

В. М. ЛЮБИМОВ, А. П. КРИВОПЛЯС, канд. техн. наук,
И. И. СТОРИЖКО, канд. техн. наук

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕГРУЗОЧНОГО УЗЛА С УПРАВЛЯЕМОЙ ЗАСЛОНКОЙ

Целью настоящей работы является разработка методики расчета основных параметров перегрузочного узла с управляемой заслонкой, применяемого в линиях транспортировки и пакетирования тарно-штучных грузов пищевых предприятий. Принцип работы узла следующий: штучный груз 1 (см. рисунок) передается с подающего конвейера 2 на отводящий конвейер 3, скользя вдоль опущенной заслонки 4. После полного перехода груза на конвейер 3 срабатывает система автоматического управления, заслонка поднимается и груз отводится из перегрузочного узла.

Исследование работы рассматриваемого узла проведем методом математического моделирования процесса перемещения груза. При этом примем следующие допущения: зазором Δ между конвейерами ввиду его малости можно пренебречь; рабочие поверхности конвейеров расположены на одном уровне, что обеспечивает одновременный контакт груза с лентами обоих конвейеров в процессе перегрузки; давление груза на контактируемые с ним поверхности распределяется равномерно по площади контакта; груз имеет форму параллелепипеда и является относительно жестким телом (например, картонным или деревянным ящиком); коэффициенты трения скольжения между грузом и контактируемыми с ним поверхностями — величины постоянные, определяемые по известному закону Амонтона.

В процессе перемещения на груз действуют силы трения F_1 , F_2 и F_3 . Сила трения F_1 между опорной поверхностью груза и лентой конвейера 2

$$F_1 = mgf_1 \left(1 - \frac{x}{a}\right), \quad (1)$$

Схема перегрузочного вала.

где m — масса груза; f_1 — коэффициент трения скольжения груза о ленту конвейера 2; a — длина груза, м; x — координата, определяющая величину перемещения груза по отводящему конвейеру, м; g — гравитационное ускорение, m/c^2 .

Сила трения F_2 между опорной поверхностью груза 1 и лентой конвейера 3 определяется по формуле

$$F_2 = mgf_2 \frac{x}{a}, \quad (2)$$

где f_2 — коэффициент трения скольжения между опорной поверхностью груза и лентой конвейера 3.

Проекции F_x и F_y силы трения F_2 на оси x и y соответственно равны

$$F_x = F_2 \sin \alpha = F_2 \sin \left(\arctg \frac{\dot{x}}{v_2} \right) = mgf_2 \frac{x}{a} \frac{\dot{x}}{v_2} \left[1 + \left(\frac{\dot{x}}{v_2} \right)^2 \right]^{-0,5}; \quad (3)$$

$$F_y = F_2 \cos \alpha = F_2 \cos \left(\arctg \frac{\dot{x}}{v_2} \right) = mgf_2 \frac{x}{a} \left[1 + \left(\frac{\dot{x}}{v_2} \right)^2 \right]^{-0,5}, \quad (4)$$

где x — скорость движения груза, м/с; v_2 — скорость движения ленты конвейера 3, м/с.

Сила трения F_3 между боковой поверхностью груза и заслонкой может быть найдена из уравнения

$$F_3 = F_y f_3 = mgf_2 f_3 \frac{x}{a} \left[1 + \left(\frac{\dot{x}}{v_2} \right)^2 \right]^{-0,5}, \quad (5)$$

где f_3 — коэффициент трения груза о поверхность заслонки.

Сила трения F_1 является движущей силой, а силы F_x и F_3 препятствуют перемещению груза.

Процесс передачи груза с конвейера 2 на конвейер 3 расчленим на три этапа. На первом этапе груз движется со скоростью $\dot{x} = v_1$ ленты подающего конвейера 2 до начала проскальзывания этой ленты под опорной поверхностью груза. Условие начала проскальзывания ленты конвейера 2 под грузом, характеризующее окончание первого этапа, запишется в виде

$$F_{1c} = F_x + F_3. \quad (6)$$

Сила сцепления F_{1c} груза с лентой конвейера 2 равна

$$F_{1c} = mgf_{1c} \left(1 - \frac{x}{a} \right), \quad (7)$$

где f_{1c} — коэффициент сцепления груза с лентой конвейера 2.

Подставляя в равенство (6) значение сил F_{1c} , F_x и F_3 , находим длину пути x_1 , пройденного по ленте конвейера 3 на первом этапе движения

$$x_1 = af_{1c} / f_2 (v_1 + f_3 v_2) (v_1^2 + v_2^2)^{-0,5} + f_{1c} l. \quad (8)$$

Время τ_1 первого этапа движения груза составит

$$\tau_1 = \frac{x_1}{v_1}. \quad (9)$$

Второй этап характеризуется скольжением груза одновременно по лентам конвейеров 2 и 3. Движение груза на этом этапе является замедленным и описывается уравнением

$$m\ddot{x} = F_1 - F_x - F_3. \quad (10)$$

Подставив в уравнение (10) значения сил трения из формул (3), (4) и (7), после преобразований получим

$$\ddot{x} = gf_1 \left(1 - \frac{x}{a} \right) - gf_2 \frac{x}{a} \left(\frac{\dot{x}}{v_2} + f_3 \right) \left(1 + \frac{\dot{x}^2}{v_2^2} \right)^{-0,5}. \quad (11)$$

Нелинейное дифференциальное уравнение (11) аналитическому решению не поддается.

С целью упрощения полученной математической модели заменим нелинейную часть уравнения (11) ее усредненным значением A_1 , определяемым по формуле

$$A_1 = \frac{1}{v_1} \int_0^{v_1} (f_3 v_2 + \dot{x}) (v_2^2 + \dot{x}^2)^{-0,5} dx. \quad (12)$$

Введем обозначения

$$gf_1 = B; \quad \frac{g}{a} (f_1 + f_2 A_1) = C. \quad (13)$$

С учетом обозначений (12) и (13) уравнение (11) можно преобразовать к виду

$$x + Cx = B. \quad (14)$$

Решая уравнение (14) при начальных условиях

$$t = 0; \quad x = 0; \quad \dot{x} = v_1, \quad (15)$$

определяем законы изменения перемещения x и скорости \dot{x} как функций времени на втором этапе движения

$$x = -\frac{B}{C} \cos(\sqrt{C}t) + \frac{v_1}{\sqrt{C}} \sin(\sqrt{C}t) + \frac{B}{C}; \quad (16)$$

$$\dot{x} = \frac{B}{\sqrt{C}} \sin(\sqrt{C}t) + v_1 \cos(\sqrt{C}t). \quad (17)$$

Окончание второго этапа движения характеризуется условиями

$$t = \tau_2; \quad x = x_2 = (a - x_1); \quad \dot{x} = \dot{x}_2. \quad (18)$$

Подставив последние в формулу (16), определим время движения груза на втором этапе

$$\tau_2 = \frac{2}{\sqrt{C}} \arctg \left[\frac{-v_1 \pm \sqrt{v_1^2 + (a - x_1) [2B - C(a - x_1)]}}{2 \frac{B}{\sqrt{C}} - \sqrt{C}(a - x_1)} \right]. \quad (19)$$

Третий этап движения наступает после перехода груза на конвейер 2 и характеризуется движением груза в пределах ширины ленты до полной остановки. Уравнение движения груза на этом этапе имеет вид

$$m\ddot{x} = -F_x - F_3. \quad (20)$$

После подстановки E_x и E_3 из выражений (3) и (5) получим

$$\ddot{x} = -gf_2 (v_3 f_3 + \dot{x}) (v_2^2 + \dot{x}^2)^{-0,5}. \quad (21)$$

Упростив уравнение (21) таким же образом, как и уравнение (11), и решив его упрощенный вариант при начальных условиях

$$t = 0; x = a; \dot{x} = \dot{x}_2, \quad (22)$$

найдем

$$x = 0,5gf_2A_2t^2 + \dot{x}_2t + a; \quad (23)$$

$$\dot{x} = gf_2A_2t + \dot{x}_2, \quad (24)$$

где A_2 — усредненное значение нелинейной части уравнения (21), определяемое по формуле (12) после подстановки в нее вместо v_1 значения \dot{x}_2 ; \dot{x}_2 — скорость груза в момент окончания второго этапа, определяемая по формуле (17) после подстановки в нее значения τ_2 .

В конце третьего этапа $\dot{x} = 0$ и груз останавливается. Подставив $\dot{x} = 0$ в уравнение (24), определяем время τ_3 движения груза на третьем этапе

$$\tau_3 = \frac{\dot{x}_2}{gf_2A_2}. \quad (25)$$

Длина перемещения груза x_3 на третьем этапе определится по формуле (23) после подстановки в нее значения $t = \tau_3$.

Суммарное время T передачи груза на отводящий конвейер

$$T = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3. \quad (26)$$

Время подъема (поворота) заслонки τ_3 незначительно и им можно пренебречь. Время τ_0 , необходимое для отвода груза из узла перегрузки при поднятой заслонке 4,

$$\tau_0 = \frac{b - S}{v_2} + \frac{v_2}{gf_2}, \quad (27)$$

где b — ширина груза, м; S — длина пути разгона груза до скорости v_2 отводящего конвейера, м.

Длину пути разгона груза определяем по формуле

$$S = 0,5gf_2t^2, \quad (28)$$

где время разгона находим из выражения

$$t = \frac{v_2}{gf_2}. \quad (29)$$

Зависимости (28) и (29) найдены из решения дифференциального уравнения, описывающего разгон груза до скорости v_2 силой трения F_2 , которое ввиду простоты здесь не приводится.

Временной интервал τ_{II} подачи грузов к узлу перегрузки, удовлетворяющий условию

$$\tau_{II} \geq T + \tau_0, \quad (30)$$

рассчитывается по формуле

$$\tau_{II} = \frac{l}{v_1}, \quad (31)$$

где l — шаг между грузами, м.

Шаг 1 рассчитывается по заданной производительности конвейерной системы и принятой скорости ленты v_1 подающего конвейера по формуле (1).

В случае невыполнения условия (30) произойдет затор грузов. Чтобы исключить возможность этого явления, необходимо увеличить v_2 или уменьшить f_2 и f_3 .

Полученные в результате проведенного исследования формулы позволяют расчетным путем определить основные параметры узла перегрузки: v_1 , v_2 , T , τ_0 , x_1 , x_2 , x_3 , \dot{x}_2 при заданных параметрах груза a , b и известных коэффициентах трения f_1 , f_2 и f_3 .

При расчете параметров перегрузочного узла необходимо обеспечить следующее условие «независания» груза между конвейерами: $x_1 + x_2 \geq a$.

Для оценки ошибки, внесенной упрощением уравнений (11) и (21), был проведен расчет параметров узла перегрузки на ЭВМ «Наири» по точным формулам для различных типоразмеров грузов и при разных значениях параметров v_1 , v_2 , f_1 , f_2 и f_3 . Расхождение результатов по точным и приближенным формулам не превышало 11% при изменении значений скоростей в диапазоне от 0,2 до 1,5 м/с и изменении коэффициентов трения в пределах от 0,1 до 0,4.

Результаты проведенного исследования позволяют расчетным путем определить оптимальные параметры перегрузочных устройств рассмотренного типа для конвейерных систем пищевых предприятий, транспортирующих готовую продукцию в деревянных, картонных ящиках, бумажных мешках и т. п.

Список литературы

Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Транспортирующие машины. М., Машиностроение, 1968.

Поступила в редколлегию 23.04.79.