Следовательно, таким образом, при ручном управлении процессом весового дозирования относительная погрешность взвешивания цемента практически превысила допустимую относительную погрешность более чем в 4 раза.

Внедрение автоматизированной системы управления обеспечит контроль качества бетонных смесей, необходимую точность дозирования, контроль количества израсходованных компонентов, особенно цемента, корректировать состав смесей по результатам экспресс-анализа и данных лаборатории о физико-механическом состоянии исходных компонентов [4].

Список использованных источников

1. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.

2. Поляков С.И. Статистическое прогнозирование и упреждение динамической погрешности дозирования // Журнал Известия вузов: Северо-Кавказский регион. Секция Технические науки. 2005. – С. 77–78.

3. Поляков С.И. Проблема точности дозирования материалов / Проблемы и перспективы лесного комплекса: Матер. межвуз. науч.-практ. конф. (26–27 мая 2005г.). Т. 2. Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2005. – С.45–49.

4. Поляков С.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов [Текст]: учеб. пособие / С. И. Поляков ; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – 372 с.

УДК 666.971.11

[1]С.И. Поляков, П.В. Енин, [2]А.В. Парфенов

[1]Воронежский государственный технический университет

[2]Студия Парфенова, г. Воронеж, РФ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В работе проанализирована зависимость динамической погрешности весовых дискретных дозаторов циклического действия с квадрантным уравновешивающим механизмом от времени свободного хода весоизмерительной системы при безударном поступлении материала в бункер с постоянной производительностью.

Обозначив через *Q,* силу веса материала, находящегося в бункере, приходящуюся на единицу массы колеблющейся системы, можно определить полное перемещение X весоизмерительной системы с бункером вместе за время от $t = 0$ до $t = t_1$ по формулам Релея [1, 2]:

– для случая недемпфированного движения уравнение включает как вынужденные, так и свободные колебания

$$X = \frac{1}{P_0}\int_0^{t_1} Q \sin p(t_1 - t)dt,$$

– для случая демпфированного движения

$$X = \frac{1}{P_1}\int_0^{t_1} Q e^{-n(t_1 - t)} \sin p_1(t_1 - t)dt,$$

где P – частота собственных колебаний недемпфированной системы, 1/с; P_1– частота колебаний системы в случае вязкого демпфирования, 1/с;

$$P_1 = \sqrt{P^2 - n^2},$$

где n – вязкое сопротивление, 1/с.

В практических задачах с достаточной точностью можно считать, что малое вязкое сопротивление n не влияет на период колебаний, если $n << p$. То есть можно принять $P_1 = P$.

Пусть дано уравнение движения с демпфированием

$$\ddot{X} + 2n\dot{X} + p^2 X = 0,$$

и введем обозначения

$$2n\dot{X} = c\dot{X},\ 2n = c,$$

где $c\dot{X}$ – сила демпфирования; c – постоянный коэффициент, зависящий от вида демпфирующего устройства, равный величине демпфирующей силы при скорости равной единице.

Отсюда вязкое сопротивление $n = \dfrac{c}{2}$;

И степень демпфирования $Д = \dfrac{c}{c_{кр}} = \dfrac{n}{P}$ или $n = Дp$.

Частоту колебаний системы в случае вязкого демпфирования можно записать в виде:

$$P_1 = \sqrt{P^2 - (Дp)^2},\ \text{или}\ P_1 = P\sqrt{1 - Д^2}$$

Динамическая погрешность взвешивания в момент $t = t_1$ равна

$$\Delta X = X(t_1) - \delta_{ст},$$

где $\delta_{ст}$ – статическое перемещение весоизмерительной системы под действием силы Q.

Это перемещение, согласно равно

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{Q}{P^2};$$

При безударном поступлении материала в бункер с постоянной производительностью силу веса материала определим из выражения

$$Q = qt,$$

где q – производительность питателя, отнесенная к массе колеблющейся системы.

С учетом последних выражений получены следующие выражения для перемещения X и динамической погрешности

$$X = \frac{1}{P}\int_0^{t_1} Q\sin p(t_1 - t)dt = \frac{q}{p}\left(\frac{\sin(-pt + pt_1)}{p^2}\Big|_0^{t_1} + \frac{t\cos(-pt + pt_1)}{p}\Big|_0^{t_1}\right) =$$

$$= \frac{qt_1}{p^2} - \frac{q\sin pt_1}{p^3};$$

Динамическая погрешность $\Delta X = -\dfrac{q\sin pt_1}{p^3};$

Случай демпфированного движения

$$X = \frac{1}{p_1}q\int_0^{t_1} te^{(-nt_1+nt)}\sin(-p_1t + p_1t_1)dt =$$

$$= \frac{1}{p_1}q\Big[\ \frac{te^{nt-nt_1}}{n^2 + p_1^2}(n\sin(-p_1t + p_1t_1) + p_1\cos(-p_1t + p_1t_1)) -$$

$$-\frac{e^{nt-nt_1}}{(n^2 + p_1^2)}((n^2 - p_1^2)\sin(-p_1t + p_1t_1) - 2n(-p_1)\cos(-p_1t + p_1t_1))_0^{t_1} =$$

$$= \frac{1}{p_1}q\frac{t_1p_1}{n^2 + p_1^2} - \frac{1}{p_1}q\cdot\frac{1}{(n^2 + p_1^2)^2}2np_1 -$$

$$-\frac{1}{p_1}q\left[\frac{e^{-nt_1}(n^2 - p_1^2)\sin p_1t_1}{(n^2 + p_1^2)^2} - \frac{e^{-nt_1}2np_1\cos p_1t_1}{(n^2 + p_1^2)^2}\right] =$$

$$= \frac{qt_1p_1}{p_1(n^2 + p_1^2)} - \frac{2np_1q}{p_1(n^2 + p_1^2)^2} + \frac{q(n^2 - p_1^2)\sin p_1t_1}{p_1(n^2 + p_1^2)e^{nt_1}} + \frac{q2np_1\cos p_1t_1}{p_1e^{nt_1}(n^2 + p_1^2)^2} =$$

$$= q\frac{e^{nt_1}(t_1p_1(n^2 + p_1^2) - 2np_1) + (n^2 - p_1^2)\sin p_1t_1 + 2np_1\cos p_1t_1}{p_1(n^2 + p_1^2)^2e^{nt_1}} = \frac{A}{B};$$

При стремлении к критическому демпфированию

$$Д \to 1, n = Дp, n = p, p_1 = \sqrt{p^2 - n^2};$$

$$p_1 = 0, X = q\frac{e^{nt_1}(0-0)+0+0}{0}; \lim_{\substack{n\to p\\ p_1\to 0}} X = \left(\frac{0}{0}\right).$$

По правилу Лопиталя необходимо раскрыть неопределенность вида $\left(\frac{0}{0}\right)$. Производная числителя

$$A' = e^{nt_1}\left[t_1 n^2 + 3t_1 p_1^2 - 2n\right] + n^2 t_1 \cos p_1 t - 2p_1 \sin p_1 t_1 -$$
$$- p_1^2 t_1 \cos p_1 t_1 + 2n(\cos p_1 t_1 - p_1 t_1 \sin p_1 t_1);$$

Производная знаменателя

$$B' = \left(p_1\left(n^4 + 2n^2 p_1^2 + p_1^4\right)e^{nt_1}\right)' = \left(p_1 e^{nt_1} n^4 + 2e^{nt_1} n^2 p_1^3 + e^{nt_1} p_1^5\right)' =$$
$$= e^{nt_1} n^4 + 6e^{nt_1} \cdot n^2 p_1^2 + 5e^{nt_1} p_1^4.$$

$$\lim_{\substack{n\to p\\ p_1\to 0}} X = q\frac{e^{pt_1}(t_1 p^2 - 2p) + p^2 t_1 + 2p}{e^{pt_1} p^4} = q\frac{e^{pt_1} t_1 p^2 - 2pe^{pt_1} + p^2 t_1 + 2p}{e^{pt_1} p^4} =$$
$$= q\frac{t_1 p^2}{p^4} - q\frac{2p}{p^4} + q\frac{p^2 t_1 + 2p}{e^{pt_1} p^4} = \frac{qt_1}{p^2} - \frac{2q}{p^3} + q\frac{pt_1 + 2}{p^3 e^{pt_1}};$$

Динамическая погрешность при демпфировании критическом, то есть при степени демпфирования $D = 1$

$$\lim_{\substack{n\to p\\ p1\to 0}} \Delta X = \frac{2q}{p^3} + q\frac{pt_1 + 2}{p^3 e^{pt_1}} = -\frac{2q}{p^3} + \frac{2qe^{-pt_1}}{p^3} + q\frac{pt_1 e^{-pt_1}}{p^3} =$$
$$= \frac{2q}{p^3}\left(e^{-pt_1} - 1\right) + q\frac{t_1 e^{-pt_1}}{p^2};$$

Отсюда динамическая погрешность определяется одним из следующих выражений:

$$\Delta X = \frac{2qt_1}{p^2}\left[\frac{1}{pt_1}(e^{-pt_1} - 1) + \frac{1}{2}e^{-pt_1}\right]$$

$$\text{или } \Delta X = 2\delta_{\text{ст}}\left[\frac{1}{pt_1}(e^{-pt_1} - 1) + \frac{1}{2}e^{-pt_1}\right]$$

или также при стремлении к критическому демпфированию

$$\lim_{\substack{n\to p\\ p1\to 0}} \Delta X = -\frac{2q}{p^3} + qe^{-pt_1}\left(\frac{t_1}{p^2} + \frac{2}{p^3}\right).$$

Относительная погрешность равна $E = \frac{\Delta X}{X_N} = \frac{\Delta X}{N_{\max} - N_{\min}}$;

где $N_{\min} = 200$ кг, что соответствует $11{,}67 \cdot 10^{-3}$ м; $N_{\max} = 600$ кг или $35 \cdot 10^{-3}$ м – ход тяги шкалы циферблатного квадратного указателя (УЦК).

Производительность питателя q в расчетах принята равной $10 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, что является средней производительностью, определенной экспериментально. Эта величина производительности соответствует приложению к бункеру силы, приведенной к тяге УЦК и отнесенной к одному килограмму приведенной массы, изменяющейся со скоростью

$$q = 0.163 \frac{\text{н}}{\text{с} \cdot \text{кг}};$$

Расчетные формулы статического перемещения $\delta_{\text{ст}}$ и динамической погрешности ΔX имеют вид:

– для случая недемпфированного движения:

$$\delta_{\text{ст}} = 1{,}17 \cdot 10^{-3} t_1$$

$$\Delta X = -7 \cdot 10^{-5} \sin 16{,}7 t_1;$$

– для случая демпфированного движения:

$$\Delta X = -1.4 \cdot 10^{-4} + \frac{5.46 t_1 + 0.654}{4657 e^{16.7 t_1}};$$

Анализ результатов показал, что при известных при безударном поступлении материала в бункер с параметрах дотирования q и p возможно снижение динамической погрешности постоянной производительностью [3].

Список использованных источников

1. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.

2. Бокс Д., Дженкинс Г. Анализ временных рядов: Прогноз и управление. Монография. – М.: Мир, 1974. – Выпуск 1. – 406 с.

3. Поляков С.И. Автоматизация дозирования и учета расхода компонентов бетонных смесей. Диссер-я на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Воронеж, 1994. – 250 с.