

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СТРУКТУРНОГО ТЕЛА

СИЛАМИ ГРАВИТАЦИИ. 1-АЯ ЧАСТЬ

*Белорусский национальный технический университет**Минск, Беларусь*

В статье приведена теория взаимодействия структурного (сыпучего) тела с устройством для осуществления его вращательно-поступательного движения. Определены параметры движения структурных элементов структурного тела по наклонной поверхности физического тела вращения.

Структурное тело, не обладающее свойством связности структурных элементов, при входе на поверхность, образуемую вращением, например, линии, наклонной к оси вращения, попадает под воздействие гравитационного поля (рис. 1).

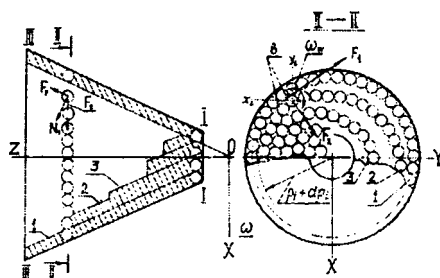


Рис. 1 – Схема движения структурного тела в поле гравитации

В сечении I-I структурное тело имеет наибольшую толщину, а в сечении III-III структурные элементы по длине окружности расположены плотно друг к другу в один слой. Такая картина расположения структурных элементов наиболее вероятна, исходя из теории центробежного моделирования [1, 2].

В сечении II-II условно рассечём структурное тело окружностями на элементарные слои 1,2,3.. n толщиной dr_i .

При установившемся режиме движения структурного тела отмеченные слои могут находиться в трёх переменных состояниях: относительного покоя (1-й слой), относительного движения (скольжение 2-го слоя относительно 1-го), свободного движения (2-го слоя независимо от 1-го). Такая картина движения присуща всем остальным слоям.

Если первый слой приводится в движение поверхностью, образованной вращением линии, то второй увлекается первым, третий – вторым, четвёртый – третьим и т. д. до n – го. Движение в 1-ом слое происходит без скольжения структурных элементов, в каждом последующем слое – со скольжением.

Главная сила, вызывающая движение структурных элементов вверх, является сила трения поверхности вращения о первый слой, первого о второй и т. д. Каждый структурный элемент любого слоя находится под воздействием сил: их тяжести, нормальных реакций со стороны смежных элементов в точках их соприкосновения и силы трения в этих точках. На 1-й слой действует нормальная реакция вращающейся поверхности.

Сумма всех внешних сил, действующих на структурные элементы, сводится к тангенциальной силе, приложенной к центру тяжести структурного тела и направленной в сторону вращения поверхности. Тангенциальная сила уменьшается с движением структурных элементов вверх в каждом слое. Это говорит о том, что структурные элементы в каждом слое, взаимодействуя друг с другом, движутся в границах слоя, подталкивая в направлении вращения впереди идущие элементы. Благодаря этому взаимодействию возникают силы трения в точках соприкосновения, которые уравнивают моменты пар, стремящиеся вращать структурные элементы вокруг их собственных осей [3].

Движение структурных элементов 1-го слоя происходит без отрыва от вращающейся поверхности. Элемент 2-го слоя, достигая предела, выходит из слоя. При этом этот элемент будет взаимодействовать только, с идущим сзади за ним, элементом. Вращающий момент становится неуравновешенным, силы трения в точках соприкосновения элементов создают равнодействующую, направленную внутрь тела вращения. А момент силы F_1 относительно точки b сообщит структурному элементу вращательное движение. Таким же образом можно рассматривать движение структурных элементов третьего, четвертого и т. д. слоёв.

При относительном покое структурные элементы 1-го слоя находятся на поверхности вращения и движутся совместно с ней. Если поверхность вращения за некоторый промежуток времени повернется на угол $\beta_1 = \omega t$, то при отсутствии скольжения 1-ый слой повернется на тот же угол $\beta = \beta_1$ и переместится из точки M_0 в точку 1 (рисунок 2). Состояние относительного покоя структурные элементы имеют тогда, когда все силы будут уравновешены, соответственно, $\omega = \omega_1$.

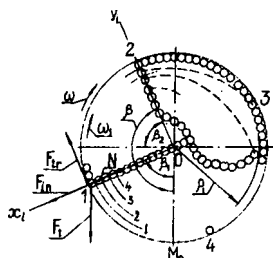


Рис. 2 – Абсолютное и относительное движение структурных элементов

На структурные элементы действуют: сила тяжести $Ft = mg$, направленная вертикально вниз; реакция поверхности N , направленная радиально от точки 1 к центру O ; сила трения $F_{тр} = f N$, направленная по касательной к окружности; сила инерции переносного движения, равная по величине произведению массы m структурных элементов на центростремительное ускорение $\omega^2 \rho_1$, и, так как переносное движение – равномерное вращение, то направлена эта сила в сторону, обратную нормальному ускорению.

Сумма проекций сил на оси подвижной системы координат: на ось x_i ; $m\omega^2 \rho_1 - N + mg \cos \omega t = 0$. На ось y_i ; $F_{тр} - mg \sin \omega t = 0$.

Из первого уравнения определяем величину нормальной силы N :

$$N = m(\omega^2 \rho_1 + g \cos \omega t) = mg(\omega^2 \rho_1 / g + \cos \omega t). \quad (1)$$

Подставив значение N во второе уравнение, заменив $F_{тр} = fN = N \operatorname{tg} \varphi$, получим $N \operatorname{tg} \varphi - mg \sin \omega t = 0$.

Из уравнения (1) следует, чтобы выполнялось условие $\omega_1 = \omega$, необходимо $(\omega^2 \rho_1 + g \cos \omega t) \operatorname{tg} \varphi \geq g \sin \omega t$.

Преобразовав неравенство, получим

$$\omega^2 \rho_1 \operatorname{tg} \varphi \geq g(\sin \omega t - \cos \omega t \cdot \operatorname{tg} \omega \varphi) = g(\sin \omega t \cdot \cos \varphi - \cos \omega t \cdot \sin \varphi) / \cos \varphi$$

или $k \sin \varphi \geq \sin(\omega t - \varphi), \quad (2)$

где $k = \omega^2 \rho_1 / g$ – кинематический параметр, характеризующий режим движения структурных элементов структурного тела.

Выражения (1) и (2) определяют условие относительного покоя структурных элементов на вращающейся поверхности в сечении, когда

$$N = mg(k + \cos \omega t) > 0,$$

следовательно, центростремительное ускорение $\omega^2 \rho_1$ больше ускорения g силы тяжести, соответственно, коэффициент $k > 1$.

Выражение (2), где $k = \omega^2 \rho_1 / g$ определяет условие, при котором структурные элементы 1-го слоя, находясь на поверхности окружности ρ_1 , не скользят по ней, а движутся совместно. В этой зависимости переменной является время t и для режима движения по окружности, которая может принадлежать как конусу, так и цилиндру с постоянными величинами k , ρ_1 , φ . Поэтому левая часть неравенства (2) постоянна, правая увеличивается со временем. По истечении некоторого времени t обе части сравняются, тогда $t = t_1$, а при $t > t_1$ условие (2) нарушится и с этого момента начнется относительное движение

(скольжение). Предельное значение относительного покоя определяется равенством $\sin(\beta - \varphi) = k \sin \varphi$, где $\beta = \omega t_1$ – угол наибольшего подъёма структурных элементов без скольжения, точка 2.

Элементарными преобразованиями можно показать, что предельный угол равен $\beta = \varphi + \pi/2$, то есть в точке 2 начнётся скольжение 1-го слоя относительно поверхности вращения (во втором квадранте), если тело вращения – цилиндр. В нашем случае k, ρ_1, φ являются переменными величинами и структурное тело может иметь другие геометрические параметры. Но несмотря на начало скольжения при новом параметре k , 1-ый слой не потеряет контакт с поверхностью вращения.

Рассмотрим условие, когда взаимодействуют 1-й и 2-ой слои, то есть изменится радиус вращения ρ . Относительное движение (скольжение) при абсолютном подъёме структурных элементов (рисунок 3).

Структурные элементы 2-го слоя в начальный момент времени, как и 1-го слоя, находясь в точке M_0 , будут в состоянии относительного покоя, двигаясь совместно. В некоторой точке 1, которая определяется углом β_1 , происходит переход от относительного покоя 2-го слоя к скольжению. Угловая скорость ω_2 уменьшается по отношению к 1-му слою $\omega_2 < \omega_1 = \omega$. Точка 1, которая определяется углом β_1 , соответствует моменту начала скольжения. Очевидно, что в абсолютном и относительном движении траекторией структурных элементов остаётся окружность радиуса ρ_2 . Рассмотрим фазу относительного скольжения 2-го слоя структурных элементов при абсолютном их движении совместно с 1-м слоем (рисунок 3, а).

Структурные элементы в момент времени, следующем после начала скольжения, когда реакция $N > 0$ и структурные элементы остаются на поверхности 1-го слоя. В абсолютном и относительном движении траекторией структурных элементов будет окружность радиуса ρ_2 . Положение структурных элементов определяем относительно подвижных координат $x_i O y_i$, вращающихся совместно с 1-м слоем с угловой скоростью $\omega = \omega_1$.

Движение структурных элементов относительно 1-го слоя исследуем тем же способом, как и абсолютное, если к действующим силам прибавим две новые силы: инерции от переносного движения и силу инерции от поворотного ускорения.

Сила инерции от переносного движения была определена ранее и выражалась величиной $m\omega^2\rho_2$, направлена от центра. Сила инерции от поворотного ускорения, как известно, определяется величиной $2m\omega_2 v \sin \theta$, а направление её будет прямо противоположно направлению поворотного ускорения.

Для построения поворотного ускорения надо через рассматриваемую точку провести плоскость перпендикулярную к оси вращения, спроектировать на эту плоскость относительную скорость v , полученный вектор умножить на $2\omega_2$ и повернуть на 90° в сторону вращения (рисунок 3, б).

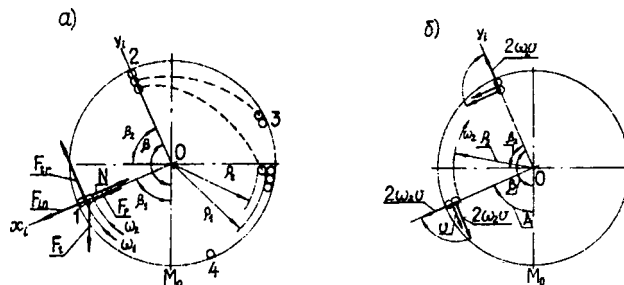


Рис. 3 - Схема сил при относительном движении и поворотном ускорении

В данном случае относительная скорость v находится в плоскости перпендикулярной к оси вращения точки (траектории), поэтому угол $\theta = \pi/2$. Величина поворотного ускорения будет $2\omega_2 v$ и направлена вдоль радиуса от центра вращения. Сила инерции от этого ускорения направлена в противоположную сторону, то есть к центру. В системе подвижных координат структурные элементы скользят по поверхности вращения с линейной скоростью $v = \omega_2 \rho_2$ по касательной к точке 2 окружности в сторону противоположную вращению. Угловая скорость ω_2 будет уменьшаться со временем.

В момент времени, когда структурный элемент находится в точке 2, его относительное движение будет определяться: составляющей относительного ускорения $d^2 y_i / dt^2$ вдоль оси Oy_i к центру и представляет собой относительное центростремительное ускорение, которое выражается $\omega_2^2 \rho_2$; составляющей относительного ускорения $d^2 x_i / dt^2$ вдоль оси Ox_i , которое направлено по касательной и является тангенциальным ускорением, выражаемым величиной $\rho_2 d\omega_2 / dt$.

Следовательно, составляющие относительного ускорения можно представить: $d^2y_i / dt^2 = -m\omega_2^2 \rho_2$; $d^2x_i / dt^2 = -\rho_2 d\omega_2 / dt$. Спроектируем силы на оси подвижных координат и получим уравнения относительного движения структурных элементов

$$m \frac{d^2y_i}{dt^2} = -m\omega_2^2 \rho_2 = mg \cos \beta_2 - N + m\omega^2 \rho_2 - 2m\omega\omega_2 \rho_2, \quad (3)$$

$$m \frac{d^2x_i}{dt^2} = -m\rho_2 \frac{d\omega_2}{dt} = -mg \sin \beta_2 + fN \quad (4)$$

Из (3) находим реакцию N структурных элементов 1-го слоя

$$N = mg \cdot \cos \beta_2 + m(\omega^2 \rho_2 - 2m\omega\omega_2 \rho_2 + \omega_2^2 \rho_2) = \\ = m[g \cos \beta_2 + (\omega - \omega_2)^2 \rho_2] \quad (5)$$

Второе слагаемое в квадратных скобках формулы (5) всегда положительное или равно нулю, а первое слагаемое всегда положительное при условии, что $\beta_2 < \pi/2$. Поэтому, если структурные элементы скользят по поверхности 1-го слоя, определяемого углом $\beta_2 < \pi/2$, то реакция N поверхности всегда положительна, и структурный элемент 2-го слоя не оторвётся от 1-го при любых угловых скоростях ω и ω_2 .

Реакция N обращается в нуль, когда $(\omega - \omega_2)^2 = -g \cos \beta_2 / \rho_2$, что возможно, если $\beta_2 > \pi/2$. Выражение $(\omega - \omega_2)$ в левой части равенства: алгебраическая сумма переносной ω и относительной ω_2 угловых скоростей относительно оси конуса, поэтому эта сумма представляет собой абсолютную скорость структурных элементов.

Обозначим абсолютную скорость через $\Omega_2 = \omega - \omega_2$, а угол β_2 – через β , когда $N = 0$. В этом случае произойдёт отрыв структурного элемента 2-го слоя, соответственно будет $\Omega_2^2 = -g \cos \beta / \rho_2$ (6) и это произойдёт во втором квадранте. Так как структурный элемент находится во втором квадранте, то обозначим $\beta = \pi/2 + \beta_2$. Тогда выражение (6) абсолютной скорости запишется в виде $\Omega_2^2 = g \sin \beta_2 / \rho_2$ или $\Omega_2 = \sqrt{g \sin \beta_2 / \rho_2}$. Из анализа формулы следует, что при $\beta_2 = 0$, угловые скорости равны: $\omega = \omega_1 = \omega_2$.

Если же $\beta_2 > 0$, то в момент отрыва структурного элемента $\Omega_2^2 = \sqrt{g \sin \beta_2 / \rho_2} > 0$ тогда и $\omega > \omega_2$.

Проанализировав выражения (5) и (6), можно будет видеть, что отрыв структурных элементов 2-го слоя от 1-го слоя происходит при абсолютном их движении вверх.

Преобразовав уравнение (4), после подстановки величины силы N из уравнения (3) и, заменив $\beta = \pi/2 + \beta_2$, получим его приведенным к виду

$$-m\rho_2 d\omega_2 / dt = -m[g \cos \beta_2 - \text{tg} \varphi (\Omega_2^2 \rho_2 - g \sin \beta_2)].$$

Сократив на $-m$ обе части и, преобразовав выражение в квадратных скобках, имеющие множителем g , получим

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{g \cos(\beta_2 - \varphi)}{\rho_2 \cos \varphi} - \Omega_2^2 \text{tg} \varphi \quad (7)$$

Продифференцируем выражения по времени $\Omega = \omega - \omega_2$ и $\beta = \pi/2 + \beta_2$ получим

$$d\Omega / dt = -d\omega_2 / dt \quad (1') \quad \text{и} \quad d\beta / dt = d\beta_2 / dt = \Omega. \quad (2')$$

Продифференцировав выражение (2') ещё раз, получим

$$\frac{d^2\beta}{dt^2} = \frac{d^2\beta_2}{dt^2} = \frac{d\Omega}{dt} \quad (3')$$

Сравнив равенства (1') и (3') видим, что

$$d\omega_2 / dt = -d^2\beta_2 / dt^2. \quad (4')$$

Подставив в преобразованное уравнение (7) значения $d\omega/dt$ и Ω согласно формулам (4') и (2'), получим

$$-\frac{d^2\beta_2}{dt^2} = \frac{g \cos(\beta_2 - \varphi)}{\rho_2 \cos \varphi} - \left(\frac{d\beta_2}{dt}\right)^2 \operatorname{tg} \varphi \text{ или } \beta_2'' - (\beta_2')^2 \operatorname{tg} \varphi + \frac{g \cos(\beta_2 - \varphi)}{\rho_2 \cos \varphi} = 0. \quad (8)$$

Это дифференциальное уравнение второго порядка, особенность которого в том, что в нём отсутствует независимое переменное t .

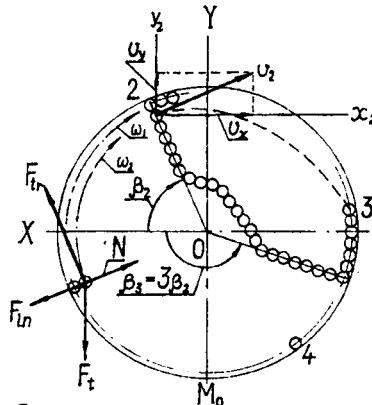


Рис. 4 - Схема свободного движения структурного элемента.

Это обстоятельство позволяет снизить порядок уравнения на единицу и в результате интегрирования получить

$$\Omega^2 = \left[\omega^2 + \frac{2g \cos \varepsilon}{\rho_2 \cos \varphi} \sin \frac{2g \cos \varepsilon}{\rho_2 \cos \varphi} \sin(\beta_2 - \varphi - \varepsilon) \right] e^{2(\beta_2 - \beta_1) \operatorname{tg} \varphi} - \frac{2g \cos \varepsilon}{\rho_2 \cos \varphi} \sin(\beta_2 - \varphi - \varepsilon)$$

Это выражение определяет абсолютную угловую скорость движения структурных элементов 2-го слоя с учётом скольжения их по 1-му слою, вращающимся совместно с конусом, в зависимости от положения их на поверхности 1-го слоя, место которого определяет переменный угол β_1 .

Когда структурные элементы будут занимать положение, определяемое углом β_2 , будет происходить отрыв их от 1-го слоя. Этот момент согласно формуле $\Omega_2^2 = g \sin \beta_2 / \rho_2$ характерен тем, что Ω_2 является их абсолютной угловой скоростью.

Приравняв значение Ω_2^2 к Ω^2 из последней зависимости, получим уравнение, определяющее угол β_2 отрыва структурных элементов 2-го слоя

$$\sin(\beta_2 - \varepsilon) = \cos \varepsilon / 3 [k - 2 \sqrt{1 + (1 - k^2)} \operatorname{tg}^2 \varphi] e^{2(\beta_2 - \beta_1) \operatorname{tg} \varphi},$$

где $\operatorname{tg} \varepsilon = 2 \operatorname{tg} \varphi$.

С этого момента начинается фаза свободного движения структурных элементов. Для 3, 4... n слоёв угол отрыва структурных элементов будет уменьшаться в связи с уменьшением их радиусов окружностей и угловых скоростей, а для 2-го слоя структурный элемент, обладая линейной скоростью $v_2 = \Omega_2 \rho_2$, по касательной к окружности радиуса ρ_2 , движется свободно, как тело брошенное под углом $90^\circ - \beta_2$ к горизонту (рисунок 4). Подставив значение угловой скорости $\Omega_2 = v_2 / \rho_2$, в ранее выведенную формулу $\Omega_2 = \sqrt{g \sin \beta_2 / \rho_2}$, получим $v_2 = \sqrt{g \rho_2 \sin \beta_2}$.

Уравнение траектории свободного движения в системе координат $x_2 y_2$ выразится через проекции скоростей на оси $2x_2$ и $2y_2$ для некоторого времени t : $x_2 = v_2 t \sin \beta_2$ и $y_2 = v_2 t \cos \beta_2 - g t^2 / 2$. Исключив параметр времени t , получим $y_2 = x_2 (2 \sin^2 \beta_2 \cos \beta_2 - x_2 / \rho_2) / 2 \sin^2 \beta_2$.

Перейдём от осей координат $x_2 y_2$ к координатам XOY с помощью формул перехода: $x_2 = \rho_2 \cos \beta_2 - X$ и $y_2 = Y - \rho_2 \sin \beta_2$ получим

$$Y / \rho_2 - \sin \beta_2 = (\cos \beta_2 - X / \rho_2) (X / \rho_2 - \cos \beta_2 \cos 2\beta_2) / 2 \sin^2 \beta_2.$$

Если решить это уравнение совместно с уравнением окружности

$(X / \rho_2)^2 + (Y / \rho_2)^2 = 1$, получим общие точки 2, а другой – 3 с координатами X_3 и Y_3 , где структурные элементы снова встречаются с 1-ым слоем. Решение: $X_3 = \rho_2 \cos(-3\beta_2) = \rho_2 \cos\beta_3$ и $Y_3 = \rho_2 \sin(-3\beta_2) = \rho_2 \sin\beta_3$, отсюда $\beta_3 = -3\beta_2$. Угол β_3 отсчитывается от горизонтального диаметра в обратную сторону вращения.

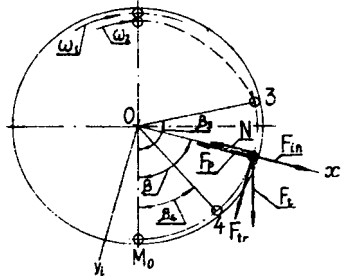


Рис. 5 – Переносное и относительное движение элемента в 4-м квадранте

Скорость падения структурного элемента на поверхность 2-го слоя в точке 3 будет $v_3 = \Omega_2 \rho_2 \sqrt{5 + 4 \cos 2\beta_2}$. Положение этой точки определяется углом $\beta_3 = 3\beta_2 - \pi/2$, а угловая скорость Ω_3 будет начальной для последующего движения 2-го слоя. Пусть в момент времени t , после соприкосновения 2-го слоя с 1-м слоем, эта точка находится в промежутке между точками 3 и 4. Действующие силы показаны на рисунке 5. Поместив в эту точку подвижные координаты, можно приемом, выполненным ранее, составить дифференциальное уравнение $\beta'' + (\beta')^2 \operatorname{tg} \varphi + \frac{g \sin(\beta + \varphi)}{\rho_1 \cos \varphi} = 0$.

По аналогии, интеграл этого уравнения будет:

$$\Omega^2 = \left[\Omega_3^2 - 2 \frac{g \cos \varepsilon}{\rho_1 \cos \varphi} \cos(\beta_3 + \varphi + \varepsilon) \right] e^{2(\beta_2 - \beta_1) \operatorname{tg} \varphi} + 2 \frac{g \cos \varepsilon}{\rho_1 \cos \varphi} \cos(\beta + \varphi + \varepsilon).$$

По мере уменьшения угла β , абсолютная скорость Ω второго слоя будет увеличиваться до сравнения с первым слоем и, соответственно, $\omega_1 = \omega$. Последнее уравнение можно представить параметром k вращения поверхности, например, усеченный конус:

$$k = \left[\frac{\Omega_3^2 \rho_1}{g} - 2 \frac{\cos \varepsilon}{\cos \varphi} \cos(\beta_3 + \varphi + \varepsilon) \right] e^{2(\beta_2 - \beta_4) \operatorname{tg} \varphi} + 2 \frac{\cos \varepsilon}{\cos \varphi} \cos(\beta_4 + \varphi + \varepsilon).$$

Абсолютная угловая скорость элемента определяется выражением: $\Omega_3 = \Omega_2 \sqrt{5 + 4 \cos 2\beta_2} \sin(3\beta_2 + \psi_1 - \pi)$.

Здесь имеем три переменные величины k , β_2 и φ . Если принять k за независимое переменное, то будем иметь две других величины в форме функции величины k : $\beta_2 = \beta_2(k)$ и $\varphi = \varphi(k)$ [4,5,6].

Таким образом, получены уравнения движения структурных элементов структурного тела, когда они перемещаются в плоскости окружности перпендикулярной к оси конуса правее сечения 1 – 1, решить в общем виде невозможно. Применительно к частным значениям угла трения φ они решаются в форме таблиц и графиков графоаналитическим методом. Например, функция $\varphi = \varphi(k)$ с значениями k от 4,0 до 1,0 в границах угла φ от 1 до 60° и функции $\beta_2 = \beta_2(k)$ в границах угла β_2 от 60° до 35° (рисунок 6).

Моделирование движения структурного (сыпучего) тела показало, что под воздействием сил гравитации происходит расслаивание его таким образом, что структурное тело удерживается на внутренней вращающейся поверхности с окружностью радиусом ρ_{\min} , переходя последовательно на окружности большего диаметра, пока не установится слой толщиной $\delta \rho$. Структурные элементы наибольшей окружности должны иметь контакт друг с другом. Это является условием ограничения высоты усеченного конуса.

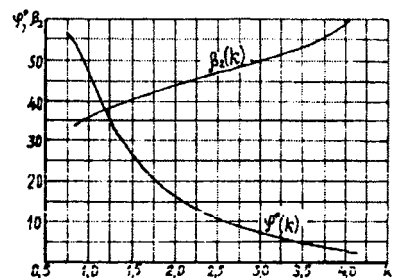


Рис. 6 - График значений функций $\varphi = \varphi(k)$ и $\beta_2 = \beta_2(k)$

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровский Г.И. Центробежное моделирование в строительном деле. // Покровский Г.И., Фёдоров И.С.. – М.: Стройиздат. – 1968. – 247с. 2. Юдин С.Б.. Центробежное литьё. // Юдин С.Б., Левин М.М., Розенфельд С.Е.. – М.:Машиностроение. – 1972. – 279с. 3. Жданович Г.М. Сопротивление порошковых материалов //Г.М. Жданович. – Минск, БГПА. – 1999. – 340 с. 4. Хайкин С.Э. Физические основы механики // Хайкин С.Э.. – М.: Наука. – 1971. – 751с. 5. Математическая энциклопедия. Под ред. Виноградова И.М. // М.: Советская энциклопедия. – Т.2.– 1979.– С.575-583, Т.5.– 1985. – С.435-446. 6. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений // Градштейн И.С., Рыжик И.М.. – М.: Наука. – 1971. – 1108 с. 7. Протасеня М.Л. Способ и устройство для рассева сыпучих материалов по поверхности поля. Патент 6659 РБ // Протасеня М.Л., Ларченков Л.В.. – Минск.– 2004.– 5с.

УДК 621.941

Ларченков Л.В., Протасеня О.Н., Протасеня М.Л., Протасеня И.О.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СТРУКТУРНОГО ТЕЛА

СИЛАМИ ГРАВИТАЦИИ. 2-АЯ ЧАСТЬ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В статье приведено описание моделирования движения структурных элементов структурного (сыпучего) тела по внутренней конической поверхности и, на основании полученных уравнений, приведен расчёт геометрических параметров конуса.

Для выявления связи между основными параметрами технического устройства для рассева структурных (сыпучих) тел и движением этого тела по вращающейся конической поверхности, рассмотрим последовательно движение слоя структурных элементов

структурного тела, непосредственно соприкасающихся с поверхностью конуса. Высота конуса ограничивается исходя из условия, что все структурные элементы структурного тела находятся на той его окружности, где они плотно соприкасаются друг с другом.

Коническая поверхность образуется линией SE , расположенной под углом β к плоскости $хоу$ и совершающей равномерное вращательное движение относительно оси $оз$. По этой конической поверхности движутся все структурные элементы структурного тела массой dm (рис. 1).

Обозначив в некоторой точке M конической поверхности относительную линейную скорость структурного элемента через u , покажем, что все структурные элементы движутся со скольжением по спирали согласно кинематическому параметру $k = \omega^2 r_i / g$. Каждый структурный элемент находится под воздействием сил: тяжести F_t , инерции (центробежной) F_{in} , нормальной реакции поверхности конуса N и силы трения F_{tr} .

Выделим четверть конической поверхности, ограниченной по высоте конуса, имеющей наибольший радиус r_i (рисунок 2). Структурный элемент движется по винтовой линии SM , характеризующийся тем, что в данный момент времени расстояние от точки M до оси конуса остаётся постоянным, равным r_i . Положение образующей конуса MD будет определяться постоянным углом β к горизонтальной плоскости $хоу$. В некоторый момент времени структурный элемент проходит по своей траектории точку M , расположенную в вертикальной плоскости $хоз$. Касательная плоскость, проведенная через точку M винтовой. Для выявления связи между основными параметрами технического устройства для рассева структурных (сыпучих) тел и движением этого тела по вращающейся конической поверхности, рассмотрим последовательно движение слоя структурных элементов структурного тела, непосредственно соприкасающихся с поверхностью конуса. Высота конуса ограничивается исходя из условия, что все структурные элементы структурного тела находятся на той его окружности, где они плотно соприкасаются друг с другом.

Коническая поверхность образуется линией SE , расположенной под углом β к плоскости $хоу$ и совершающей равномерное вращательное движение относительно оси $оз$. По этой конической поверхности движутся все структурные элементы структурного тела массой dm (рис. 1).