

УДК 621.867.531.3.31

ДИНАМИКА ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ ГРУЗА КОВШОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ В ТЕОРИИ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА

Попов Ю.А.

Научный руководитель – доцент Дьяконова В.Я.

Сибирский федеральный университет

Элеваторы – машины непрерывного транспорта, перемещающие материалы в вертикальном направлении или близком к нему. Элеваторы широко применяют для подачи насыпных грузов (песка, щебня, цемента) в высокорасположенные расходные бункеры технологических установок или хранилищ. Элеватор ковшовый состоит из бесконечной ленты (каната или цепи), огибающей приводные и натяжные элементы (звездочки). К бесконечной ленте (цепи или канату) крепят грузонесущие элементы: ковши, полки, люльки.

Элеваторы с сомкнутыми ковшами предназначены для подъема крупнокусковых и абразивных грузов, свойства которых ухудшаются при дроблении. Загрузка ковшей этих элеваторов осуществляется зачерпыванием груза, просыпающегося в значительном количестве в башмак из-за наличия промежутков между ковшами (рис. 1).

При работе ковшовых элеваторов происходит присоединение к несущему органу и отсоединение от него масс перемещаемого груза. Вследствие этого, согласно законам динамики переменной массы, могут появиться реактивные силы, зависящие от скорости рабочего органа и интенсивности изменения масс. Особенно это актуально в связи с общей тенденцией увеличения рабочих скоростей и производительности современных машин.

В общем случае поступательное движение тягового органа конвейера с грузом описывается дифференциальным уравнением В.Г. Мещерского:

$$m \frac{dV}{dt} = F - W + \frac{dm_1}{dt} \cdot V_1 - \frac{dm_2}{dt} \cdot V_2, \quad (1)$$

где m - текущее значение движущихся масс конвейера с грузом;

V - скорость конвейера;

t - время;

F - сила тяги;

W - суммарное сопротивление от сил трения и подъема груза (без учета сопротивления в пунктах загрузки);

$\frac{dm_1}{dt}$ – секундное количество присоединяемой массы груза (подаваемой на конвейер);

$\frac{dm_2}{dt}$ – секундное количество отделяемой массы груза (сбрасываемой с конвейера);

V_1 и V_2 - проекции относительной скорости соответственно присоединяемой и отделяемой массы на направление скорости конвейера.

Третье и четвертое слагаемое правой части уравнения (1) являются реактивными силами, обусловленными лишь процессом присоединения и отделения масс. Обозначим их следующим образом:

$\Phi_1 = \frac{dm_1}{dt} \cdot V_1$ – реактивная сила присоединяемой массы;

$\Phi_2 = \frac{dm_2}{dt} \cdot V_2$ – реактивная сила отделяемой массы.

В общем случае каждая из этих сил в зависимости от численного значения и знака относительной скорости V_1 и V_2 является дополнительной силой сопротивления и дополнительной силой тяги, а также может равняться нулю. Если в уравнении (1) перед силой будет стоять знак минус, то эта сила является сопротивлением, в противном случае, дополнительной силой тяги (направление в сторону F). В качестве практического использования уравнения В.Г.Мещерского в инженерных расчетах, рассмотрим процесс подачи груза в ковши элеватора методом насыпания (рис.1).

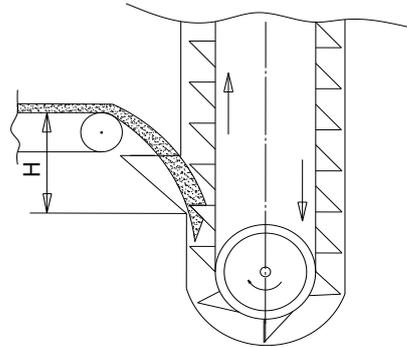


Рисунок 1. Узел загрузки ковшового элеватора

Возникающее в этом случае сопротивление определяем:

$$W_3 = K_3 \cdot q_2 = \frac{K_3 Q}{3,6 \cdot V} H, \quad (2)$$

где $K_3 = 20 \div 50 \frac{H \cdot м}{кг}$ – удельная работа зачерпывания (по Ганфштенгелю);

q_2 – вес груза в Н на погонном метре элеватора;

Q – производительность, $\frac{H}{час}$;

V – скорость цепей элеватора $\frac{м}{с}$.

В данном случае расчет по формуле (2) неточен, т.к. значение K_3 было определено Ганфштенгелем опытным путем только для случая зачерпывания груза расставленными ковшами из башмака. В рассматриваемом случае груз поступает в ковши непосредственным насыпанием, и незначительная часть его попадает в башмак, затем из башмака зачерпывается ковшами.

При поступлении груза в ковш только насыпанием, соответствующее сопротивление определяется по Мещерскому:

$$\Phi_1 = \frac{dm_1}{dt} \cdot V_1 = \frac{Q \cdot V_1}{3,6 \cdot g} H,$$

где g – ускорение силы тяжести.

С учетом того, что в насыпных элеваторах часть груза все же зачерпывается из башмака, то общее сопротивление заполнению ковшей следует определять так:

$$W_M = \frac{Q_H \cdot V_1}{3,6 \cdot g} + \frac{Q_3 \cdot K_3}{3,6 \cdot V} H, \quad (3)$$

где Q_H – количество груза, поступающего в ковши методом насыпания;

Q_3 – количество груза, зачерпываемого из башмака.

Тогда производительность:

$$Q = Q_H + Q_3, \frac{H}{\text{час}} \quad (4)$$

Опыты, проведенные для насыпных элеваторов, показали, что количество груза, зачерпываемого из башмака составляет 10-15% от производительности. Расчет по формуле (2) для ковшовых элеваторов дает завышенное значение сопротивления заполнению ковшей. Покажем это на следующем примере, приняв обычные значения исходных величин.

При выполнении расчета учитывали высоту падения груза $H=1\text{м}$, скорость цепей элеватора $V = 0,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $K_3 = 40 \frac{H \cdot \text{м}}{\text{кг}}$.

С учетом экспериментальных данных считаем, что непосредственным насыпанием в ковш элеватора поступает 85% всего груза.

Определим относительную скорость присоединяемой массы:

$$V_1 = V + \sqrt{2gH} = 0,8 + \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} = 5,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Тогда сопротивление заполнению по формуле (3):

$$W_M = \frac{0,85 \cdot Q \cdot 5,25}{3,6 \cdot 9,81} + \frac{0,15 \cdot Q \cdot 4}{3,6 \cdot 0,8} = 0,332 \cdot Q$$

Сопротивление заполнению, определяемое по формуле (2):

$$W_3 = \frac{4 \cdot Q}{3,6 \cdot 0,8} = 1,39 \cdot Q.$$

Расчеты показали, что сопротивление заполнению, определяемое обычным методом, завышено в 4,2 раза.

При разгрузке ковшей в верхней точке элеватора, реактивная сила Φ_2 отсутствует, т.к. скорость груза в тихоходных элеваторах относительно ковша в момент отделения масс $V_2 = 0$, значит реактивная сила отделяемой массы $\Phi_2 = 0$.

Известно, что при постепенном увеличении скорости от нуля до V для постоянной массы m потребуется энергия:

$$E_1 = \frac{mV^2}{2}. \quad (5)$$

При движении массы, изменяющейся от 0 до m с постоянной скоростью V энергии потребуется в два раза больше, т.е.:

$$E_2 = mV^2. \quad (6)$$

Это следует из второго закона Ньютона для постоянной скорости и переменной массы:

$$F = \frac{d(mV)}{dt} = \frac{dm}{dt} \cdot V. \quad (7)$$

Умножив обе части равенства (7) на дифференциал пути dS после интегрирования получим формулу (6).

Динамические расчеты, выполненные с учетом переменной массы груза по приведенной методике на основе законов динамики переменной массы, особенно актуальны при больших рабочих скоростях.