

зана решением задач кинематического синтеза, приведенных в работах [1,2], а также рассмотрен плоский четырехзвенный механизм с вращательными парами:  $l_0=10.4\text{см}$ , угловые координаты коромысла и кривошипа  $\varphi_2^{(1)} = 240^\circ$ ,  $\varphi_3^{(1)} = 45^\circ$  соответственно,  $\varphi_0^{(1)} = 0^\circ$  для первого положения и аналогично для второго положения  $\varphi_2^{(2)} = 253^\circ$ ,  $\varphi_3^{(2)} = 60^\circ$ ,  $\varphi_0^{(2)} = 0^\circ$ . Угловые координаты шатуна для первого и второго положений  $\varphi_1^{(1)} = 10^\circ$ ,  $\varphi_1^{(2)} = 9^\circ$  определены из неравенств (14), (25) при вышеуказанных значениях угловых координат входного и выходного звеньев механизма. Тогда длины звеньев механизма равны  $l_1=10\text{см}$ ,  $l_2=5\text{см}$ ,  $l_3=4\text{см}$  с незначительными отклонениями соответственно. Результаты проверены путем геометрического построения четырехзвенного механизма с найденными длинами звеньев и заданными углами кривошипа и коромысла.

В заключение можно отметить, что предложен оптимизационный метод синтеза плоских механизмов. Эффективность данного подхода по сравнению с известными методами кинематического синтеза механизмов заключается в определении диапазонов изменения длин звеньев и меньшем задании количества (достаточно двух) положений входного и выходного звеньев. Достоинством метода является обеспечение непрерывности функций положений и сведение задачи синтеза плоского

механизма к задаче оптимизации. Несложно показать, что из оптимизационного подхода следуют интерполяционный, аппроксимационный и другие известные подходы кинематического синтеза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. -М.: Наука, 1982.-640с.
2. Артоболевский И.И., Левитский Н.И., Черкудинов С.А. Синтез плоских механизмов. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1959. - 1084с.
3. Саркисян Ю.Л. Аппроксимационный синтез механизмов. – М.: Наука, 1982. – 304 с.
4. Синчев Б. Оптимизационный синтез механизмов. // Доклады НАН РК, 2008, №3. – С.41-44
5. Синчев Б.К., Муханова А.М., Тажибахит Г.С. Кинематический синтез механизмов. /Труды Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой и легкой промышленности» -Алматы: АТУ, 2008. –С.156-160

#### ТҰЖЫРЫМ

Бұл жұмыста механизмнің кинематикалық синтезі жаңа нақты әдістері ұсынылады.

#### RESUME

Analytical method of kinematical synthesis of mechanisms has been proposed in the paper.

УДК 66.047

## МАССОБМЕН ПРИ СУШКЕ ПЛЕНКИ ПРОДУКТА НА ПОВЕРХНОСТИ ИНЕРТНОЙ ЧАСТИЦЫ СО СМЕШЕННЫМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ

КУНАЕВА З.А., к.т.н.

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева

*Пленка продукта, нанесенная на поверхность инертных частиц, измельчается по достижении конечного влагосодержания. Пленка свежего продукта наносится на поверхность, покрытую обезвоженной пленкой, нанесенной ранее. Поэтому сопротивление диффузии при сушке определяется не всей толщиной пленки, а лишь последним покрытием. При соответствующих расчетах полученная номограмма отражает предельные значения температур (максимальную входную и минимальную выходную температуры).*

**П**ленка продукта, нанесенная на поверхность инертных частиц, измельчается по достижении конечного влагосодержания. Поверхность инертной частицы может не освобождаться за один цикл (в промежутки времени между последовательными нанесениями продукта на поверхность частицы). В этом случае пленка свежего продукта наносится на поверхность, покрытую обезвоженной пленкой, нанесенной ранее.

Поэтому сопротивление диффузии при сушке определяется не всей толщиной пленки, а лишь последним покрытием. Диффузионным сопротивлением последнего покрытия, с которого происходит испарение, можно пренебречь, поскольку толщина его, как было показано

выше, равна 0,2 – 0,3 мм. В связи с этим в качестве кинетического уравнения можно использовать уравнение для внешнего массообмена

$$dm/(d\tau) = -\beta \left\{ 4\pi r_0^2 / [R_{II}(t_s + 273)] \right\} [P_{II}(\theta, U) - P_{II\infty}], \quad (1)$$

где:  $m$  - масса испаряемой с поверхности влаги, кг;

$\beta$  - коэффициент массообмена, м/с;  $R_{II} = 4,62 \cdot 10^2$  Дж/(кг·К) – газовая постоянная паров воды;

$t_s$  - среднее значение температуры в пограничном слое у поверхности частицы, °С;

$P_{II}(\theta, U)$  – парциальное давление паров воды над водным раствором продукта, являющееся функцией температуры  $\theta$  и влагосодержания  $U$ , кг/м<sup>2</sup>;

$P_{II\infty}$  - среднее по аппарату парциальное давление паров воды (в воздухе).

Перейдем в уравнении (1) от параметра  $m$ , определяющего массу испаряемой с поверхности влаги, к текущему значению влагосодержания  $U$ . Поскольку  $m = m_c U$ :

$$dm/(d\tau) = m_c [dU/(d\tau)], \quad (2)$$

где:  $m_c$  – масса сухого продукта, одновременно попадающая на поверхность инертной частицы в факеле распыла, кг.

Эта величина не меняется в течение одного периода сушки, поскольку влажный продукт не способен к измельчению. Величину  $m_c$  можно выразить через введенный ранее параметр распределения  $\varphi_{II}$ :

$$P_0 = \exp \left\{ A_0 - A_1 U^{A_2} - (B_0 + B_1 U^{B_2}) \left[ 1/(\theta + 273) - 1/(t_0 + 273) \right] \right\} C. \quad (7)$$

Для белковосодержащего раствора параметры, входящие в (8), определяются следующим образом:

$$C=1; A_0=11,53; A_1=1,027; A_2=-0,8;$$

$$B_0=5073 \text{ К}; B_1=4,605 \text{ К};$$

$$B_2=-1,8; t_0=100^\circ\text{С}.$$

Для обезжиренного молока:

$$C=0,032(385 - \bar{\theta}); A_0=21,53; A_1=0,053;$$

$$A_2=-1; B_0=5073 \text{ К}; B_1=0,313 \text{ К};$$

$$B_2=-2,3; t_0=100^\circ\text{С}.$$

На рисунке 1 представлены графики рассчитанных на ЭВМ для белковосодержащего раствора зависимостей  $I$  от  $\theta$  при  $U_0=1,5$  кг/кг,  $U_k=0,05$  кг/кг и различных  $P_{II\infty}$ .

В первом приближении при расчете  $P_{II}$  в качестве среднего значения парциального

при сушке тонкой пленки продукта на поверхности инертной частицы.

$$m_c = 4\pi r_0^2 \varphi_{II} / (1 + U_0). \quad (3)$$

С учетом выражений (2) и (3) уравнение (1) можно переписать в виде:

$$\frac{dU}{d\tau} = -\frac{\beta(1+U_0)}{\varphi_{II} R_{II}(t_s + 273)} [P_{II}(\theta, U) - P_{II\infty}]. \quad (4)$$

Решение уравнения (3) проводится при  $\theta = \bar{\theta}$ , при этом ошибка от замены текущего значения температуры инерта ее средним значением не превышает 3 %.

Интегрирование уравнения позволяет определить время, в течение которого пленка достигнет конечного влагосодержания, Борисов Т.В.:

$$\text{где } \tau_c = \frac{\varphi_{II} R_{II}(t_s + 273)}{\beta(1+U_0)} I(\theta, P_{II\infty}), \quad (5)$$

$$I(\theta, P_{II\infty}) = \int_{U_0}^{U_k} \frac{dU}{P(\theta, U) - P_{II\infty}}. \quad (6)$$

Для расчета интеграла (6) необходимо знать зависимость  $P_{II}(\theta, U)$  от  $\theta$  и  $U$ , последняя определялась изопиестическим путем для различных белковосодержащих растворов и аппроксимировалась на весь диапазон температур и концентраций в виде:

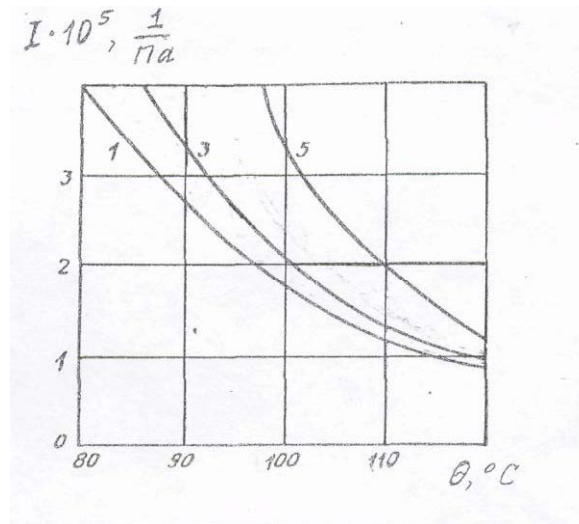
давления паров воды в воздухе  $P_{II\infty}$  можно брать парциальное давление паров воды на выходе из агрегата. Оно связано с влагосодержанием  $X_{\text{вых}}$  воздуха на выходе известным соотношением:

$$P_{II\infty} = 1,61 X_{\text{вых}} P_{\Sigma} / (1 + 1,61 X_{\text{вых}}), \quad (9)$$

где:  $P_{\Sigma}$  – давление смеси паров воды и воздуха на выходе из агрегата, Па.

Влагосодержание воздуха на выходе из агрегата может быть определено из энергетического баланса для элементарного объема теплоносителя. При этом влагосодержанием воздуха на выходе можно пренебречь:

$$X_{\text{вых}} = \frac{c_p(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})}{r + U_0 c_{II}(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})/(U_0 - U_k)} \quad (10)$$



1 -  $P_{\Pi}=0$ ; 2 -  $P_{\Pi}=1 \cdot 10^4$  Па; 3 -  $P_{\Pi}=4 \cdot 10^4$  Па

**Рис. 1.** Зависимость интеграла I от температуры при различных давлениях в слое для белковосодержащего раствора.

Оно определяется заданным влагосодержанием готового продукта. В агрегате готовый продукт в виде порошка уносится из аппарата с отработанным теплоносителем. При этом влагосодержание готового продукта  $U_k$  и отработанного теплоносителя одинаковы. Таким образом, значения парциальных давлений паров воды над продуктом [соотношение (8)] определяют связь между требуемым конечным

влагосодержанием продукта и обеспечивающими это значение параметрами отработанного теплоносителя:

$$\bar{\theta} = t_{\text{вых}}; \quad P_B = P_0(\bar{\theta}, U)_{U=U_k} \quad (11)$$

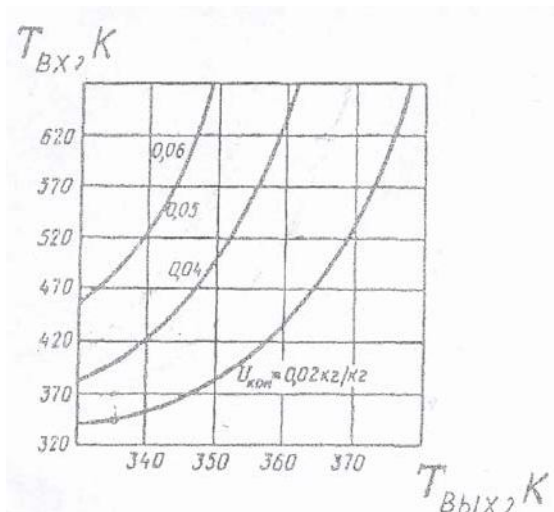
Условие (11) с учетом выражений (9) и (10) определяет связь между конечным влагосодержанием продукта и температурой теплоносителя на входе и на выходе:

$$t_{\text{вх}} = t_{\text{вых}} + \frac{0,622 P_0(t_{\text{вых}}, U_k)}{c_P [P_{\Sigma} - P_0(t_{\text{вых}}, U_k)]} \left[ r + \frac{U_k c_{\Pi}}{U_0 - U_k} (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) \right], \quad (12)$$

где:  $P_0(t_{\text{вых}}, U_k)$  определяется выражением (5), в котором  $\bar{\theta} = t_{\text{вых}}$ .

температур (максимальную входную и минимальную выходную температуры), поскольку они получены на основании статических равновесных характеристик.

Следует отметить, что представленная номограмма отражает предельные значения



**Рис. 2.** Зависимость  $T_{\text{вых}}$  от  $T_{\text{вх}}$  для белковосодержащего раствора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Харин В.М., Шишацкий Ю.И., Мальцев Г.П. Кинетика вакуумной сушки и оптимальное управление процессом // Теорет. основы хим. тех.-гии.-М.: 1996, том 30, №3. - С.277-285.
2. Сульг Е.О. Сушка растворов и суспензий в аппаратах фонтанирующего слоя с тангенциальным подводом газа с инертным носителем // Журнал прикл. химии. - Л.:1990, N5, - С.1163-1165.
3. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. - М.: 1960. – 716с.
4. Борисов Т.В. Круковский О.Н, Романков П.Г. Исследование механизма тепломассобмена в процессе сушки в фонтанирующем слое с учетом неравномерности распределения температур // Журнал прикл. химии – Л.: 1990, №2. - С.328-331.
5. Акынбеков Е.К., Куцакова В.Е., Куатбеков М.К. Основы теории и расчета сушки растворов в аппарате со щелевидным подводом теплоносителя. - Алматы, 2000. - 21 с.
6. Кунаева З.А., Айтореева Г.К., Куатбеков М.К., Акынбеков Е.К. Механизм пленкообразования и измельчения пленки в псевдооживленном слое инертных частиц со смещенным центром тяжести// Вестник НАН РК. Алматы, 2003, N 4. - С. 92-95
7. Кунаева З.А., Айтореева Г.К., Куат-

беков М.К., Акынбеков Е.К. Теплообмен при сушке растворов и суспензий в псевдооживленном слое инертных частиц со смещенным центром тяжести // Вестник НАН РК. - Алматы, 2003, N 5. - С. 123-127.

#### ТҰЖЫРЫМ

Өнімнің инертті бөлшектерінің бетіне қапталған қабыршақтың талқандалуы оның ылғалдылығының шектеуіне байланысты. Жаңа қабыршақ алдыңғы қапталған қабыршақтың үстінен қапталады. Сондықтан, кептірудің диффузиялық кедергісін анықтау қабыршақтың қалыңдығын емес, соңғы қапталған қабыршаққа байланысты. Тиісті есептеулерден алынған номограмма температураның шектеулерін көрсетеді.

#### RESUME

The film of product applied on the surface of inert fraction is disintegrated upon achieving the final moisture content. The film of natural product is applied on the surface covered by dehydrated film had been applied earlier. This the reason that the diffusion resistance is defined not by the whole thickness of the film but only by the last cover. Under the appropriate calculation the derived nomogram reflects the ultimate limiting value of temperatures (maximum inlet and minimum outlet temperatures).

УДК 621.865.8

## СИНТЕЗ ПРОГРАММНЫХ ТРАЕКТОРИЙ МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО ПОЛИНОМА ЛАГРАНЖА

УРАЗАЛИЕВ Т.Р., БЕЙСЕМБАЕВ А.А., к.т.н.

Казахский Национальный технический университет им. К.И. Сатпаева

*В статье рассмотрены вопросы синтеза программных траекторий по степеням подвижности 3-степенного манипуляционного робота. Известными методами была решена обратная задача кинематики при позиционировании схвата робота в точках, аппроксимирующих данную траекторию движения, затем, полученные ре-*

*зультаты с учетом перемещения скоростей и ускорений аппроксимированы точками во временной оси. Далее полученные точки аппроксимированы интерполяционным полиномом Лагранжа по каждой степени подвижности.*

**В** настоящее время в мире интенсивно расширяются области исследований и использования мобильных роботов – мехатронных систем, базирующихся на последних достижениях механики, микропроцессорной техники, контрольно-измерительных систем, информатики и теории управления. Таким образом, актуальность темы исследования определяется необходимостью создания более совершенных систем управления манипуляционных роботов.

Пусть задан манипуляционный робот (МР), имеющий три степени подвижности, первая (1) вращение вокруг оси OZ, вторая