

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Промышленная автоматика и робототехника»

Утверждено на заседании кафедры
«Промышленная автоматика
и робототехника»
«17» января 2023 г., протокол № 2

И.о. заведующего кафедрой


_____ О.А. Ерзин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ
(СЕМИНАРСКИМ) ЗАНЯТИЯМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
(МОДУЛЮ)**

**«Технологические системы роторных машин в пищевой
промышленности»**

**основной профессиональной образовательной программы высшего
образования – программы магистратуры**

по направлению подготовки

15.04.02 Технологические машины и оборудование

с направленностью (профилем)

Машины и агрегаты пищевой промышленности

Формы обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 150402-03-23

Тула 2023 год

Разработчик:

Прейс В.В., профессор, д-р техн. наук, профессор
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)


(ПОДПИСЬ)

1. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОТОРНЫХ МАШИН

1. Цель работы.

Изучение математических моделей цикловой и фактической производительности роторных машин на примере роторной машины для фасовки жидких продуктов в стеклянную тару, имеющей в своей структуре ротор розлива с клапанными дозаторами, реализующими метод розлива жидкостей по уровню.

2. Теоретическая часть.

Цикловая штучная производительность $\Pi_{\text{ц}}$ [шт./мин] роторной машины (РМ) определяется следующими выражениями:

$$\Pi_{\text{ц}} = \frac{60}{T_{\text{к}}} u, \quad (1.1)$$

где $T_{\text{к}}$ – длительность кинематического цикла роторной машины, с; u – число рабочих позиций (дозаторов) ротора розлива.

Длительность кинематического цикла технологического ротора с клапанными дозаторами для розлива жидкостей по уровню в виде

$$T_{\text{к}} = \frac{120}{\Pi_{\text{ц}}} k_1 + \frac{240S_{\Sigma}}{\Pi_{\text{ц}} \cdot h \cdot \text{tg}\beta_{\text{max}}} + \frac{V_{\text{бут}}}{\pi D_{\text{кл}} \Delta_{\text{кл}} \mu \sqrt{2gH}} + \arccos \left[1 - \frac{0,125}{\pi} \cdot \frac{(u_{\text{т}} + u_{\text{тр}})^2}{\left[0,5 \frac{h}{\pi} (u_{\text{т}} + u_{\text{тр}}) + d_{\text{бут}} + L_{\text{min}} \right]^2} h^2 \right]. \quad (1.2)$$

Поставляя выражение (1.2) в формулу (1.1), после преобразований полученного уравнения, запишем общее выражение цикловой производительности РМ для розлива жидкостей по уровню в следующем виде

$$\Pi_{\text{ц}} = \frac{30}{t_{\text{р}}} \left\{ 2u_{\text{т}} - 4k_1 - \frac{8S_{\Sigma}}{h \cdot \text{tg}\beta_{\text{max}}} - \frac{u_{\text{т}}}{\pi} \varphi_{\text{всп}} \right\}, \quad (1.3)$$

где $t_{\text{р}}$ – время наполнения бутылки жидкостью по уровню клапанным дозатором, с; $u_{\text{т}}$ – число позиций (дозаторов) ротора розлива; $k_1 = 1 \dots 2$; h – шаг рабочих позиций технологического и транспортного роторов, м; S_{Σ} – суммарное перемещение подъемного столика к дозатору до момента

его открытия, м; $\beta_{\max} \leq 35^\circ$ – максимально допустимый угол подъема профиля кулачка; $\varphi_{\text{всп}}$ – угол поворота ротора розлива от позиции выдачи наполненной бутылки до позиции приема пустой бутылки.

Время наполнения t_p бутылки жидкостью при дозировании по уровню клапанным дозатором

$$t_p = \frac{V_{\text{бут}}}{\pi D_{\text{кл}} \Delta_{\text{кл}} \mu \sqrt{2gH}}, \quad (1.4)$$

где $V_{\text{бут}}$ – вместимость бутылки (нужный объем наливаемой жидкости), м³; $D_{\text{кл}}$ – диаметр тарелки клапана, м; $\Delta_{\text{кл}}$ – величина открытия тарелки клапана (высота щели для истечения жидкости), м; μ – коэффициент расхода; H – напор жидкости в дозаторе, м.

Минимальная величина угла $\varphi_{\text{всп}}$ при условии, что начальные диаметры транспортных роторов рассматриваемой РМ равны, будет равна

$$\varphi_{\text{всп}} = \arccos \left[1 - \frac{0,125}{\pi} \cdot \frac{(u_T + u_{\text{тр}})^2}{\left[0,5 \frac{h}{\pi} (u_T + u_{\text{тр}}) + d_{\text{бут}} + L_{\text{min}} \right]^2} h^2 \right], \quad (1.9)$$

где $u_{\text{тр}}$ – число позиций (пазов) транспортных роторов; $d_{\text{бут}}$ – диаметр цилиндрической части бутылки, м; L_{min} – минимально допустимая ширина направляющего охвата между двумя транспортными роторами, м.

Из анализа выражения (1.3) следует, что в явном виде нельзя получить зависимость числа рабочих позиций технологического ротора от требуемой цикловой производительности, поэтому для решения этого уравнения следует использовать стандартные программные пакеты, например, *MathCad* или специально разрабатываемые программы.

Фактическая производительность $\Pi_{\text{ф}}$ роторной машины, прогнозируемая на стадии проектирования

$$\Pi_{\text{ф}} = \Pi_{\text{ц}} \eta_{\text{п}} \text{ [шт./мин]}, \quad (1.10)$$

где $\eta_{\text{п}}$ – прогнозируемое значение коэффициента использования, характеризующего надежность роторной машины.

На стадии проектирования прогнозируемый коэффициент использования РМ может быть рассчитан по выражению

$$\eta_{\Pi} = \frac{(1 - q_{\text{ПП}})}{1 + (\omega T_{\text{В}} u)_{\text{САЗ}} + \sum_1^m (\omega T_{\text{В}} u)_{\text{Т}} + \sum_1^{m+1} (\omega T_{\text{В}} u)_{\text{ТР}} + (\omega T_{\text{В}})_{\text{ГП}} + (\omega T_{\text{В}})_{\text{Э}}}, \quad (1.11)$$

где $\omega_{\text{САЗ}}$, $\omega_{\text{Т}}$, $\omega_{\text{ТР}}$, $\omega_{\text{ГП}}$, $\omega_{\text{Э}}$ – параметры потоков отказов соответственно системы автоматической загрузки (САЗ) штучных продуктов, технологических роторов и транспортных роторов, главного привода вращательного движения и электрической части РМ, ч^{-1} ; $T_{\text{В}}$ – среднее время восстановления отказа соответствующей системы, ч; u – число позиций САЗ, технологического или транспортного роторов соответственно; m – число технологических роторов в РМ; $q_{\text{ПП}}$ – вероятность нарушения плотности технологического потока штучных продуктов внутри РМ вследствие случайных потерь штучных продуктов при их загрузке, выгрузке или передаче между технологическими роторами ($q_{\text{ПП}} \leq 0,01 \dots 0,02$).

3. Содержание и порядок выполнения задания

3.1. Изучить теоретические основы и методику построения математических моделей цикловой и фактической производительности роторной фасовочной машины для жидких продуктов, используя материалы теоретической части занятия и рекомендуемую литературу.

3.2. Провести тестирование математических выражений по заданным исходным данным, используя программный пакет *MatCad*.

3.3. Оформить отчет.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ РОТОРНЫХ МАШИН

1. Цель работы.

Изучение математических моделей надежности роторных машин для различных стратегий обслуживания на примере роторной машины для фасовки жидких продуктов в стеклянную тару, имеющей в своей структуре ротор розлива с клапанными дозаторами, реализующими метод розлива жидкостей по уровню.

2. Теоретическая часть.

Аналитические модели описывают процесс функционирования технологической роторной машины посредством математических зависимостей на основе понятий и символики некоторой теории, в качестве которой наиболее часто используют *теорию цепей Маркова*. При этом, как правило, *потоки событий* (отказов и восстановления работоспособности машины) представляют как *простейшие*, т.е.

обладающие свойствами стационарности, отсутствия последствия и ординарности.

Стационарным поток называют тогда, когда вероятность возникновения отказов на любом промежутке времени Δt не зависит от сдвига Δt по оси времени (внешние условия и состояние системы постоянны).

Отсутствие последствия означает, что отказы являются событиями, независимыми друг от друга, и вероятность наступления их в течение некоторого промежутка времени Δt не зависит от того, были ли отказы до этого и как они были распределены.

Ординарность потока означает, что одновременно может произойти только один отказ.

Стохастический характер аналитических моделей отражает реальную картину возникновения случайных отказов функциональных устройств и механизмов роторной машины и восстановления её работоспособности.

При построении аналитических моделей надежности технологической роторной машины используют следующие показатели:

$\lambda = 1/T_0$ (ч) – интенсивность функциональных отказов, характеризующую вероятность появления отказа за рассматриваемый промежуток времени (при экспоненциальном законе распределения вероятности λ – среднее число отказов в единицу времени);

T_0 (ч) – наработку на отказ, характеризующую среднее время безотказной работы машины до первого функционального отказа;

$\mu = 1/T_B$ (ч) – интенсивность восстановления, характеризующую вероятность вынужденных простоев машины в единицу времени, вызванных поиском отказа и его устранением (при экспоненциальном законе распределения вероятности μ – среднее число простоев);

T_B (ч) – среднее время восстановления, характеризующее среднее время вынужденного простоя машины, вызванного поиском функционального отказа и его устранением.

Законы распределения времени безотказной работы и восстановления в большинстве практических случаев принимают экспоненциальными, полагая, что интенсивности функциональных отказов и восстановления для всех рабочих позиций технологической роторной машины одинаковы.

Аналитическую модель надежности многопозиционной технологической роторной машины, например, для розлива напитков, у которой преимущественными видами отказов являются отказы функциональных устройств, размещенных на рабочих позициях технологических роторов (дозаторов), а интенсивность отказов других

систем невелика, можно представить в виде простейшего замкнутого графа (рис. 2.1).

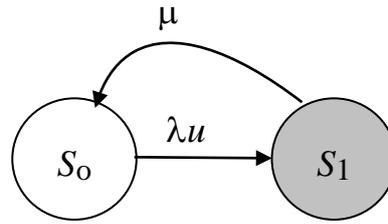


Рис. 2.1. Граф состояний многопозиционной машины, обслуживаемой по первому отказу любой рабочей позиции

Полагая, что интенсивности отказов λ и интенсивности восстановлений μ любой рабочей позиции машины равны, переход машины из состояния работоспособности S_0 в состояние неработоспособности S_1 после первого отказа любой из рабочих позиций будет происходить с интенсивностью λu , а восстановление машины (одной рабочей позиции) будет происходить с интенсивностью μ .

Составим матрицу переходов машины из одного состояния в другое

$$P_i = \begin{matrix} & 0 & 1 \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 - \lambda u & \lambda u \\ \mu & 1 - \mu \end{vmatrix} \end{matrix} \quad (2.1)$$

Решая матрицу (2.1) для установившегося режима, когда $\frac{dP_i}{dt} = 0$, получим систему линейных уравнений, связывающих предельные вероятности P_i нахождения технологической машины в состояниях S_i ($i = 0, 1$)

$$\left. \begin{aligned} 0 &= -\lambda u P_0 + \mu P_1; \\ 0 &= \lambda u P_0 - \mu P_1. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Решением системы уравнений (2.2) с учетом уравнения связи $\sum_{i=0}^1 P_i = 1$ будут предельные вероятности P_i нахождения технологической машины в состояниях S_i ($i = 0, 1$). Коэффициент готовности при остановке машины по первому функциональному отказу будет равен вероятности нахождения машины в работоспособном состоянии P_1

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{1 + (\lambda/\mu)u} = \frac{1}{1 + (\lambda T_B)u}. \quad (2.3)$$

Рассмотрим разновидность стратегии обслуживания многопозиционной технологической роторной машины параллельно-последовательного действия, заключающуюся в остановке машины только после нескольких последовательных отказов функциональных элементов с последующей одновременной заменой нескольких отказавших элементов, т.е. с групповым восстановлением элементов. Применение такой стратегии возможно в том случае, когда последствия отказа одного функционального элемента на одной рабочей позиции машины (ротора) не приводят к аварийной ситуации, при этом машина при возникновении 1-го, 2-го и т.д. отказов продолжает работать с неполной производительностью.

Аналитическая модель функционирования технологической роторной машины с накоплением функциональных отказов и последующим их групповым восстановлением может быть представлена замкнутым графом (рис. 2.2).

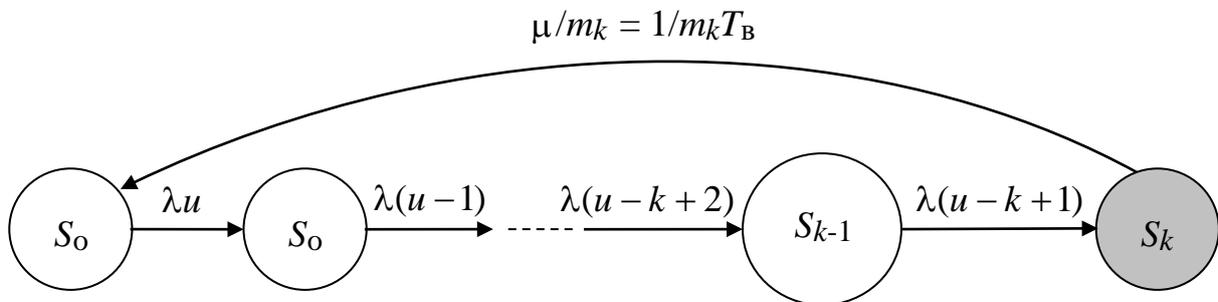


Рис. 2.2. Граф состояний многопозиционной машины при работе с накоплением отказов и групповым восстановлением отказавших позиций

Граф включает следующие состояния: S_0 – полной (начальной) работоспособности машины; S_1, \dots, S_{k-1} – работы машины с неполной производительностью при 1, 2, ... ($k-1$) отказавших рабочих позициях; S_k – неработоспособности машины, когда произошло накопление отказов и машина останавливается на ремонтное обслуживание, с интенсивностью восстановления $\mu/m_k = 1/m_k T_B$, где m_k – коэффициент совмещения времени группового восстановления k отказавших рабочих позиций технологической машины ($k > m_k > 1$), т.е. предполагается, что суммарное время группового (одновременного) восстановления нескольких отказавших позиций машины $m_k T_B$ меньше суммы длительностей индивидуального восстановления k отказавших позиций машины $k T_B$.

Интенсивности переходов машины из одного состояния в другое показаны на ветвях графа.

Составим матрицу переходов системы из одного состояния в другое

$$P_i = \begin{array}{c|cccc} & 0 & 1 & \dots & k \\ \hline 0 & 1-\lambda & \lambda u & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 1-\lambda(u-1) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k-1 & 0 & 0 & \dots & \lambda(u-k+1) \\ k & \mu/m_k & 0 & \dots & 1-\lambda u - \mu/m_k \end{array} \quad (2.4)$$

Решая матрицу (2.4) для установившегося режима, когда $\frac{dP_i}{dt} = 0$, получим систему линейных уравнений, связывающих предельные вероятности P_i нахождения технологической машины в состояниях S_i ($i = 0, \dots, k$)

$$\left. \begin{array}{l} 0 = -\lambda u P_0 + \mu/m_k P_k; \\ 0 = \lambda u P_0 - \lambda(u-1)P_1; \\ \dots\dots\dots \\ 0 = \lambda(u-k+1)P_{k-1} - (\lambda u + \mu/m_k)P_k. \end{array} \right\} \quad (2.5)$$

Решением системы уравнений (2.5) с учетом уравнения связи $\sum_{i=0}^k P_i = 1$ будут предельные вероятности P_i нахождения технологической машины в состояниях S_i ($i = 0, \dots, k$).

При работе многопозиционной машины с неполной производительностью при 1, 2, ... ($k-1$) отказавших рабочих позициях с их последующим групповым восстановлением надежность машины оценивают коэффициентом сохранения производительности K_c , который в установившемся режиме работы машины равен сумме предельных вероятностей P_0, \dots, P_{k-1} нахождения ее в состояниях S_0, \dots, S_{k-1}

$$K_c = \sum_{i=0}^{k-1} P_i = \frac{k}{\sum_{i=0}^{k-1} \frac{u}{u-i} + (\lambda/\mu)m_k u}. \quad (2.6)$$

Анализ выражения (2.6) показывает, что для высоконадежных технологических машин ($\lambda/\mu \leq 5 \times 10^{-3}$) при числе рабочих позиций $4 < u < 18$ и малонадежных ($\lambda/\mu \geq 10^{-3}$) при $4 < u < 12$, наиболее выгодной является стратегия обслуживания по 1-му функциональному отказу, т.е. работа машины без накопления отказов рабочих позиций.

Стратегия обслуживания с накоплением функциональных отказов рабочих позиций наиболее выгодна для малонадежных технологических машин с числом рабочих позиций $n > 12$, при этом коэффициент совмещения восстановления должен быть не более 1,25, что практически осуществимо при числе отказавших позиций не более 3-х. Такая стратегия обслуживания обеспечивает повышение коэффициента сохранения производительности, а значит и фактической производительности многопозиционной технологической машины, на 10...15 % по сравнению с технологической машиной, обслуживаемой по первому отказу.

Теоретические расчеты, подтверждаемые практикой эксплуатации технологических машин, показывают, что совмещение восстановления возможно до числа отказавших рабочих позиций $k < 3...4$. При групповом восстановлении более четырех отказавших позиций суммарное время их восстановления начинает быстро возрастать, достигая значения времени индивидуального восстановления, т.е. эффект группового восстановления теряется.

3. Содержание и порядок выполнения заданий

3.1. Изучить теоретические основы и методику построения математических моделей надежности роторной фасовочной машины для жидких продуктов, используя материалы теоретической части занятия и рекомендуемую литературу.

3.2. Провести тестирование математических выражений по заданным исходным данным, используя программный пакет *MatCad*.

3.3. Оформить отчет.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКОГО КУЛАЧКОВОГО ПРИВОДА РАБОЧИХ ДВИЖЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РОТОРАХ

1. Цель занятия.

Изучение математических моделей механического кулачкового привода рабочих движений в технологических роторах роторных машин на примере роторной машины для фасовки жидких продуктов в стеклянную тару, имеющей в своей структуре ротор розлива с клапанными дозаторами, реализующими метод розлива жидкостей по уровню.

2. Теоретическая часть.

Разработку математической модели кулачкового привода рабочих движений начинают с анализа силовой схемы нагружения механизма, т.е. схемы расположения сил, действующих в системе «ползун-направляющие-ролик-кулачок», на основе которых проводят проектные расчеты и выбор основных конструктивных параметров элементов привода.

На рис. 3.1 представлена схемы расположения сил, действующих на

ползун, при радиальном расположении ролика и кулачка. Сила взаимодействия кулачка и ролика ползуна P необходима для выбора допускаемого угла подъема профиля кулачка и проверки элементов привода на прочность, осевая составляющая P_z , направленная вдоль оси ползуна, необходима для оценки технологических возможностей ротора и выбора закона движения ползуна, радиальная составляющая P_x необходима для определения момента сил сопротивления ротора и потребляемой мощности.

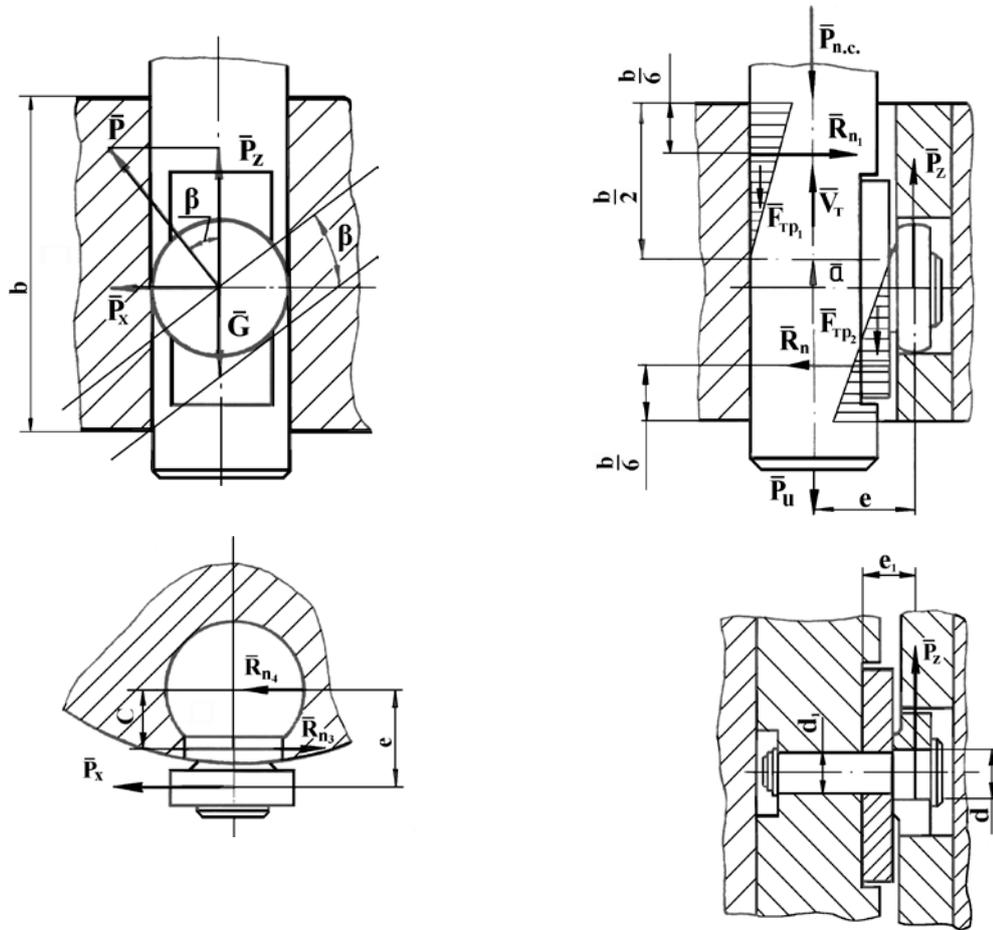


Рис. 3.1. Схемы расположения сил в механическом кулачковом приводе с пазовым кулачком роторной машины

В приводе с пазовым (радиальным) кулачком сила взаимодействия кулачка и ролика ползуна P и ее составляющие P_z и P_x определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} P &= K_p (P_{п.с.} \pm G \pm P_{и}); \\ P_z &= K_{zp} (P_{п.с.} \pm G \pm P_{и}); \\ P_x &= K_{xp} (P_{п.с.} \pm G \pm P_{и}); \end{aligned} \right\}, \quad (3.1)$$

В приводе с торцевым кулачком сила P и ее составляющие P_z и P_x определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} P &= K_T \cdot (P_C \pm G \pm P_{II}); \\ P_z &= K_{zT} \cdot (P_C \pm G \pm P_{II}); \\ P_x &= K_{xT} \cdot (P_C \pm G \pm P_{II}), \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

где K_T, K_{zT}, K_{xT} – коэффициенты пропорциональности, учитывающие особенности конструктивного оформления ролика и направляющих ползуна в приводе с торцевым кулачком.

Коэффициенты K_T, K_{zT}, K_{xT} определяют по формулам

$$K_T = \frac{1}{\cos \beta} \cdot \frac{\sqrt{1 + f_{\text{пр}}^2}}{B_T}; \quad K_{zT} = \frac{1 - f_{\text{пр}} \cdot \operatorname{tg} \beta}{B_T}; \quad K_{xT} = \frac{\operatorname{tg} \beta + f_{\text{пр}}}{B_T}, \quad (3.4)$$

где $B_T = 1 - f_1 \cdot \left(1 + 2 \frac{a}{b}\right) \cdot (\operatorname{tg} \beta + f_{\text{пр}}) - f_{\text{пр}} \cdot \operatorname{tg} \beta$; a – вылет ползуна.

В практических расчетах можно принимать для стального ползуна и чугунного барабана $f_1 = 0,2$; $f_{\text{пр}} = 0,13$; $\beta < 40^\circ$.

Геометрические размеры кулачкового привода рабочих движений ротора выбирают в зависимости от действующих сил, которые зависят от геометрических размеров привода и ротора, и в начальной стадии проектирования ротора неизвестны. Поэтому вначале можно предварительно задаться максимальным значением угла подъема профиля кулачка и отношениями: $\frac{e}{b} = 0,1; 0,125; 0,15$ и $\frac{a}{b} = 0,2; 0,4; 0,6$.

Для принятых значений по формулам (3.2) или (3.4) определяют коэффициенты K_p, K_T , а по формулам (3.1) или (3.3) – величину силы P взаимодействия кулачка и ролика ползуна. Правильность предварительного определения силы P должна быть проверена после окончательного выбора геометрических размеров привода и законов движения исполнительных органов ротора.

3. Содержание и порядок выполнения заданий

3.1. Изучить теоретические основы и методику построения математических моделей механического кулачкового привода роторной фасовочной машины для жидких продуктов, используя материалы теоретической части занятия и рекомендуемую литературу.

3.2. Провести тестирование математических выражений по заданным исходным данным, используя программный пакет *MatCad*.

3.3. Оформить отчет.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

2.1. Отчет должен содержать описание математической модели и результаты её тестирования в виде скан-копий с экрана с пояснениями в тексте результатов тестирования.

2.2. Текст отчета должен быть набран в текстовом редакторе MS Word. Тип шрифта – Times New Roman, размер шрифта 14 пт, междустрочный интервал полуторный. Параметры страницы: верхнее и нижнее поля – 2 см; левое поле – 2,5 см; правое поле – 1,5 см; расстояние от края верхнего и нижнего колонтитулов – не менее 1 см. Номер страницы – вверху в центре. Основной текст с отступом слева первой строки 1,25 см и выравниванием «по ширине страницы». Автоматическая расстановка переносов слов: ширина зоны переноса 0,63 см, максимальное число последовательных переносов 3.

2.3. Формулы и математические выражения по тексту набирать в любом редакторе формул (*Equation*, *MathType*), соблюдая следующие требования: латинские буквы набирают курсивом (*S*, *p*, *W*, *u*) кроме обозначения стандартных математических функций (*sin*, *cos*, *min*, *max*, *exp* и т.п.), которые набирают прямым латинским шрифтом; русские и греческие буквы (α , φ , π , Ω), цифры и математические символы (+, =, >, \neq) набирают только прямым шрифтом. Рекомендуемые размеры символов: обычный – 14 пт; крупный индекс – 12 пт; мелкий индекс – 10 пт; крупный символ – 16 пт; мелкий символ – 8 пт. Расшифровку формульных обозначений дают после формулы одним абзацем с выравниванием по ширине страницы, без отступа первой строки, начиная со слова «где», в порядке следования обозначений в формуле, отделяя фразы точкой с запятой.

3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Компьютерные технологии при проектировании и эксплуатации технологического оборудования: учеб. пособие для вузов / Г.В. Алексеев [и др.]. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: ГИОРД, 2006. 296 с.

2. Прейс В.В. Технологические системы роторных машин в пищевой промышленности: учебник. Тула: Изд-во ТулГУ. 2022. 216 с. ISBN 978-5-7679-4989-2.

3. Прейс В.В. Роторные машины и автоматические роторные линии в пищевых производствах: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. 108 с.: ил. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/2014020616211576946000006107>, по паролю.

4. Проектирование, конструирование и расчет техники пищевых технологий / С.Т. Антипов [и др.]: под ред. В.А. Панфилова. [Электронный ресурс]: учебное пособие. Электрон. дан. СПб.: Лань, 2013. 912 с.

Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=6599.
Загл. с экрана.