

**Максаков Сергей Анатольевич**

старший преподаватель

Смоленский областной казачий институт

промышленных технологий и бизнеса (филиал)

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет

технологий и управления им. К.Г. Разумовского

(Первый казачий университет)»

г. Вязьма, Смоленская область

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

***Аннотация:** в статье приводятся имитационные модели систем автоматического управления уровнем и концентрацией смеси жидкостей в смесителе, разработанные в среде динамического программирования VisSim. На моделях проведена проверка качества и устойчивости проектируемых систем автоматического управления.*

***Ключевые слова:** имитационная модель, система автоматического управления, смеситель, уровень смеси жидкостей, концентрация смеси жидкостей, интеграл модуля ошибки, сумматор, интегратор, контроллер.*

Для реализации методов имитационного моделирования использована среда динамического программирования VisSim. Возможности среды динамического программирования VisSim позволяют получить представление о динамическом поведении объекта и особенностях системы управления уже на этапе эскизного проектирования [3].

Инструментальный набор среды позволяет разрабатывать и дополнять библиотеку новыми типовыми блоками и после завершения проектирования использовать созданные модели для разработки рабочих мест операторов с использованием любой SCADA-системы [1; 2; 4; 5; 7], а также тестирования оборудования АСУ ТП, постепенно заменяя части виртуальной модели реальными программно-аппаратными средствами.

В нашем институте имитационное моделирование применяется в образовательном процессе всех форм обучения, включая дистанционное (Moodle – *среда дистанционного обучения с открытым исходным кодом*) при изучении технических и экономических дисциплин [6; 8; 9; 10].

Рассмотрим процесс построения имитационных моделей системы автоматического управления уровнем и концентрацией смеси жидкостей в смесителе.

Смеситель подобен сборнику жидкости открытого типа цилиндрической формы. Параметры смесителя: диаметр поперечного сечения равен 1.5 м, технологический верхний уровень заполнения смесителя 1.5 м. Таким образом, площадь поперечного сечения смесителя составляет:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 * 1.5^2}{4} = 1.77 \text{ м}^2. \quad (1)$$

При одновременном полном открытии впускных вентилях приход компонент смеси составляет  $0.012 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ .

Процесс наполнения смесителя жидкостью легко моделируется в среде Vis-Sim, т.е. объект удобен для идентификации по уровню смеси в нем.

На рисунке 1 представлен график зависимости уровня смеси Н в метрах от времени. Выпускной вентиль закрыт.

В данной модели входной сигнал – значение расхода  $0.012 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$  поступает на вход интегратора, сигнал с выхода интегратора есть объем жидкости в смесителе.

Объем, поделенный на площадь сечения  $1.77 \text{ м}^2$ , дает высоту уровня жидкости в смесителе в метрах.

Датчик верхнего уровня на высоте 1.5 м подает сигнал исполнительному механизму на отключение двух входных вентилях. Из графика видно, что наполнение смесителя происходит за время 220 сек. (3.6 мин.).

При полностью открытых двух вентилях, стоящих на входе смесителя и открытом выпускном вентиле, данный объект является объектом с самовыравни-

ванием, так как по мере увеличения уровня жидкости увеличивается расход через выпускной вентиль и в итоге уровень жидкости установится на определенном равновесном уровне

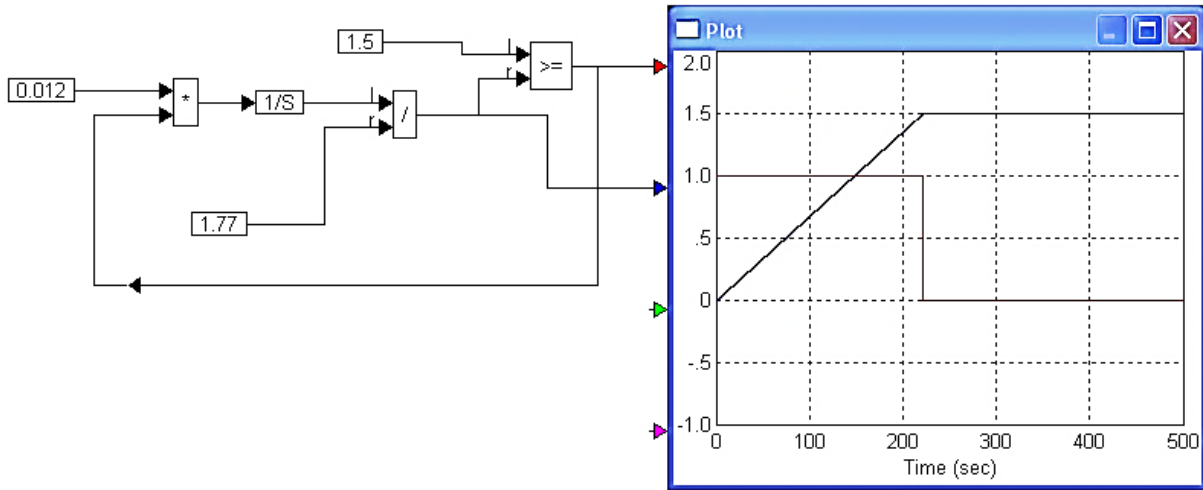


Рис. 1. График зависимости уровня  $H$  смеси от времени

На рисунке 2 представлена модель для данного случая и график переходного процесса выхода жидкости на равновесный уровень.

В приведенной схеме с помощью сумматора организована обратная связь, т.е. в сборник (смеситель) поступает суммарный приход жидкости, равный разности между приходом через входные вентили и расходом через выпускной вентиль. Расход через выпускной вентиль рассчитывается через скорость истечения жидкости по формуле Торичели  $V = \sqrt{2gh}$  и площадь поперечного сечения выпускного трубопровода. Внутренний диаметр выпускной трубы равен 5 см, отсюда площадь сечения равна  $0.0019 \text{ м}^2$ . Расход жидкости через выпускной вентиль равен:

$$q = \sqrt{2gh} * S_0, \text{ где } S_0 = 0.0019 \text{ м}^2. \quad (2)$$

Из графика переходного процесса видно, что равновесный уровень жидкости 6 м достигается за время 120 мин., процесс наполнения сборника является процессом с самовыравниванием. В реальном смесителе такой уровень жидкости не требуется, потому в нем установлен датчик – ограничитель, задающий максимальную технологическую высоту уровня 1.5 м.

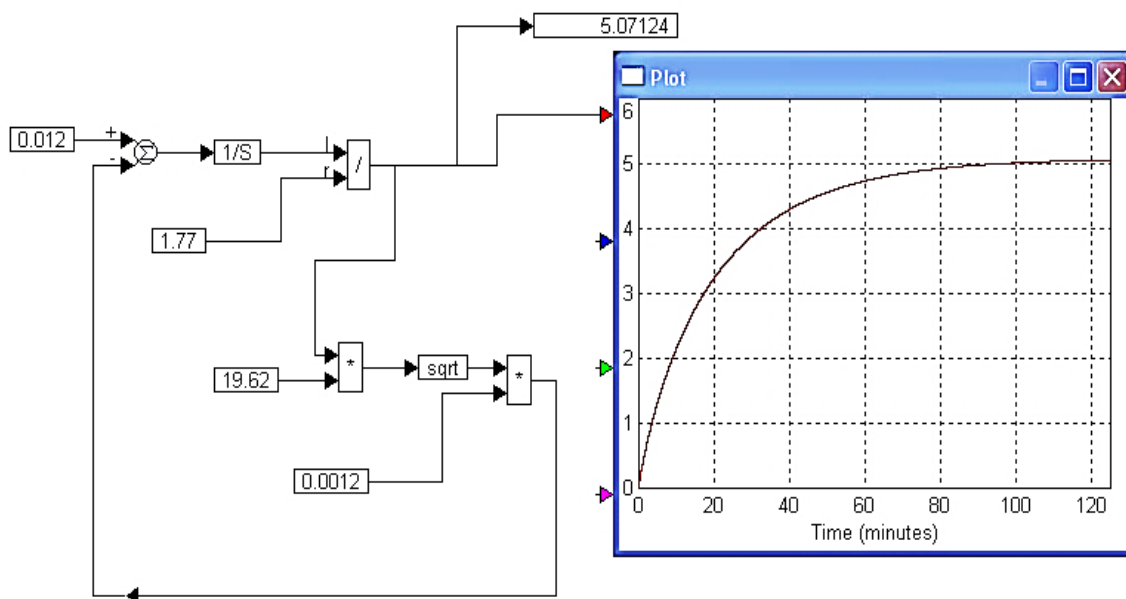


Рис. 2. Модель смесителя с открытыми входами и выходом и график переходного процесса

На рисунке 3 изображен график наполнения смесителя жидкостью с ограничителем уровня.

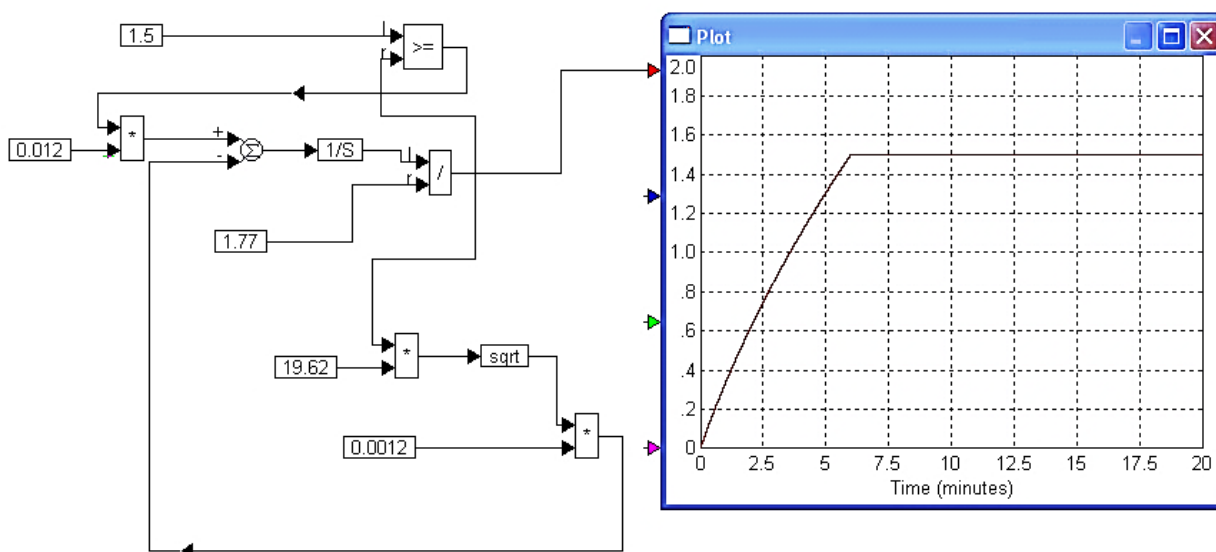


Рис. 3. График наполнения смесителя жидкостью при открытых впускных и выпускном вентилях. Ограничитель верхнего уровня – 1.5 м

*Имитационная модель системы автоматического управления уровнем жидкости в смесителе.*

Система автоматического управления (САУ) уровнем смеси в смесителе и концентрацией смеси разработана на базе микроконтроллера на логических элементах. Контролер имеет релейный блок управления уровнем жидкости. Задатчик уровня в цифровой форме задается оператором и имеет значение 1.5 м. Значение гистерезиса устанавливается равным 0.04 м. Это, допускаемое по технологическим условиям, колебание уровня жидкости.

Таким образом, САУ уровнем жидкости является релейной, а режим управления называется скользящим. В технологическом процессе выпускной вентиль постоянно открыт, а впускные вентили (ведущий и ведомый) одновременно открываются и закрываются по команде регулятора. Эта одновременность способствует поддержанию точности процентного соотношения компонент в смеси и упрощению управления концентрацией смеси.

САУ уровнем жидкости в смесителе показана на рисунке 4.

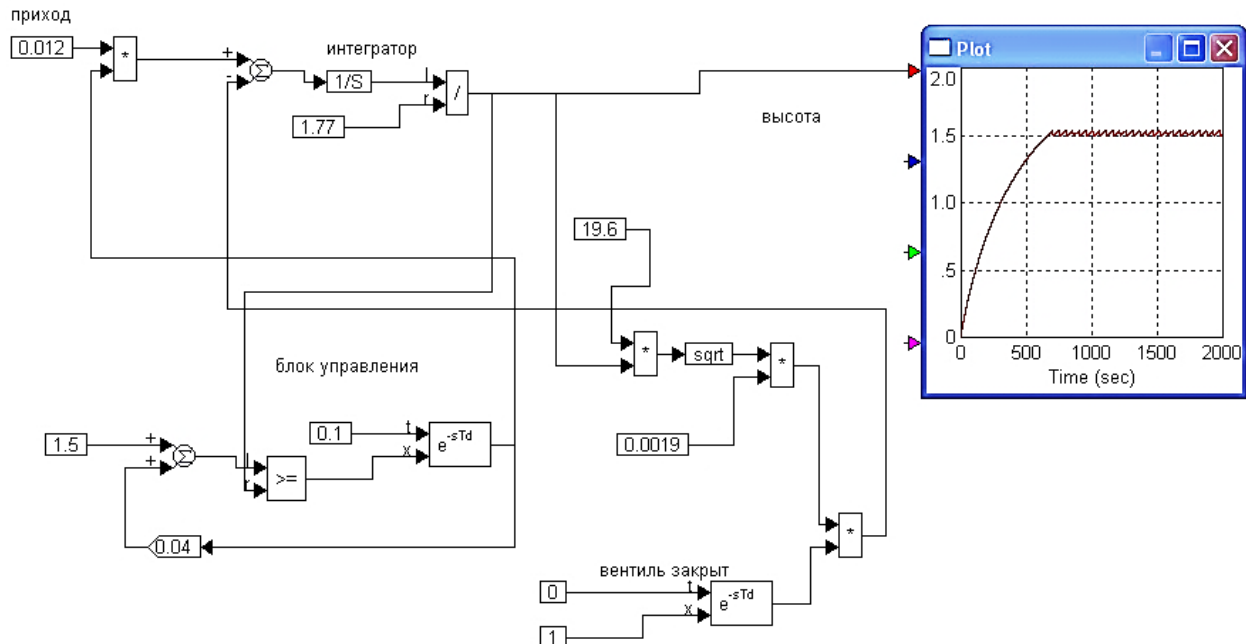


Рис. 4. Система автоматического управления уровнем жидкости в смесителе

В схему включен релейный регулятор на логическом элементе. На осциллограмме изображен график зависимости уровня жидкости в смесителе от времени.

Из графика следует, что на заданный технологический режим по выпуску смеси, смеситель выходит через 12 минут от момента его запуска. Выходной продукт (смесь) имеет на выходе расход, равный  $0.0103 \frac{м^3}{с}$ . Этот расход имеет место при полностью открытых первом и втором впускных вентилях. В реальности этого не бывает, поэтому  $0.0103 \frac{м^3}{с}$  это максимально возможный выходной расход на данном смесителе.

*Имитационная модель системы автоматического управления концентрацией смеси в смесителе.*

На рисунке 5 изображена имитационная модель процесса смешения двух компонент жидкостей без системы управления концентрацией смеси.

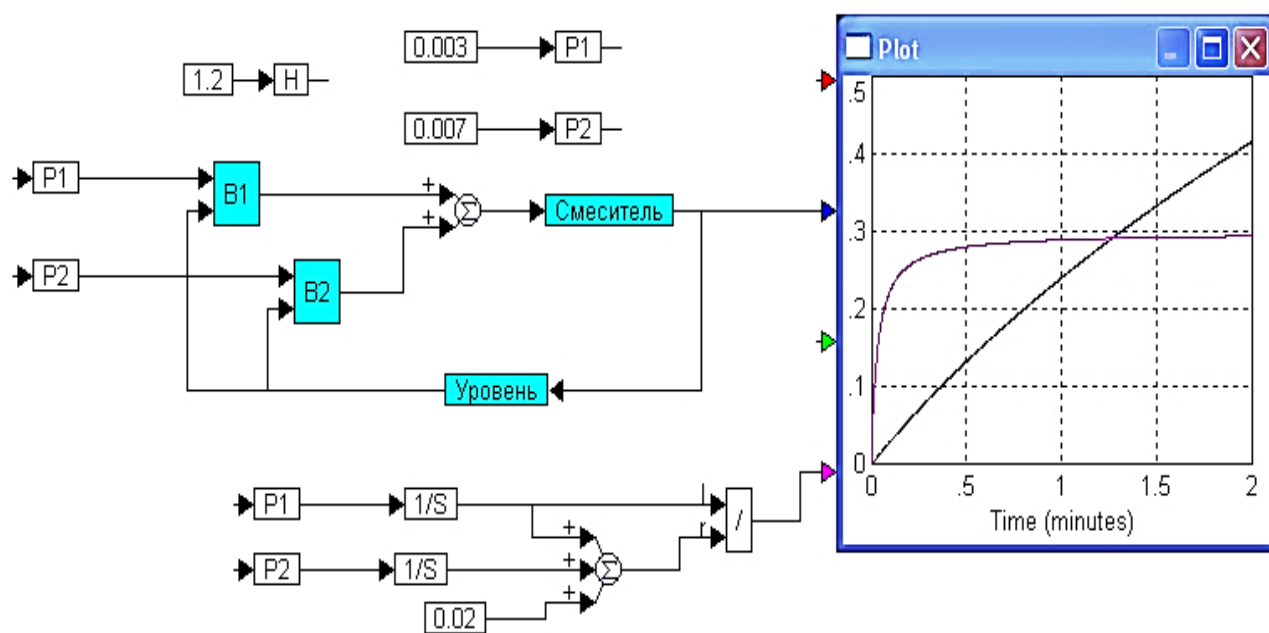


Рис. 5. Имитационная модель процесса смешения двух компонент жидкостей

Смеситель может работать при определенном начальном количестве жидкости в нем. Здесь предполагается, что начальный объем равен  $0.2 м^3$ . расход ведущей компоненты –  $0.007 м^3 / с$ , расход ведомой компоненты  $0.003 м^3 / с$ . ожидаемая концентрация смеси должна принять значение 0.3 или 30%. В схеме

V1 – управляемый клапан, V2 – неуправляемый клапан, блок «уровень» – регулятор уровня, P1 = 0.003 – расход первой компоненты, P2=0.007 – расход второй компоненты.

На рисунке 6 изображен график переходного процесса зависимости концентрации от времени в смесителе.

На графике видно, что значение концентрации компонент 30% достигается в смесителе за время 2 минуты.

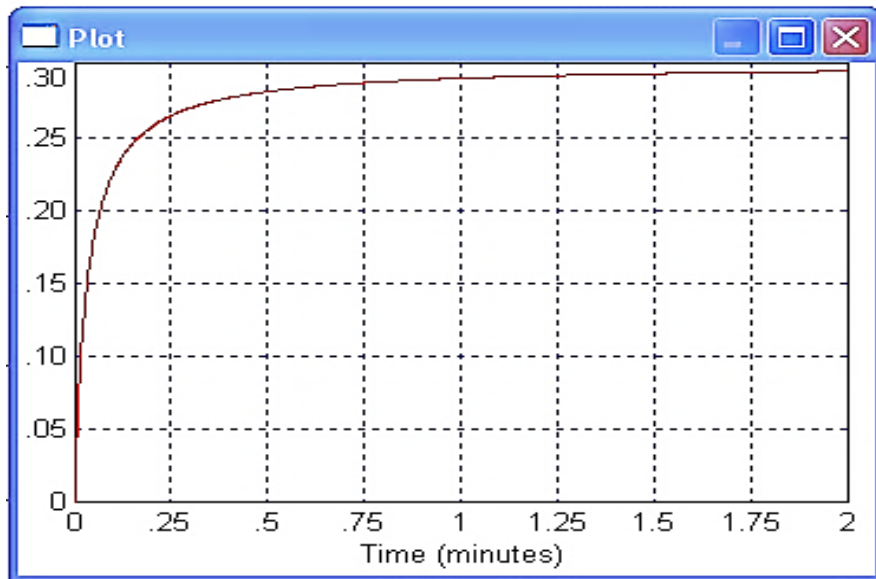


Рис. 6. График переходного процесса без системы управления

Управление смесителем по каналам: уровень жидкости и концентрация смеси, является независимым. Потому САУ концентрацией разработаем отдельно на базе того же микроконтроллера на логических элементах. Подбор коэффициентов передаточной функции был проведен методом наименьших квадратов, используя полученные экспериментальные данные (по вариантам)

$$W(S) = \frac{2}{30S + 1} \quad (3)$$

Процесс смешения происходит достаточно медленно, поэтому для управления можно использовать стандартный ПИ-регулятор. Так как система управления цифровая, тогда обратная связь является отрицательной единичной. Задатчик имеет значение 0.3, что соответствует 30% концентрации раствора.

Подбор параметров ПИ регулятора был проведен методом сканирования с помощью интегрального критерия качества – интеграла модуля ошибки (ИМО).  
 Результаты подбора:

$$K1 = 25; K2 = 1.5.$$

САУ концентрацией компонент смеси приводится на рисунке 7

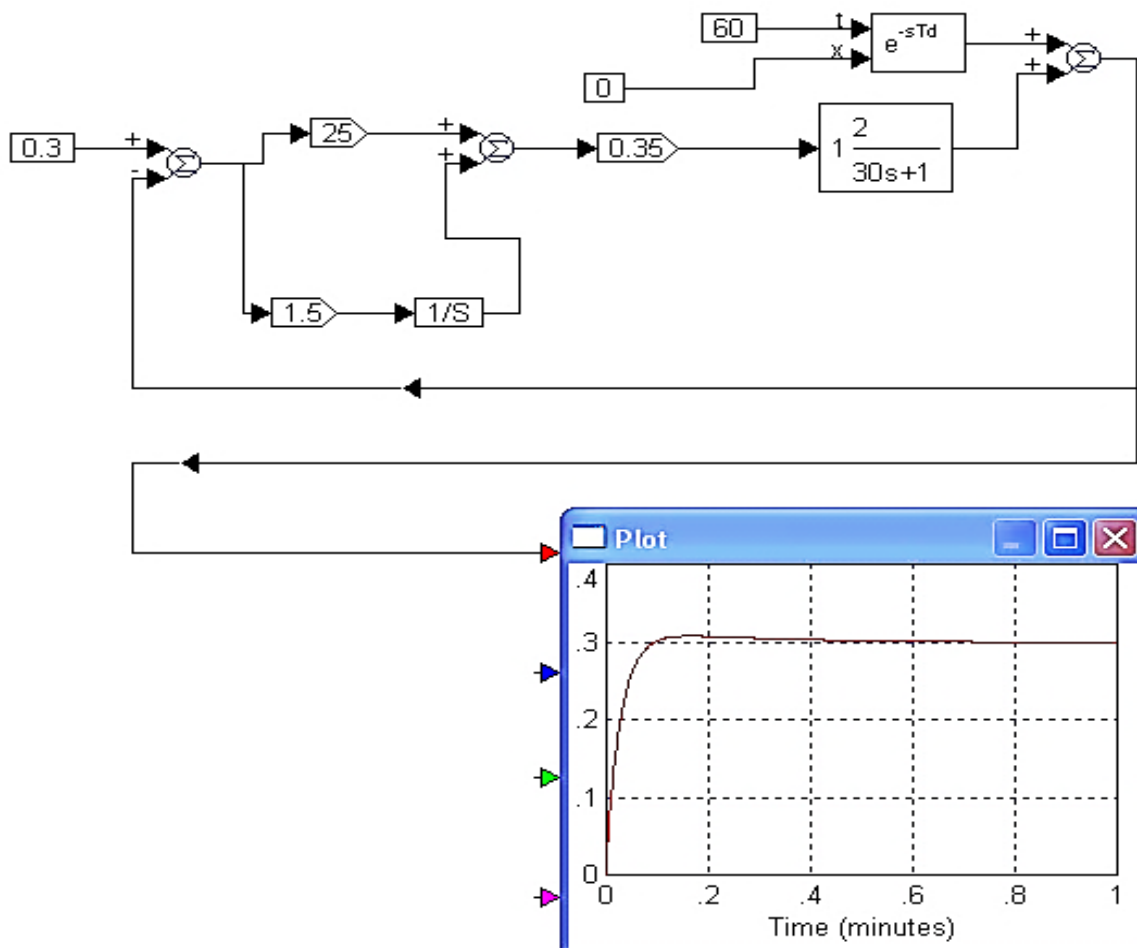


Рис. 7. САУ концентрацией компонент смеси

На осциллограмме показан переходной процесс в смесителе при автоматическом управлении концентрации смеси. Из графика видно, что время регулирования составляет 0.6 минуты. Перерегулирование практически отсутствует (составляет  $\approx 3\%$ ). Погрешность регулирования 0.1%.

Проведем исследование отклика системы управления на внешнее возмущающее воздействие. Смоделируем эту ситуацию на разработанной модели (рисунок 8).



В момент времени 60 секунд концентрация смеси резко возросла до 40%. САУ приводит значение концентрации к заданному технологическому режиму 30% за время 6–7 секунд. Таким образом, разработанная система автоматического управления смесителем обладает хорошими качественными показателями.

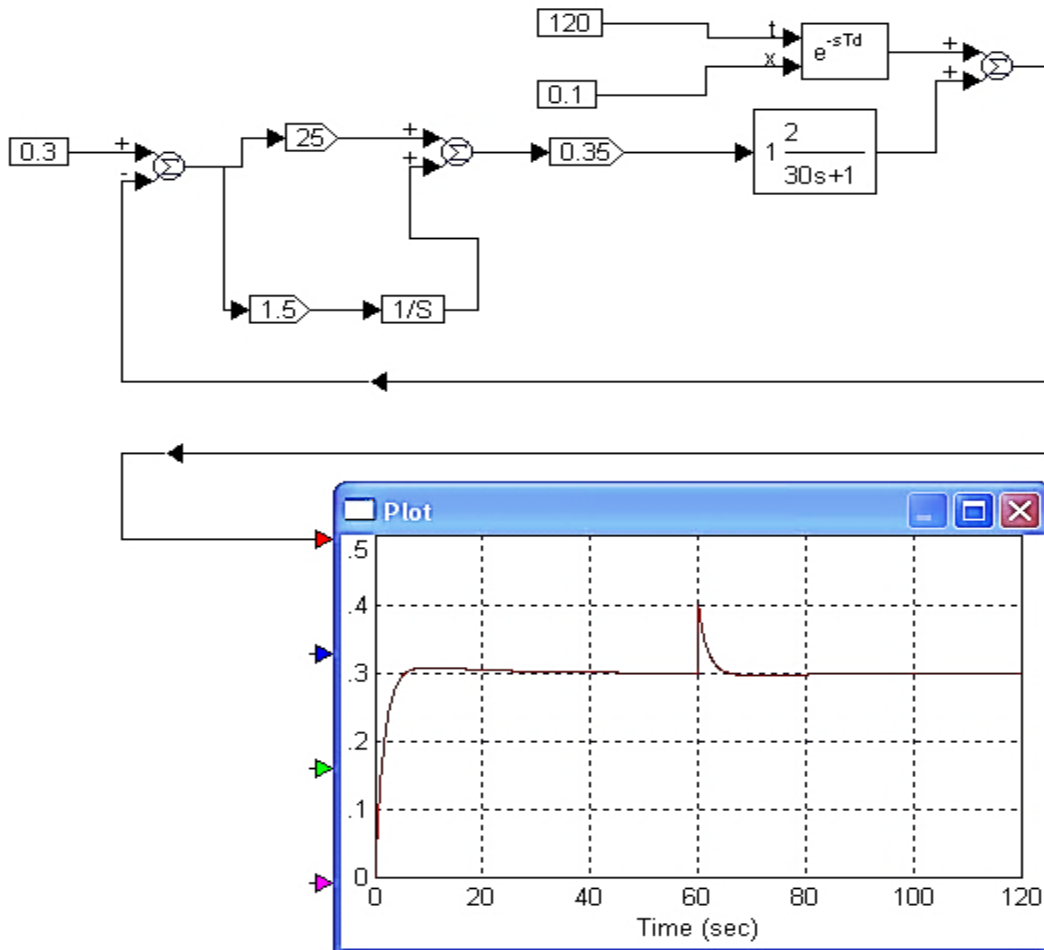


Рис. 8. Реакция САУ на внешнее возмущающее воздействие

Рассмотренные модели являются универсальными (открытыми) и применяются при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств», а также при разработке курсовых и дипломных проектов.

### *Список литературы*

1. Gryzhov V.K. Flexible converter of analog signal into discrete digital one with the example of double integration voltmeter / V.K. Gryzhov, V.G. Korol'Kov,

E.V. Gryzhov, A.D. Akshinsky // Automation and Remote Control. – 2014. – Т. 75. – №4. – С. 761–766.

2. Gryzhov V.K. Signal converter model for hybrid control system design in VisSim environment / V.K. Gryzhov, V.G. Korol'Kov // Автоматизация в промышленности. – 2010. – С. 17.

3. Грызов Д.В. Информационно-методические особенности моделирования в среде VisSim / В.К. Грызов, В.Г. Корольков // Инфокоммуникационные технологии в региональном развитии: Сборник трудов второй ежегодной межрегиональной научно-практической конференции. – Смоленск, 5–6 февраля 2009.

4. Грызов В.К. Гибкий преобразователь аналогового сигнала в дискретный цифровой на примере вольтметра двойного интегрирования / В.К. Грызов, В.Г. Корольков, В.Г. Корольков, А.Д. Акшинский // Автоматизация в промышленности. – 2012. – №8. – С. 63–66.

5. Грызов В.К. Модель преобразователя сигналов для проектирования гибридных систем управления в среде VisSim / В.К. Грызов, В.Г. Корольков // Автоматизация в промышленности. – 2010. – №7. – С. 17–19.

6. Грызов В.К. имитационная модель системы программного управления технологическими процессами в среде VisSim / В.К. Грызов, К.А. Кузьмин, Е.В. Грызов // Естественные и математические науки в современном мире. – 2014. – №16. – С. 54–59.

7. Корольков В.Г. Гибкий преобразователь аналогового сигнала в дискретный цифровой на примере вольтметра следящего уравнивания / В.Г. Корольков, В.К. Грызов, Е.В. Грызов // Автоматизация в промышленности. – 2013. – №6. – С. 65–68.

8. Кузьмин К.А. Оценка инфокоммуникационных факторов в рамках концепции устойчивого развития предприятия / К.А. Кузьмин, Е.Н. Кучерова // Экономика и предпринимательство. – 2016. – №6 (71). – С. 387–394.

9. Фролин Д.В. Оптимизация управления температурой в цилиндре экструдера при производстве термопластичных изделий при помощи среды имитационного моделирования VisSim / Д.В. Фролин, В.К. Грызов // Московское научное обозрение. – 2013. – №10 (38). – С. 15–18.

10. Фролин Д.В. Разработка имитационной модели системы автоматического управления температурой перерабатываемого материала в цилиндре экструдера при помощи среды VisSim / Д.В. Фролин, В.К. Грызов // Московское научное обозрение. – 2013. – №7 (35). – С. 13–15.