phi H} \geq \beta_{\text{opt.}\Phi H}$  и  $\beta_{\Phi B} \geq \beta_{\text{opt.}\Phi B}$ .

Второе требование будет практически всегда обеспечено при  $\beta_{\Phi H} \geq \beta_{\text{opt.}\Phi H}$ .

Поскольку оптимальные значения  $\beta$  для автоматов полуформ верха и низа не равны (более того, автомат, который работает медленнее, обладает большей стабильностью времени), необходимо провести более глубокий анализ. Для дальнейшего анализа потребуются графики комплексного показателя интеграции, полученные по результатам моделирования при  $\psi = 2,5\%$  и  $\psi = 4\%$ .



Из этих графиков видно, что  $\beta_{\text{opt.}\Phi B} \approx 1,07$  и  $\beta_{\text{opt.}\Phi H} = 1,1$ .

Чтобы определить формовочный автомат, по которому будет производиться настройка скорости конвейера, необходимо сравнить отношение оптимальных значений коэффициентов  $\beta$  с аналогичным отношением, определенным через средние времена циклов:

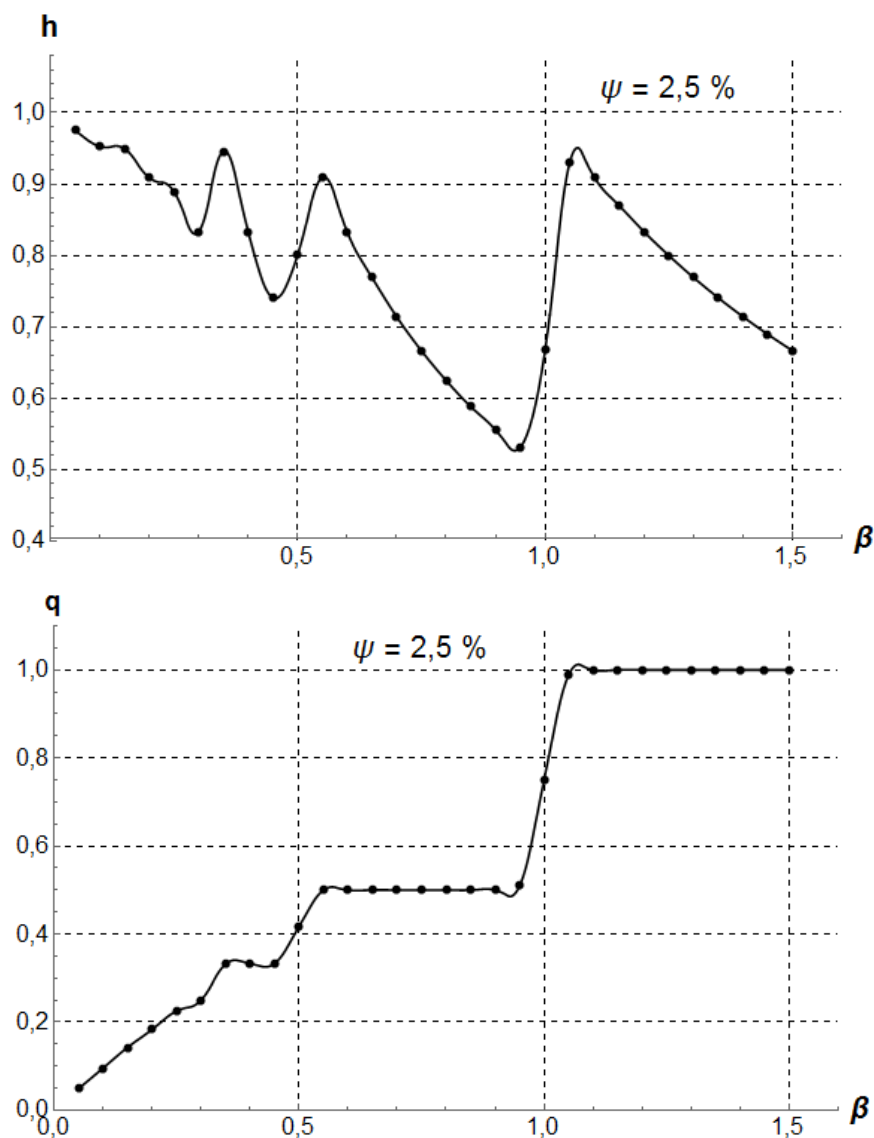
$$\frac{\beta_{\text{opt.}\Phi H}}{\beta_{\text{opt.}\Phi B}} = \frac{1,1}{1,07} = 1,028 < 1,2.$$

Это означает, что выигрыш от более стабильной работы медленной машины

(автомата верх) слишком незначителен по сравнению с потерями от более длинного цикла. Поэтому настройку скорости конвейера следует вести по более медленной машине, то есть по автомату полуформ верх:<sup>3</sup>

$$\beta_{\Phi B} = \beta_{\text{онт.}\Phi B} = 1,07.$$

Это обеспечивает работу автомата полуформ верх с коэффициентом производительности  $h_{\Phi B} = 0,94$  (см. графики для  $\psi = 2,5\%$ ) и практически полную занятость конвейера (то есть мимо сборщика не пройдет ни одной полуформы низа).

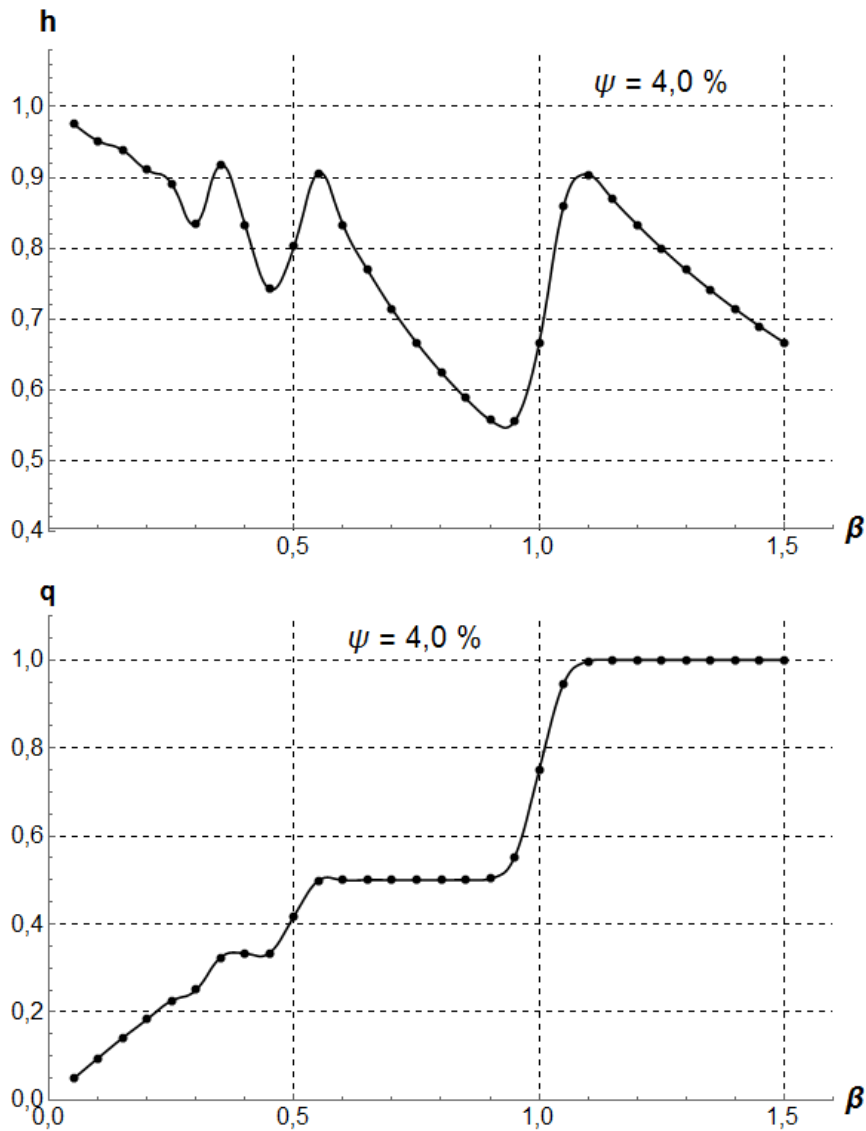


Для формовочного автомата полуформ низа:

$$\beta_{\Phi H} = 1,2 \cdot \beta_{\Phi B} = 1,2 \cdot 1,07 = 1,284.$$

Это значение дает полную занятость конвейера полуформами низа (что является одним из обязательных условий) и коэффициент производительности для автомата полуформ низа  $h_{\Phi H} = 0,75$  (см. графики для  $\psi = 4\%$ ).

<sup>3</sup> Если бы рассчитанное отношение получилось больше, то настройку скорости конвейера следовало бы производить по более быстрой машине.



Таким образом, оптимальный темп конвейера составит:

$$T_{ЛК} = \beta_{ФВ} \cdot \bar{T}_{ФВ} = 1,07 \cdot 24 = 25,68 \text{ (с)}.$$

Производительность формовочной линии в схеме 2 всегда определяется по формовочному автомату полуформ верха, поскольку именно там происходит окончательная сборка готовых форм. Поэтому среднее время цикла формовочной линии составит:

$$\bar{T}_{ИС} = \frac{\bar{T}_{ФВ}}{h_{ФВ}} = \frac{24}{0,94} = 25,53 \text{ (с)}.$$

Производительность линии:

$$П_{ИС} = \frac{3600}{\bar{T}_{ИС}} = \frac{3600}{25,53} = 141 \text{ (форм/ч)}.$$