

**Кузьмин Константин Анатольевич**

канд. пед. наук, доцент

**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 (ПКУ)»

г. Вязьма, Смоленская область

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА**

***Аннотация:** в статье приводятся результаты имитационного моделирования автоматизированной системы охлаждения испытательного стенда в среде динамического программирования VisSim. Приведен эксперимент. Проведена идентификация объекта управления и разработана модель автоматизированной системы охлаждения стенда.*

***Ключевые слова:** испытательный стенд, имитационная модель, идентификация, автоматизированная система управления.*

Для реализации методов имитационного моделирования использована среда динамического программирования VisSim. В работах [1–4] приводятся некоторые примеры использования среды VisSim для имитационного моделирования технических средств автоматизации. Применение имитационного моделирования для проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами весьма широко раскрыты в работах [5; 6]. Экономические аспекты использования имитационных моделей приведены в статье [7].

Агрегат управления АУ-38Б является гидравлическим и входит в систему автоматической регулировки воздухозаборника (АРВ-39Д), предназначенную

для автоматического регулирования положения клина воздухозаборника основного изделия. Агрегат управления регулирует расход рабочей жидкости, поступающей от гидросистемы основного изделия к гидроцилиндру управления клином воздухозаборника изделия.

С целью обеспечения эффективности тяги и надёжной работы двигателя на всех режимах полёта самолёта и на всех режимах работы двигателя необходимо проводить систематические испытания и капитальный ремонт агрегата управления АУ-38Б. Для этой цели применяется испытательный стенд.

При работе стенда происходит непрерывное выделение теплоты, приводящее к резкому повышению температуры. Для поддержания температуры рабочей жидкости в АУ-38Б в пределах  $70...80^{\circ}\text{C}$ , требуемых по условиям испытаний «Руководства на капитальный ремонт агрегата управления АУ-38Б» необходима система охлаждения.

Механизмы тепловыделения и теплопередачи различны, обладают перекрёстными связями, и сложны для математического описания. Поэтому, параметры передаточной функции объекта управления (агрегата АУ-38Б) теоретически рассчитать сложно и в данной работе используется экспериментальный метод идентификации.

На рисунке 1 представлена структурная схема системы управления. Объект имеет две входные переменные и одну выходную.

Входные переменные:

- расход рабочей жидкости, который задаётся алгоритмом (программой);
- датчик температуры, установленный в терморегуляторе ТРМ-12.

Выходная, управляемая переменная – температура рабочей жидкости (масла 7–50С-3) агрегата.

С целью определения переходных характеристик объекта управления проведён эксперимент, состоящий из двух этапов:

*Этап I.* При отключенной системе охлаждения был установлен расход рабочей жидкости  $Q = 8,0$  л/мин. Температура рабочей жидкости и самого агрегата

возрастала от начальной  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  до максимально разрешённой ТУ  $t_{\text{макс}} = 80^\circ\text{C}$  за время 7 мин.

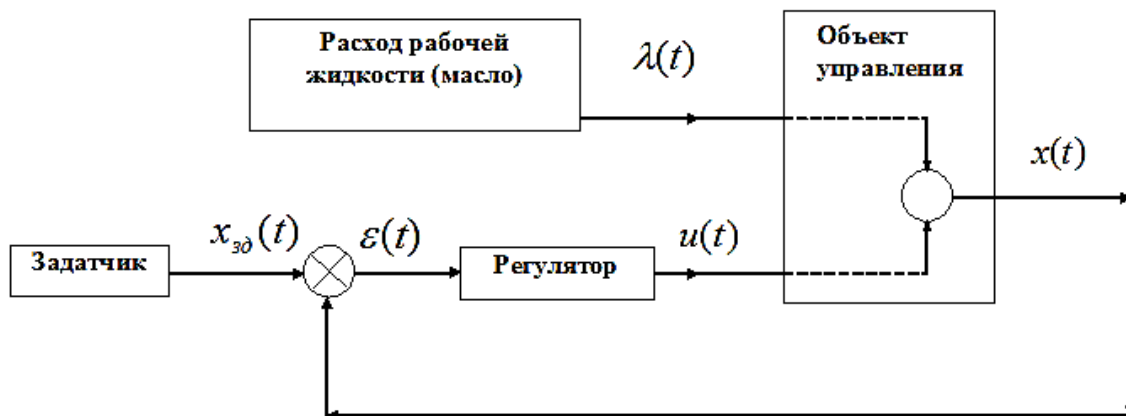


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы охлаждения испытательного стенда

Измерение температуры проводилось через каждые 60 сек. Экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Время мин.	0	1	2	3	4	5	6	7
Расход л/мин.	8	8	8	8	8	8	8	8
Температура $^\circ\text{C}$	20	34	50	63	70	75	78	79

Эти данные позволяют сделать вывод, что объект управления по каналу – расход рабочей жидкости – температура можно представить в виде двух апериодических звеньев, соединённых последовательно.

Параметры этих звеньев определены методом сканирования, используя критерий оптимальности наименьших квадратов.

Таким образом, математическую модель объект управления по каналу управления – расход рабочей жидкости – температура, можно представить в виде передаточной функции:

$$W_I(s) = (600 * 780 / 40s + 1) * (1 / 120s + 1)$$

Результаты идентификации и график переходного процесса показаны на рисунке 2.

Полученный теоретически график переходного процесса и экспериментальные данные совпадают с достаточно высокой точностью.

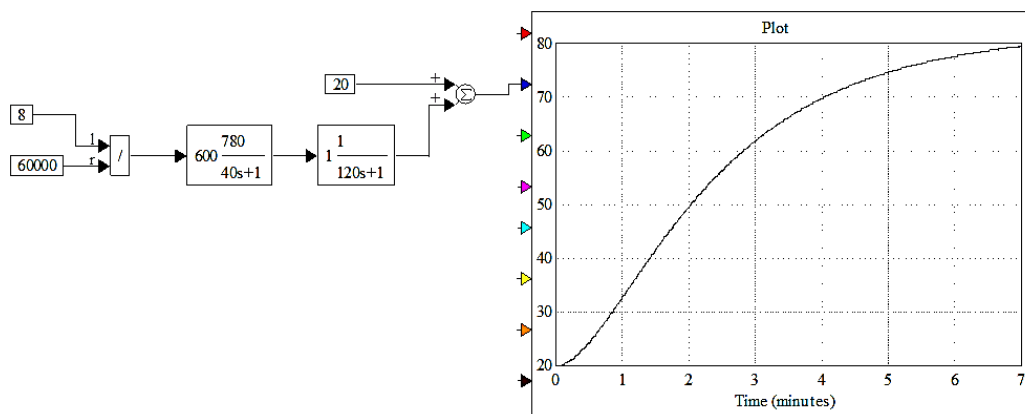


Рис. 2. Идентификация объекта управления по экспериментальному графику переходного процесса без системы охлаждения.

Расход рабочей жидкости 8 л/ мин.

*Этап II.* Определение передаточной функции объекта управления по каналу управления температурой:

Расход рабочей жидкости установлен 20 л/мин. Через 2 минуты была включена подача охлаждающей жидкости (в этот момент времени температура в объекте достигала значения 95°C).

Расход охлаждающей жидкости составлял 0,5м³/ч. Полученные экспериментальные данные процесса охлаждения – зависимости температуры от времени представлены в таблице 2.

Таблица 2

Время, мин.	2	3	4	5
Расход, л	0,5	0,5	0,5	0,5
Температура °C	95	77	64	65

По каналу управления температурой объект управления на основании полученных экспериментальных данных можно представить передаточной функцией вида:

$$W_2(s) = (20 * 35 / 24s + 1) * (1 / 50s + 1)$$

На рисунке 3 приводятся результаты идентификации.

Полная передаточная функция объекта управления с двумя входными переменными равна сумме полученных передаточных функций:

$$W(s) = W_1(s) + W_2(s)$$

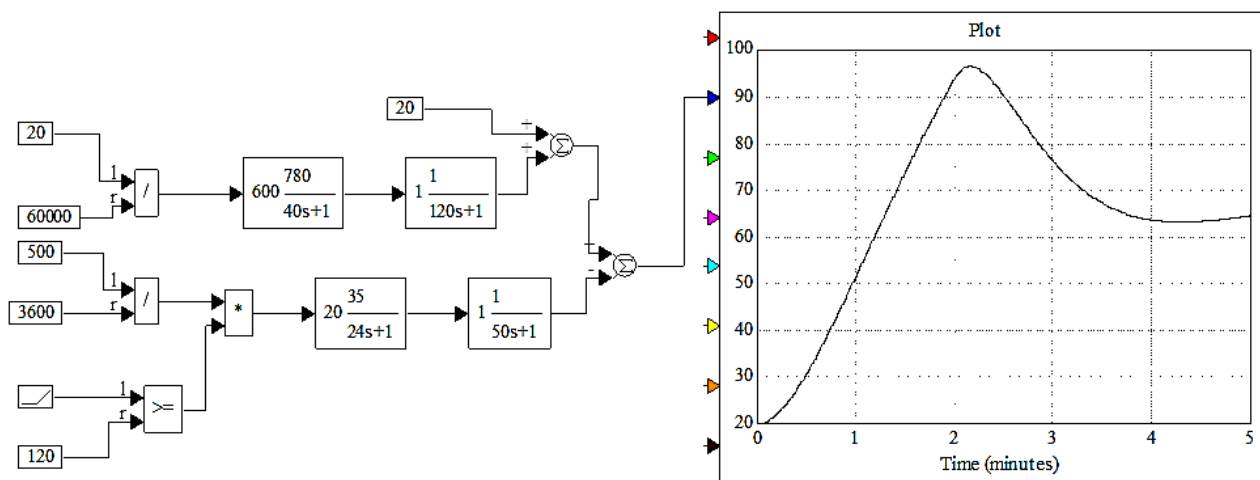


Рис. 3. Идентификация объекта управления по экспериментальному графику переходного процесса с системой охлаждения.

Расход рабочей жидкости 20 л/ мин.

По результатам эксперимента разработана математическая модель системы автоматизированного управления охлаждающей жидкостью испытательного стенда.

Согласно технологической карте испытаний в таблице 3, приводятся данные изменения расхода рабочей жидкости как функция времени. Управление расходом жидкости производится при помощи управляющего тока в электрической обмотке преобразователя сигналов.

Таблица 3

Время мин.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Расход л.	8	8	8	8	8	32	54	68	10	35	56	70
Сила тока мА	10	10	10	10	10	30	50	70	10	30	50	70

Данный алгоритм разработан с помощью стандартных блоков в среде Vis-Sim и представлен на рисунке 4.

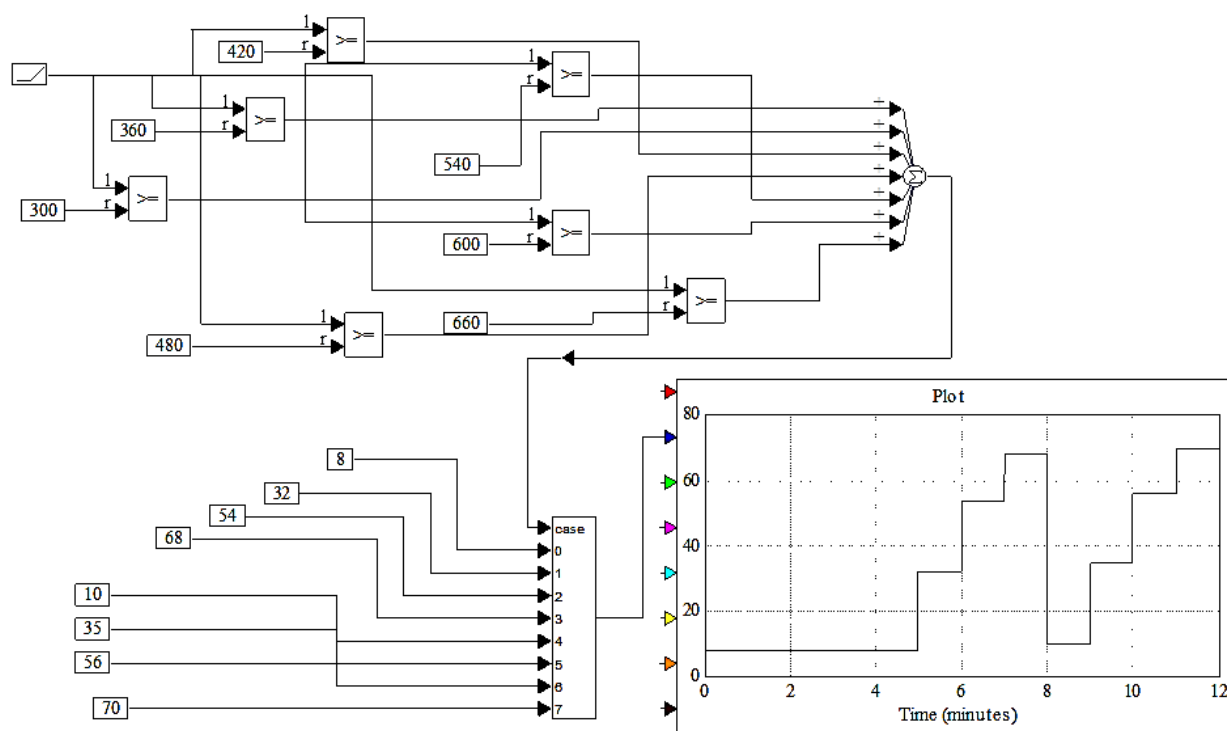


Рис. 4. Алгоритм управления расходом рабочей жидкости в агрегате АУ-38Б

Разработанная модель системы управления температурой агрегата АУ-38Б представлена на рисунке 5. Блок PROG R представляет собой задатчик расхода рабочей жидкости (алгоритм расхода).

На рисунке 5:

- 1 – график расхода рабочей жидкости;
- 2 – график зависимости расхода от температуры и времени;
- 3 – эпюра команд управления гидроклапаном.

В системе управления используются два датчика температуры рабочей жидкости. С первого датчика (контур отрицательной обратной связи) преобразованный сигнал поступает на сравнивающее устройство терморегулятора ТРМ-12. С помощью второго датчика происходит включение контура управления температурой при достижении температуры рабочей жидкости  $70^{\circ}\text{C}$ . т.е включается система охлаждения. Регулятор производит стабилизацию температуры в окрестности  $75^{\circ}\text{C}$  с допуском  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ , что соответствует техническим условиям.

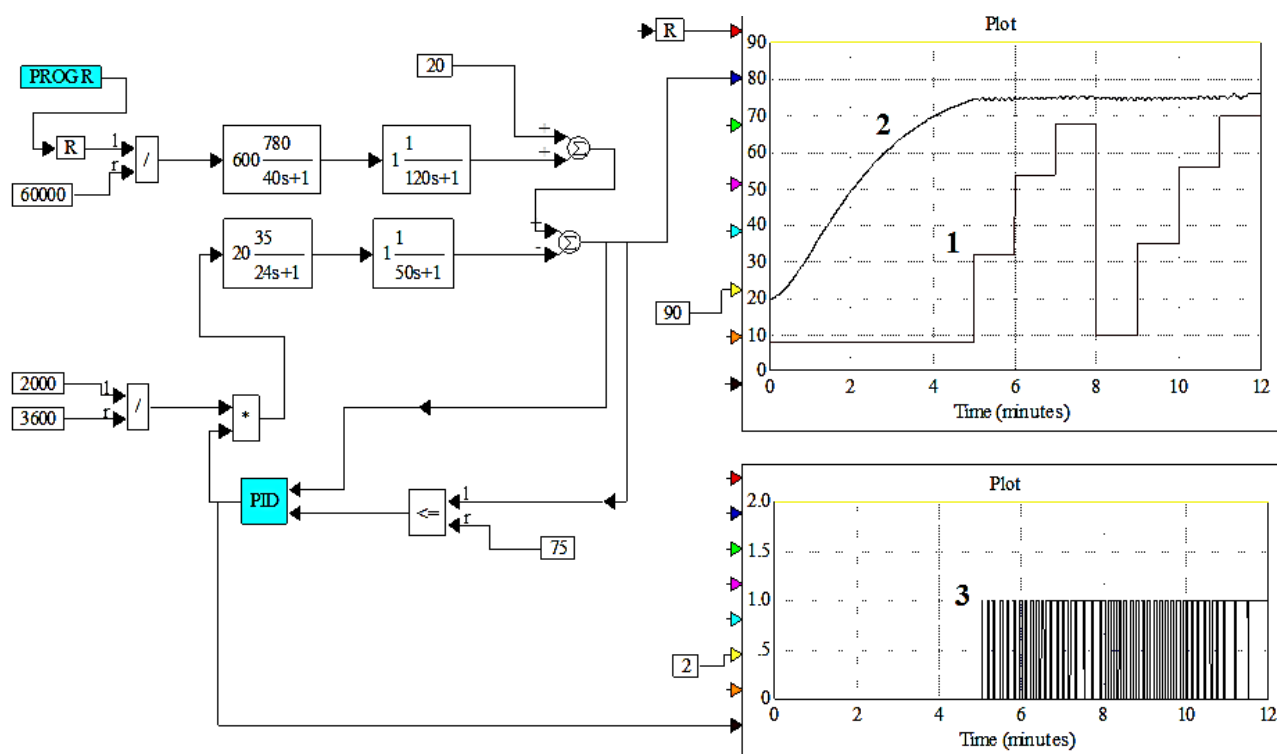


Рис. 5. Система управления температурой агрегата АУ-38Б  
при наличии двух входных переменных: расхода рабочей жидкости  
и канала управления температурой агрегата

Параметры ПИД-регулятора в ТРМ-12 настраиваются автоматически. Выходной сигнал с регулятора ТРМ-12 после усиления управляет открытием и закрытием гидроклапаном КЗР. Команды управления клапаном показаны на рисунке 6. Анализ представленных эпюр показывает, что при большом выделении количества теплоты клапан КЗР находится в открытом состоянии.

Интервал времени больше по сравнению с интервалом времени, когда выделяется меньшее количество теплоты, т.е. система охлаждения «справляется» с возложенной на неё функцией охлаждения.

Так как, в системе управления исполнительным механизмом и регулирующим органом является клапанный элемент, работающий в режиме «открыто»-«закрыто», то система управления является устойчивой.

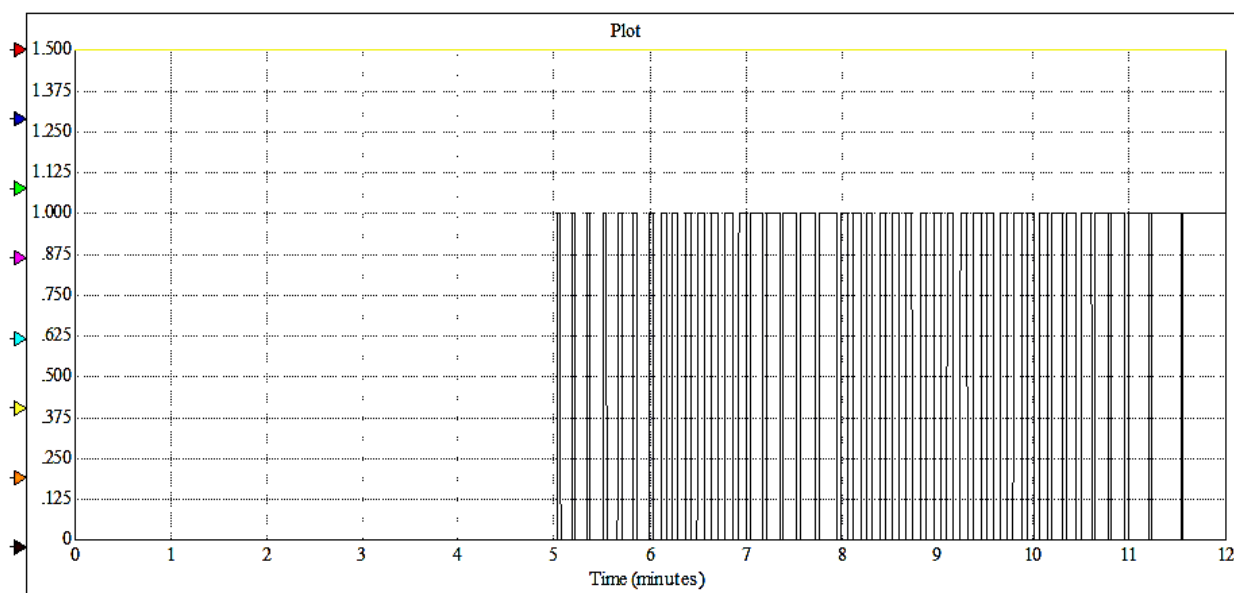


Рис. 6. Эпюра сигнала управления электромагнитным клапаном охлаждающей жидкости

Представленная имитационная модель системы управления параметрами испытательного стенда является открытой, позволяет исследовать технологический процесс, не прибегая к экспериментальным натурным наблюдениям.

Предлагаемые решения можно использовать при проектировании систем автоматического управления аналогичными объектами.

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

3. 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.



4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.