

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ НАБЛЮДАТЕЛЯ СМЕСИТЕЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

The article describes the synthesis of adaptive observer for asphalt concrete mixer and the structure of such observer. Application of the observer in mixer control system allows to obtain adequate information about the process of mixing.

При производстве теплых и горячих асфальтобетонных смесей на установках циклического действия имеет место серьезная проблема стабильности качества готового продукта. На качество асфальтобетона влияет большое количество факторов: температура и влажность каменных материалов, гранулометрический состав смеси, кислотность минеральных материалов, температура, а также физико-химические свойства битума, точность дозирования компонентов, однородность получаемой смеси. При производстве мелкозернистых асфальтобетонов, предназначенных для укладки в верхние слои дорожного покрытия, в качестве компонентов смеси используются различные пластификаторы в виде мелкодисперсных порошков, а также пыль. Из-за плохой смачиваемости таких порошков происходит их «комкование», а следовательно, отсутствует возможность получения однородной смеси без управления процессом смешивания ее компонентов. На асфальтосмесительных установках классической конструкции отсутствует контроль качества смешивания компонентов непосредственно в ходе технологического процесса, что обусловлено трудностями при расположении известных датчиков классической конструкции из-за высокой абразивности смешиваемых компонентов, а также налипания битума.

Контроль однородности смеси в ходе приготовления асфальтобетона можно проводить бесконтактными методами, основанными на взаимодействии с веществом полей, проникающих через оболочку смесителя. Такие методы могут быть основаны на эффекте ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Контроль однородности смеси можно реализовать при помощи нескольких намагничивающих катушек, расположенных по периметру смесителя таким образом, чтобы разделить его объем на разные части. Тогда сигнал ЯМР соответствует объему намагниченной смеси. Точность измерений в данном случае определяется намагниченностью объема смеси перед процессом анализа, которая в свою очередь зависит от величины поляризующего поля, времени релаксации ядер и времени нахождения образца в поляризующем поле. Однако постоянное использование такого датчика однородности смеси на протяжении всего периода работы асфальтосмесительной установки приведет к достаточно высоким за-

тратам энергии, что скажется на себестоимости производимой продукции.

Получать информацию о ходе процесса смешивания можно, имея эталонную модель. Разработка эталонной модели процесса смешивания компонентов асфальтобетона, удовлетворяющей различным рецептурам, а также условиям работы смесителя, представляется весьма сложной, поскольку значения коэффициентов зависят от ряда факторов, упоминавшихся выше, основными из которых являются: гранулометрический состав смеси, температура смешиваемых компонентов, а также температура самого смесителя.

Таким образом, решить задачу позволит использование адаптивного наблюдателя с настраиваемой моделью, с помощью которого определяются параметры объекта и восстанавливаются его переменные состояния. В качестве объекта в данном случае выступает приводной двигатель смесителя и непосредственно сам смеситель. Управляющими воздействиями в данном случае является напряжение, подаваемое на обмотки двигателя, а выходом – однородность получаемой смеси.

Рассмотрим линейный объект управления, заданный моделью «вход – выход» в форме [1]:

$$\dot{X} = AX + Bu,$$

$$x_b = L^T X,$$

$$X(0) = X_0,$$

где $X \in R^n$, $u \in R^1$, $x_b \in R^1$, тройка $\{L^T, A, B\}$ полностью управляема и наблюдаема.

Используем наблюдаемую каноническую форму представления модели объекта:

$$\dot{X} = \left(-\bar{A}; \frac{I}{\Delta} \right) X + Bu,$$

$$x_b = L^T X = x_1, \quad (1)$$

$$X(0) = X_0,$$

где $\bar{A}_{(n \times 1)}$, $B_{(n \times 1)}$ – векторы неизвестных параметров смесителя; $I_{((n-1) \times (n-1))}$ – единичная

матрица; $L^T = (10 \dots 0)$; $\bar{L}_{((n-1) \times 1)} = (1 \ 1 \ 1)^T$ – вектор,

$$\Delta = \text{diag}\{-\lambda_2 \quad -\lambda_3 \quad \dots \quad -\lambda_n\},$$

где $\lambda_i > 0$, $\lambda_i \neq \lambda_j$, для $\forall i, \{2, 3, \dots, n\}$.

Тогда

$$\dot{X} = \begin{pmatrix} -a_1 & 1 \\ -a_2 & -\lambda_2 \end{pmatrix} X + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} u,$$

$$x_b = x_1,$$

$$X(0) = \begin{pmatrix} x_{10} \\ x_{20} \end{pmatrix},$$

где $a_1, a_2, b_1, b_2, \lambda_2$ – неизвестные параметры.

Запишем модель (1) в форме

$$\dot{X} = A_* X + (\bar{A}_* - \bar{A}) x_1 + B u, \quad (2)$$

$$x_b = x_1,$$

где

$$A_* = \begin{pmatrix} -\bar{A}_* & \bar{L}^T \\ & \Delta \end{pmatrix},$$

$$\bar{A}_* = (\lambda_1 \quad 0 \quad \dots \quad 0)^T,$$

$$\lambda_1 \geq 0,$$

$$\lambda_1 \neq \lambda_i$$

для $\forall i = \overline{2n}$.

При этом матрица A_* является гурвицевой с различными вещественными собственными числами.

Структуру адаптивного наблюдателя выбираем в форме

$$\dot{\hat{X}} = A_* \hat{X} + (\bar{A}_* - \hat{A}) x_1 + \hat{B} u + V_1 + V_2, \quad (3)$$

$$\hat{x}_b = \hat{x}_1,$$

$$\hat{X}(0) = \hat{X}_0,$$

где $\hat{A}_{(n \times 1)}$, $\hat{B}_{(n \times 1)}$ – векторы оцениваемых параметров; $V_1(t)$, $V_2(t)$ – дополнительные сигналы.

В соответствии с изложенным выше наблюдатель состояния примет вид

$$\dot{\hat{X}} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \hat{X} + \begin{pmatrix} \lambda_1 - \hat{a}_1 \\ -\hat{a}_2 \end{pmatrix} x_1 + \begin{pmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \end{pmatrix} u + V_1 + V_2,$$

$$\hat{x}_b = \hat{x}_1,$$

$$\hat{X}(0) = \begin{pmatrix} \hat{x}_{10} \\ \hat{x}_{20} \end{pmatrix}.$$

Введем вектор ошибки оценивания состояния объекта

$$E = \hat{X} - X. \quad (4)$$

Тогда в силу уравнений состояния объекта (2) и наблюдателя (3) получаем дифференциальное уравнение для ошибки:

$$\dot{E} = A_* E + \Delta_1 x_1 + \Delta_2 u + V_1 + V_2,$$

$$e_1 = L^T E, \quad (5)$$

$$E(0) = \hat{X}_0 - X_0,$$

где $\Delta_1 = \bar{A} - \hat{A}$, $\Delta_2 = \bar{B} - B$.

Таким образом, получена модель ошибки для двух входных скалярных сигналов x_1 и u . В связи с этим в структуру наблюдателя состояния (3) и соответственно модель ошибки (5) введены два вектора дополнительных сигналов V_1 и V_2 .

Вектор-функции дополнительных сигналов выбираются в виде

$$V_1 = \begin{pmatrix} 0 & \delta_{12} w_{12} & \dots & \delta_{1n} w_{1n} \end{pmatrix}^T,$$

$$V_2 = \begin{pmatrix} 0 & \delta_{22} w_{22} & \dots & \delta_{2n} w_{2n} \end{pmatrix}^T, \quad (6)$$

где δ_{1i} , δ_{2i} , w_{1i} , w_{2i} – i -тые компоненты соответствующих векторов.

Векторы регрессии формируются с помощью устойчивых фильтров состояния ($i = 1, n$)

$$W_1 = (w_{11} \dots w_{1n})^T,$$

$$w_{11} = x_1,$$

$$w_{1i} = \frac{1}{p + \lambda_i} x_1,$$

$$i = \overline{2 \dots n}.$$

$$W_2 = (w_{21} \dots w_{2n})^T,$$

$$w_{21} = x_1, \quad (7)$$

$$w_{2i} = \frac{1}{p + \lambda_i} u,$$

$$i = \overline{2 \dots n}.$$

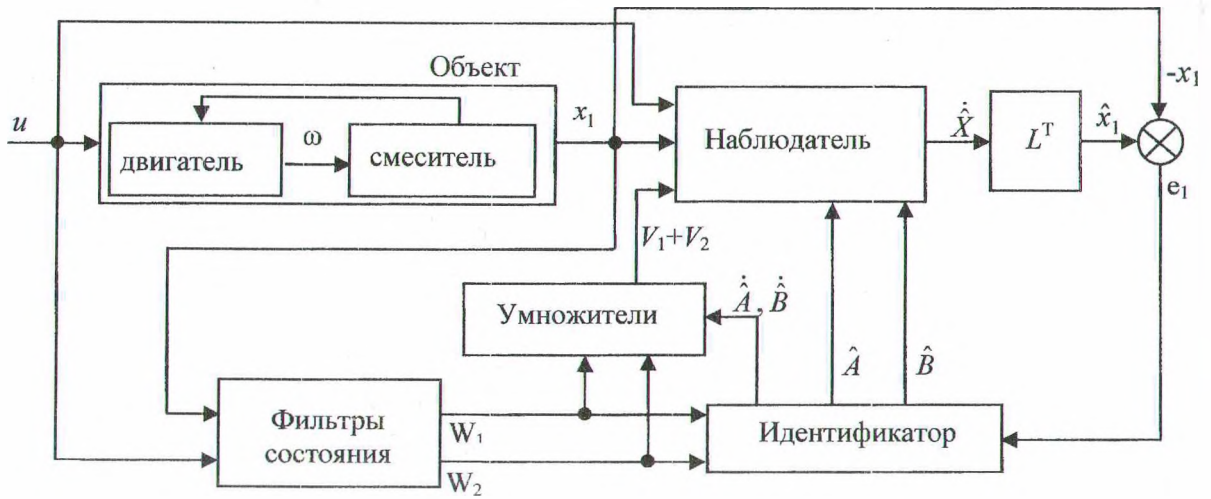


Рис. Структурная схема адаптивного наблюдателя смесителя

Тогда элементы векторов регрессии будут записаны в виде:

$$\begin{aligned} w_{11} &= x_1, \\ \dot{w}_{12} &= -\lambda w_{12} + x_1, \\ w_{12}(0) &= w_{12}^0, \\ w_{21} &= u, \\ \dot{w}_{22} &= -\lambda w_{21} + x_1, \\ w_{22}(0) &= w_{22}^0. \end{aligned}$$

Для системы (5)–(7) алгоритм адаптации в соответствии с [2]

$$\begin{aligned} \dot{\hat{A}} &= -\dot{\Delta}_1 = \Gamma_1 e_1 W_1, \\ \Gamma_1 &= \Gamma_1^T > 0, \\ \dot{\hat{B}} &= -\dot{\Delta}_2 = \Gamma_2 e_1 W_2, \\ \Gamma_2 &= \Gamma_2^T > 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Для нашего случая алгоритм адаптации запишем в виде

$$\begin{aligned} \dot{\hat{a}}_1 &= \gamma_1 e_1 w_{11}, \\ \dot{\hat{a}}_2 &= \gamma_2 e_1 w_{12}, \end{aligned}$$

$$\dot{\hat{b}}_1 = \bar{\gamma}_1 e_1 w_{21},$$

$$\dot{\hat{b}}_2 = \bar{\gamma}_2 e_1 w_{22}.$$

Вектор-функции дополнительных сигналов в соответствии с (6) сформируем в виде

$$V_1 = \begin{pmatrix} 0 & -\hat{a}_2 w_{12} \end{pmatrix}^T,$$

$$V_2 = \begin{pmatrix} 0 & -\hat{b}_2 w_{22} \end{pmatrix}^T.$$

Система (5), (6), (7) с алгоритмом адаптации (8) устойчива по Ляпунову (все траектории ограничены, и $E \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$), если $W_*(s) = L^T (sI - A_*)^{-1} B_*$ — строго положительно-вещественная функция. Замкнутая система асимптотически устойчива, если входной сигнал $u(t)$ содержит не менее $m/2$ разночастотных компонент.

Структурная схема адаптивного наблюдателя смесителя, построенного по вышеприведенному алгоритму, представлена на рисунке.

Литература

1. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. — М.: Высшая шк., 1989. — 261 с.
2. Современные методы идентификации систем / Под ред. П.М. Эйхоффа. — 1983. — 400 с.