

В.М. Павловец, А.В. Герасимук

Сибирский государственный индустриальный университет

РАСЧЕТ РЕЖИМА ПЕРЕКАТА ЗАРОДЫШЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОКАТЫШЕЙ, ОСНОВАННОЙ НА ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИИ

Получение сырых окатышей на тарельчатом окомкователе по технологии принудительного зародышеобразования включает две основные стадии: формирование зародышей по форме, близкой к кубу, и создание оболочки окатышей доокомкованием их в рабочей зоне окомкователя [1, 2]. Для доокомкования необходима организация режима переката, который для зародышей кубической формы должен быть реализован на окомкователе с определенными параметрами работы: углом наклона тарели к горизонту и ее частотой вращения. Стабильность режима переката обеспечивается отсутствием скольжения зародыша по шихтовому гарнисажу (ШГ) в процессе работы окомкователя. Поэтому наряду с указанными параметрами можно использовать дополнительный фактор, влияющий на стабильность режима переката и доокомкования зародышей, в качестве которого может быть принят коэффициент трения зародышей о шихтовый гарнисаж. На этот параметр можно воздействовать путем изменения влажности и плотности шихты гарнисажа окомкователя.

Целью настоящей работы является расчет режима переката зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании; анализ сил, действующих на кубический зародыш при его движении на гарнисаже, и определение параметров работы окомкователя.

В процессе вращения окомкователя зародыш удерживается на ШГ силами трения, и в отсутствии скольжения о шихтовый гарнисаж он может подняться на определенную высоту, задаваемую углом θ , находясь на некотором расстоянии от борта тарели.

На зародыш, находящийся в состоянии покоя, действуют силы, побуждающие его к движению (проекция силы тяжести на плоскость ШГ и центробежная сила), и сила, оказывающая сопротивление движению (сила трения). Разновидностью последней является сила трения покоя, которая действует от мо-

мента приложения сил, побуждающих к движению, до начала скольжения зародыша по ШГ. В процессе скольжения сила трения покоя переходит в силу трения скольжения. При граничном случае, когда скольжение зародыша по ШГ еще не началось и все силы скомпенсированы, их векторная сумма равна нулю.

При расположении зародыша у борта вращающейся тарели расстановка сил, действующих на зародыш, меняется, и его скольжение в направлении суммарной силы исключается из-за реакции борта. В связи с этим можно указать две схемы движения зародыша (рис. 1).

Первая схема движения характерна при нахождении зародыша в квадранте I при $\theta < 90^\circ$, когда единственной формой движения зародыша будет его перекат у борта тарели. При этом на него действует сила тяжести, которую целесообразно разложить на две составляющие: силу F_{tY} , действующую параллельно плоскости тарели, и силу F_{tZ} , действующую перпендикулярно плоскости тарели. Центро-

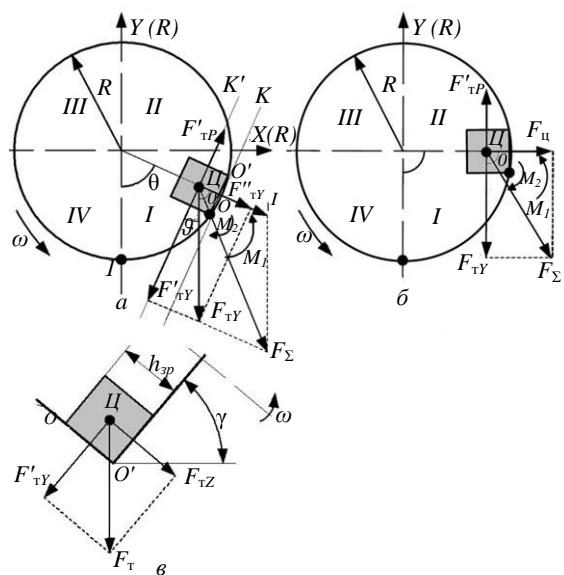


Рис. 1. Схема сил и моментов сил, действующих на зародыш, расположенный у борта тарели окомкователя в квадрантах I (a) и II (b), и при нахождении зародыша в точке I (c)

бежная сила $F_{\text{ц}}$ и сила трения покоя $F_{\text{тр.п}}$ зародыша действуют в направлении, противоположном силе F'_{mY} , поскольку в направлении этой силы, вероятно, будет происходить перекат (рис. 1, а). Вторая схема движения характерна при нахождении зародыша в квадранте II при $\theta > 90^\circ$, при котором происходит его перекат по ШГ тарели (рис. 1, б). Для первой схемы перекат зародыша будет осуществляться по поверхности борта с одновременным скольжением по ШГ, когда угол φ , соответствующий наклону грани OO' к плоскости горизонта, превысит угол θ . При этом угол центра тяжести куба ($Ц$) переместится за границу опоры куба – грань, на которую он опирается на борту. При этом проекция точки $Ц$ центра масс зародыша на горизонтальную плоскость (точка $Ц'$) выйдет за опорную грань.

Если при соответствующих условиях зародыш достигнет второго квадранта тарели ($\theta > 90^\circ$) и будет двигаться по второй схеме, то условие устойчивости зародыша на ШГ выполняется при угле $\varphi < 45^\circ$ (рис. 2, а). Для этой схемы движения имеем $\varphi = \gamma$.

При углах наклона тарели окомкователя к горизонту более 45° условие устойчивости будет нарушено, и зародыш будет перекатываться по ШГ. Это обусловлено тем, что при угле наклона более 45° центр ($Ц$) тяжести зародыша переместится за границу опоры зародыша – грань, на которую он опирается на ШГ. При этом проекция центра тяжести $Ц$ зародыша на горизонтальную плоскость (точка $Ц'$) (рис. 2, б) выйдет за опорную грань.

Для определения условий переката зародыша рассмотрим схему моментов сил, действующих на него. Для обеих схем движения способствовать перекату зародыша будет проекция силы $F_{\text{т}Y}$ на прямую $K' - F'_{\text{т}Y}$ (K' – линия, проведенная через центр тяжести $Ц$ и параллельная касательной K к борту тарели окомкователя), поскольку предполагаемое направление движения в начальной фазе будет вдоль борта тарели.

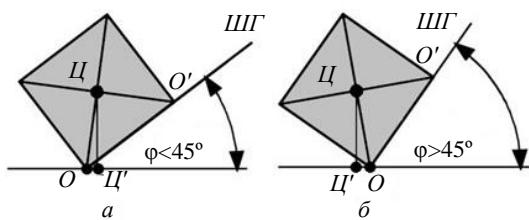


Рис. 2. Условие устойчивости зародыша на шихтовом гарнисаже:
а, б – положение центра тяжести зародыша при различном наклоне ШГ к горизонту

Проекция силы $F_{\text{т}Y}$ определяется по формуле

$$F'_{\text{т}Y} = F_{\text{т}Y} \cos \theta = mg \sin \gamma \sin \theta, \quad (1)$$

где θ – угол между силами $F_{\text{т}Y}$ и $F'_{\text{т}Y}$.

Сила $F'_{\text{т}Y}$ создает врачающий момент относительно опорной грани:

$$M_1 = (mg \sin \gamma \sin \theta) h_{3p} / 2, \quad (2)$$

где h_{3p} – высота зародыша, m – его масса.

Центробежная сила и сила трения создают моменты, противоположные по направлению моменту M_1 :

$$\begin{aligned} M_{F_{\text{ц}}} &= m\omega^2 R h_{3p} / 2 = m(\pi n/30)^2 R h_{3p} / 2; \\ M_{F_{\text{тр.п}}} &= (\mu_{\text{тр.п}} mg \cos \gamma) h_{3p} / 2; \end{aligned} \quad (3)$$

здесь ω – угловая скорость вращающейся тарели; n – частота вращения; $\mu_{\text{тр.п}}$ – коэффициент трения покоя.

Дополнительный момент, противоположный по направлению моменту M_1 , будет создавать проекция силы $F_{\text{т}Y}$, направленная перпендикулярно борту:

$$F''_{\text{т}Y} = (mg \sin \gamma) \cos \theta. \quad (4)$$

Ее момент вычисляется как

$$M_{F''_{\text{т}Y}} = [(mg \sin \gamma) \cos \theta] h_{3p} / 2. \quad (5)$$

Сумма моментов сил определяется по выражению

$$M_2 = M_{F_{\text{ц}}} + M_{F_{\text{тр.п}}} + M_{F''_{\text{т}Y}}. \quad (6)$$

Зародыш начнет перекатываться, когда $M_1 > M_2$. Для определения угла θ , на который должна повернуться тарель, чтобы зародыш начал перекатываться по борту, приравняем эти моменты и составим равенство с учетом формул (2) – (5):

$$\begin{aligned} (mg \sin \gamma \sin \theta) h_{3p} / 2 &= m\omega^2 R h_{3p} / 2 + \\ &+ (\mu_{\text{тр.п}} mg \cos \gamma) h_{3p} / 2 + \\ &+ [(mg \sin \gamma) \cos \theta] h_{3p} / 2. \end{aligned} \quad (7)$$

После преобразований получим

$$g \sin \gamma \sin \theta = \omega^2 R + \mu_{\text{тр.п}} g \cos \gamma + (g \sin \gamma) \cos \theta. \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно угла θ , находим

$$\theta = \pi/2 - \operatorname{arctg} [\{-g\mu_{\text{тр.п}} \cos\gamma - \omega^2 R + (-g^2(\mu_{\text{тр.п}}^2 + 2) \cos\gamma - 2Rg\mu_{\text{тр.п}}\omega^2 \cos\gamma - (\omega^4 R^2 + 2g^2)^{0.5}\}/(2 \sin\gamma)\}]. \quad (9)$$

Расчеты угла θ для тарели радиусом $R = 2,5$ м при заданных значениях коэффициента трения $\mu_{\text{тр.п}}$, угла наклона тарели γ и частоты вращения n представлены в таблице.

Полученные результаты позволяют констатировать, что с ростом коэффициента $\mu_{\text{тр.п}}$ угол θ увеличивается, и перекат зародыша возможен в квадранте II. Если возможности воздействия на режим переката с помощью параметра $\mu_{\text{тр.п}}$ ограничены, то аналогичный эффект дает увеличение частоты вращения тарели, что хорошо согласуется с опытными данными. Если появилась производственная необходимость, то с увеличением угла γ наклона тарели к горизонту, напротив, можно снизить величину угла θ и организовать перекат зародышей в первом квадранте тарели.

Выводы. Выполнен расчет режима переката зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зароды-

шеобразовании; проведен анализ сил, действующих на кубический зародыш при его движении на гарнисаже, что позволило определить параметры работы и расширить технологические возможности тарельчатого окомкователя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Павловец В.М. Исследование теплосиловых режимов напыления влажной шихты, предназначенных для принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 6. С. 9 – 13.
- Павловец В.М. Исследование процесса получения влажных окатышей с использованием принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 15 – 20.

© 2015 г. В.М. Павловец, А.В. Герасимук

Поступила 29 сентября 2015 г.

Результаты расчета угла θ

| γ , градус | Значение угла θ , градус, при частоте вращения n , об/мин | | | | | | | |
|---------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $\mu_{\text{тр.п}} = 0,6$ | | | | | | | | |
| 30 | 30 | 133 | 144 | 153 | 160 | 165 | 170 | 180 |
| 34 | 34 | 58 | 73 | 98 | 125 | 145 | 157 | 164 |
| 38 | 30 | 34 | 42 | 56 | 84 | 120 | 145 | 158 |
| 42 | 21 | 23 | 26 | 31 | 39 | 57 | 91 | 130 |
| 46 | 17 | 18 | 20 | 22 | 26 | 32 | 44 | 71 |
| 50 | 15 | 15 | 16 | 18 | 20 | 23 | 29 | 39 |
| 53 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 20 | 23 | 29 |
| $\mu_{\text{тр.п}} = 0,8$ | | | | | | | | |
| 30 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| 34 | 169 | 171 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| 38 | 154 | 159 | 162 | 166 | 169 | 180 | 180 | 180 |
| 42 | 110 | 124 | 137 | 148 | 156 | 162 | 167 | 172 |
| 46 | 47 | 56 | 71 | 94 | 121 | 141 | 153 | 161 |
| 50 | 28 | 30 | 35 | 43 | 57 | 83 | 116 | 141 |
| 53 | 21 | 23 | 25 | 29 | 36 | 47 | 68 | 104 |
| $\mu_{\text{тр.п}} = 1,0$ | | | | | | | | |
| 30 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| 34 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| 38 | 166 | 168 | 170 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| 42 | 148 | 153 | 158 | 162 | 166 | 169 | 180 | 180 |
| 46 | 90 | 105 | 122 | 138 | 149 | 157 | 163 | 168 |
| 50 | 40 | 46 | 56 | 73 | 99 | 126 | 145 | 156 |
| 53 | 27 | 30 | 34 | 41 | 54 | 77 | 109 | 136 |