

### Моделирование процесса смешения жидкостей

Константин Анатольевич Кузьмин<sup>1</sup>, Сергей Михайлович Морозов<sup>1</sup>, Евгения Викторовна Сокорева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Смоленская обл., г. Вязьма, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия  
e-mail: kuzmina\_tk@mail.ru

**Аннотация.** Процесс смешения состоит в перемешивании любых не реагирующих между собой жидких или газообразных компонентов. Для получения смесей применяются смесители в виде аппаратов периодического или непрерывного действия. В статье рассмотрен метод моделирования процесса смешения жидкостей.

**Ключевые слова:** моделирование; смешение жидкостей; жидкие и газообразные компоненты; система автоматического регулирования.

**Для цитирования:** Кузьмин К. А., Морозов С. М., Сокорева Е. В. Моделирование процесса смешения жидкостей // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 108–111. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp108-111>.

### AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

### Simulation of the liquid mixing process

Konstantin A. Kuzmin<sup>1</sup>, Sergey M. Morozov<sup>1</sup>, Evgania V. Sokoreva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Smolensk region, Vyazma, Russia

<sup>2</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia  
e-mail: kuzmina\_tk@mail.ru.

**Abstract.** The mixing process consists in mixing any non-reactive liquid or gaseous components. To obtain mixtures, mixers are used in the form of devices of periodic or continuous action. The article considers a method for modeling the liquid mixing process.

**Keywords:** control system; microclimate; energy intensity; equipment.

**For citation:** Kuzmin K. A., Morozov S. M., Sokoreva E. V. Simulation of the liquid mixing process. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(9): 108–111. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp108-111>.

**Введение.** Задачей управления процессом смешения является поддержание заданного состава смеси. Для получения математической модели процесса смешения используются уравнения материального баланса, составленные для всей смеси в целом и для отдельных компонентов. Вид уравнений существенно зависит от типа аппарата и режима его работы.

Цель исследования – разработать модель системы автоматического регулирования (САР) смесителя жидких и газообразных компонент.

**Методика исследований.** Рассмотрим модель получения смеси, состоящей из двух компонент, структурная схема автоматической системы регулирования которой представлена на рис. 1.

В смеситель поступают два потока (компоненты): поток  $G_1$  – ведущий; поток  $G_2$  – ведомый.

$$G_2 = \gamma G_1,$$

где  $\gamma$  – коэффициент соотношения расходов, который устанавливается при настройке регулятора.

При изменении ведущего потока  $G_1$  регулятор изменяет ведомый поток  $G_2$ .

Выбор закона регулирования зависит от требуемого качества стабилизации параметра  $\gamma$ .

**Результаты исследований.** Как показывают практика и теоретические сведения, полученные из [1, 2], процессы регулирования расходов перед входом в смеситель в каждом конкретном случае взаимосвязаны сложным образом и трудно поддаются однозначному описанию.

Предположим, что за малое время  $\Delta t$  в смеситель поступает масса первой компоненты  $m_1$  – первый входной параметр (координата), тогда  $m_1(t)$  – управляемый параметр системы регулирования с помощью управляющего клапана или заслонки. За это же время в смеситель по второму каналу поступает масса второй компоненты  $m_2$  – второй входной параметр (координата). На основании уравнения баланса масс из смесителя уходит масса  $m$ , при этом:

$$m_1 + m_2 = m.$$

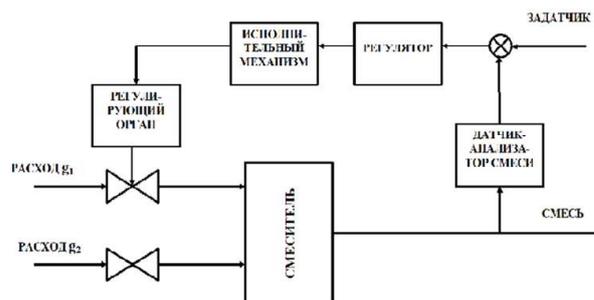


Рис. 1. Структурная схема САР получения двухкомпонентной смеси



Причем, количество уходящей массы первой компоненты пропорционально относительной доли масс компонент в смеси:

$$m_1' = \frac{M_1}{M_1 + M_2} \cdot m_1 = \frac{M_1}{M} \cdot m_1$$

За время  $\Delta t$  прирост массы  $\Delta M_1$  в смесителе составляет :

$$\Delta M_1 = m_1 - m_1';$$

$$\Delta M_1 = m_1 - m_1 \frac{M_1}{M} = m_1 \left(1 - \frac{M_1}{M}\right).$$

Поделив обе части выражения на  $\Delta t$ , получим:

$$\frac{\Delta M_1}{\Delta t} = \frac{\Delta m_1}{\Delta t} \cdot \left(1 - \frac{M_1}{M}\right),$$

или в дифференциальной форме:

$$\frac{dM_1}{dt} = \frac{dm_1}{dt} \cdot \left(1 - \frac{M_1(t)}{M}\right).$$

Обозначим  $dm_1/dt = q(t)$  – расход первой компоненты, отсюда:

$$\frac{dM_1}{dt} = \frac{q}{M} \cdot M_1 = q.$$

Полученное уравнение описывает динамику изменения соотношения (концентраций) компонент в смесителе и является нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка, т.к. коэффициент  $q$ , стоящий перед функцией  $M_1$  зависит от времени  $t$  [3].

После проведения линеаризации полученного уравнения вблизи рабочей точки получим уравнение

$$\frac{d^2 M_1}{dt^2} + A \frac{dM_1}{dt} = B \frac{dq}{dt}.$$

После применения прямого преобразования Лапласа к обеим частям уравнения получим:

$$N_1(p) \cdot (p^2 + Ap) = BQ(p).$$

Таким образом, передаточная функция объекта управления (4) (смесителя жидкостей и газов) имеет вид:

$$W(p) = \frac{M_1(p)}{Q(p)} = \frac{B}{p^2 + A^* p} = \frac{B}{p^*(p + A)}.$$

Совершив обратное преобразование Лапласа, получим функциональную зависимость  $M_1(t)$  в виде:

$$M_1(t) = \frac{B}{A} (1 - e^{-At}).$$

Это уравнение переходного процесса вблизи рабочей точки.

Поделив обе части выражения на общую массу смеси  $M$ , получим функциональную зависимость отношения массы первой компоненты к общей массе смеси:

$$P(t) = \frac{BM_1}{AM} (1 - e^{-At}).$$

В этом случае переходная характеристика соотношения масс принимает вид:



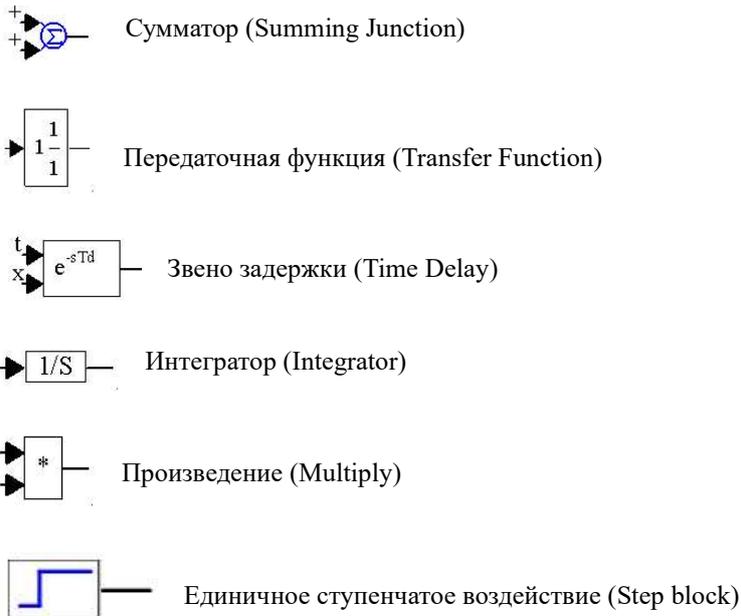
$$p(t) = \frac{B}{Ak} (1 - e^{-At}).$$

Передаточная функция смесителя имеет следующий вид:

$$W(p) = \frac{C}{p^2 + Ap},$$

где коэффициенты  $A$  и  $C$  определяются экспериментально либо рассчитываются исходя из конструктивных особенностей смесителя.

На основании разработанной математической модели и структурной схемы САП получения двухкомпонентной смеси жидкостей и газообразных компонент с использованием типовых блоков ППП VisSim [5]:



110



была построена модель САП смесителя жидких и газообразных компонент, схема которой представлена на рис. 2.

Модели систем и объектов в программе VisSim строятся из отдельных элементов [6], так называемых блоков – виртуальных аналогов физического элемента реальной системы. Взаимодействие между блоками моделируется сигналами – функциями времени. Виртуальные блоки VisSim'a могут иметь или вход, на который может быть подан выходной сигнал другого блока, или выход, виртуальный сигнал с которого может быть подан на вход другого блока, или и вход, и выход одновременно.

В ППП VisSim можно моделировать системы: линейные и нелинейные; непрерывные и дискретные. В одной модели можно одновременно определять и непрерывные, и дискретные передаточные функции; для дискретной части модели возможно многократное квантование [7].

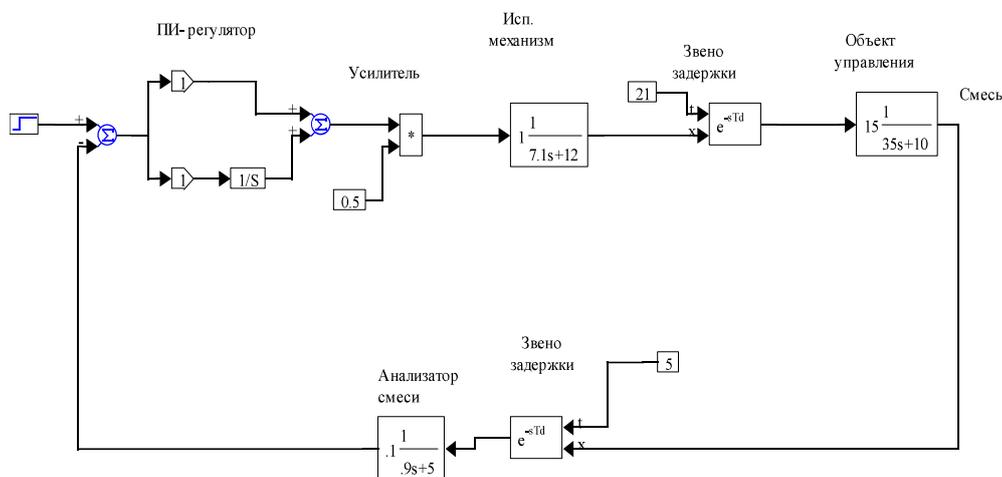


Рис. 2. Моделирование САП смесителя жидких компонент при помощи ППП VisSim

**Заключение.** Смоделированная система автоматического регулирования отвечает всем требованиям технологического процесса во всех режимах. Реакция на внешние возмущения характеризует приемлемое качество управления и устойчивость процесса управления.

В результате анализа данных моделирования, по техническим характеристикам построена модель системы автоматического регулирования смесителя жидких и газообразных компонент.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МОП-БИС. Моделирование элементов и технологических процессов / П. Антонетти [и др.]. М., 2016. 496 с.
2. Виноградов В. М., Черепакхин А.А. Автоматизация технологических процессов и производств. Введение в специальность: учеб. пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2016. 192 с.
3. Иванов А. А. Автоматизация технологических процессов и производств. М., 2019. 224 с.
4. Кайнова Е. Г. Моделирование химико-технологических процессов. М., 2019. 663 с.
5. Морозов С.М., Кузьмин К.А., Кочеткова Л.И., Балмашнова Е.В. Разработка исходных концепций метрологического обеспечения измерительных и расчетных операций при автоматизации измерений // *Аграрный научный журнал*. 2019. № 4. С. 87–89.
6. Кузьмин К.А., Морозов С.М. Определение оптимальных режимов работы свч-установки для сушки и обжига строительного кирпича // *Инженерный вестник Дона*. 2018. № 3. С. 75.
7. Morozov S., Kuzmin K., Makarov G. Neural network principle of implementation of digital filters. *MATEC Web of Conferences* (см. в книгах). 2018. № 193. С. 102.

#### REFERENCES

1. MOS-BIS. Modeling of elements and technological processes / P. Antonetti et al. Moscow, 2016. 496 p. (In Russ.).
2. Vinogradov V. M., Cherepakhin A. A.. Automation of technological processes and production. Introduction to the specialty: textbook. allowance. Moscow, 2016. 192 p. (In Russ.).
3. Ivanov A. A. Automation of technological processes and production. Moscow, 2019. 224 p. (In Russ.).
4. Kainova E. G. Modeling of chemical-technological processes. Moscow, 2019. 663 p. (In Russ.).
5. Morozov S.M., Kuzmin K.A., Kochetkova L.I., Balmashnova E.V. Development of initial concepts for metrological support of measuring and settlement operations in the automation of measurements. *The agrarian scientific journal*. 2019; 4: 87–89. (In Russ.).
6. Kuzmin K.A., Morozov S.M. Determination of the optimal modes of operation of a microwave installation for drying and firing building bricks. *Engineering Bulletin of the Don*. 2018; 3: 75. (In Russ.).
7. Morozov S., Kuzmin K., Makarov G. Neural network principle of implementation of digital filters. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 193: 102.

*Статья поступила в редакцию 12.04.2022; одобрена после рецензирования 12.05.2022; принята к публикации 25.05.2022.*

*The article was submitted 12.04.2022; approved after reviewing 12.05.2022; accepted for publication 25.05.2022.*

