

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор/Декан  
института механики и энергетики  
Мастепаненко Максим Алексеевич

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ)**

**Б1.В.06 Имитационное моделирование микроконтроллерных  
встраиваемых систем**

**35.03.06 Агроинженерия**

Автоматизация и роботизация технологических процессов

бакалавр

очная

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций ОП ВО и овладение следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-2 Способен разработать проект автоматизированной системы управления технологическими процессами	ПК-2.1 Готовит обоснование создания автоматизированной системы управления технологическими процессами	<p><b>знает</b> Этапы проектирования АСУ ТП, роль моделирования, типовые структуры систем</p>
		<p><b>умеет</b> Ставить задачу на моделирование, выделять ключевые элементы процесса, подбирать типовые блоки в SiminTech</p>
		<p><b>владеет навыками</b> Декомпозицией процесса, созданием концептуальной схемы системы в среде моделирования.</p>
ПК-2 Способен разработать проект автоматизированной системы управления технологическими процессами	ПК-2.2 Готовит текстовую и графическую части эскизного и технического проектов автоматизированной системы управления технологическими процессами	<p><b>знает</b> Структуру проектов, методы настройки моделей (ПИД), критерии качества систем</p>
		<p><b>умеет</b> Разрабатывать функциональные схемы в SiminTech, проводить вычислительные эксперименты, анализировать графики</p>
		<p><b>владеет навыками</b> Построением комплексных моделей, параметрической оптимизацией, оформлением результатов (графики, выводы).</p>
ПК-2 Способен разработать проект автоматизированной системы управления технологическими процессами	ПК-2.3 Готовит к выпуску проект автоматизированной системы управления технологическими процессами	<p><b>знает</b> Критерии адекватности модели, принципы верификации.</p>
		<p><b>умеет</b> Тестировать модель в различных режимах, оформлять итоговую документацию по модели, обосновывать решения</p>
		<p><b>владеет навыками</b> Итоговым анализом и презентацией результатов моделирования, подготовкой проектного отчета.</p>

## 2. Перечень оценочных средств по дисциплине

№	Наименование раздела/темы	Семестр	Код индикаторов достижения компетенций	Оценочное средство проверки результатов достижения индикаторов компетенций
1.	1 раздел. Имитационное моделирование микроконтроллерных встраиваемых систем			
1.1.	Основы имитационного моделирования	8	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Тест, Задачи, Доклад, Устный опрос
1.2.	Моделирование встраиваемых систем управления	8	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Тест, Задачи, Доклад, Устный опрос
1.3.	Проектирование сложных встраиваемых систем	8	ПК-2.3, ПК-2.2	Тест, Задачи, Доклад, Устный опрос
1.4.	Зачет	8	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Тест, Задачи, Доклад, Устный опрос
	Промежуточная аттестация			За

## 3. Оценочные средства (оценочные материалы)

Примерный перечень оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде (Оценочные материалы)
<b>Текущий контроль</b>			
<b>Для оценки знаний</b>			
1	Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Фонд тестовых заданий
<b>Для оценки умений</b>			
<b>Для оценки навыков</b>			
<b>Промежуточная аттестация</b>			

2	Зачет	Средство контроля усвоения учебного материала практических и семинарских занятий, успешного прохождения практик и выполнения в процессе этих практик всех учебных поручений в соответствии с утвержденной программой с выставлением оценки в виде «зачтено», «незачтено».	Перечень вопросов к зачету
---	-------	---	----------------------------

**4. Примерный фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) "Имитационное моделирование микроконтроллерных встраиваемых систем"**

*Примерные оценочные материалы для текущего контроля успеваемости*

1. Тип: Выбор одного правильного ответа из четырех

Вопрос 1: Какова основная цель использования имитационного моделирования на этапе обоснования проекта АСУ ТП (ПК-2.1)?

а) Написание финального программного кода для микроконтроллера.

б) Снижение рисков и затрат за счет проверки концепций и предварительной настройки систем.

в) Изготовление опытного образца аппаратной части.

г) Оформление заводской инструкции по эксплуатации.

Ответ: б

Вопрос 2: Какое из перечисленных условий является НЕОБХОДИМЫМ для устойчивой работы замкнутой системы автоматического регулирования?

а) Наличие только отрицательной обратной связи.

б) Наличие ПИД-регулятора в контуре.

в) Запас по фазе в разомкнутой системе должен быть положительным.

г) Отсутствие любых нелинейностей в объекте управления.

Ответ: в

Вопрос 3: Что в первую очередь характеризует Логарифмическую Амплитудно-Частотную Характеристику (ЛАЧХ) разомкнутой системы?

а) Время переходного процесса.

б) Запас системы по устойчивости.

в) Статическую ошибку регулирования.

г) Максимальное перерегулирование.

Ответ: б

2. Тип: Выбор двух правильных ответов из четырех

Вопрос 1: Какие два преимущества дает использование имитационного моделирования при подготовке технического проекта АСУ ТП (ПК-2.2)? Выберите два варианта.

- а) Гарантирует отсутствие ошибок в готовом изделии.
- б) Позволяет оптимизировать параметры регулятора до создания hardware.
- в) Дает возможность исследовать поведение системы в аварийных режимах без риска.
- г) Полностью заменяет этап приемо-сдаточных испытаний.

Ответ: б, в

Вопрос 2: При моделировании системы управления температурой в термостате, введение зоны нечувствительности (гистерезиса) в релейный регулятор позволяет добиться двух следующих эффектов. Каких?

- а) Увеличить точность поддержания температуры.
- б) Уменьшить частоту включения/выключения нагревателя.
- в) Полностью устранить статическую ошибку.
- г) Снизить износ исполнительного механизма.

Ответ: б, г

Вопрос 3: Какие два параметра ПИД-регулятора напрямую влияют на ликвидацию статической ошибки в системе? Выберите два варианта.

- а) Пропорциональная составляющая ( $K_p$ ).
- б) Интегральная составляющая ( $K_i$ ,  $T_i$ ).
- в) Дифференциальная составляющая ( $K_d$ ,  $T_d$ ).
- г) Коэффициент усиления разомкнутого контура.

Ответ: а, б \*(Пояснение: П-составляющая уменьшает, И-составляющая полностью устраняет при  $K_i > 0$ )\*

3. Тип: Выбор трех правильных ответов из четырех (или «Верно/Неверно» для утверждений)

Задание: Отметьте три верных утверждения, характеризующих интегральную составляющую (I) ПИД-регулятора.

- а) Ускоряет реакцию системы на быстрое изменение ошибки.
- б) Позволяет добиться нулевой статической ошибки.
- в) Может привести к увеличению времени переходного процесса.
- г) При слишком большом значении может вызвать раскачивание (неустойчивость) системы.

Неверный ответ: а (это характеристика D-составляющей).

Ответ: б, в, г

4. Тип: Установление соответствия (4 элемента)

Задание: Установите соответствие между элементом структуры АСУ ТП и его основной функцией в имитационной модели.

Элементы:

Объект управления

Датчик (измеритель)

Регулятор (контроллер)

Исполнительный механизм

Функции:

А) Реализует закон управления (например, ПИД) на основе сигнала ошибки.

Б) Преобразует управляющий сигнал в физическое воздействие на объект (с возможными ограничениями).

В) Описывается математической моделью (например, передаточной функцией), поведение которой нужно изменить.

Г) Вносит в контур измерения запаздывание, шум или квантование.

Ответ: 1-В, 2-Г, 3-А, 4-Б

5. Тип: Установление правильной последовательности действий (4-5 действий)

Задание: Расположите в правильной логической последовательности этапы анализа устойчивости системы по ее ЛАЧХ и ЛФЧХ, полученным в SiminTech.

Действия:

А) Найти частоту среза (где  $L(\omega) = 0$  dB).

Б) Построить ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы.

В) Определить запас по фазе на частоте среза.

Г) Сделать вывод: если запас по фазе положителен (обычно  $> 30-60^\circ$ ), система устойчива.

Правильный порядок: Б  $\rightarrow$  А  $\rightarrow$  В  $\rightarrow$  Г

5 Задач для текущего контроля

Задача 1 (ПК-2.1, качественная)

Условие: При обосновании проекта АСУ уровня воды в баке студент предложил использовать только пропорциональный (Р) регулятор. Какая принципиальная проблема возникнет в такой системе при наличии постоянного водоразбора? Объясните, почему интегральная составляющая (I) решает эту проблему.

Ответ: Возникнет статическая ошибка – регулятор стабилизирует уровень не на заданном значении, а на некотором другом, так как для компенсации постоянного расхода ему нужно постоянное управляющее воздействие, которое Р-регулятор может создать только при ненулевой

ошибке. Интегральная составляющая накапливает ошибку во времени и формирует управляющее воздействие, которое может быть постоянным даже при нулевой текущей ошибке, полностью ликвидируя статическое отклонение.

#### Задача 2 (ПК-2.2, анализ графика)

Условие: На рисунке приведены две переходные характеристики (реакции на ступенчатое задание) одной и той же САР с ПИД-регулятором: 1 – с подобранными коэффициентами, 2 – с увеличенным коэффициентом дифференциальной составляющей ( $K_d$ ). График 2 имеет меньший выброс, но после него наблюдается небольшое низкочастотное «раскачивание». Объясните причину этого явления. Что можно попробовать изменить в настройках для его устранения?

Ответ: Чрезмерно увеличенная дифференциальная составляющая стала чрезмерно реагировать на шум измерения или на быстрые изменения ошибки, что привело к эффекту «перерегулирования по производной» и возбуждению слабозатухающих колебаний. Для устранения можно: 1) Уменьшить  $K_d$ , 2) Ввести фильтр низких частот на канал производной, 3) Более тонко настроить все три коэффициента ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) вместе.

#### Задача 3 (ПК-2.2, синтез)

Условие: Объект управления описывается передаточной функцией  $W_{об} = 1 / (s*(0.5s+1))$ . Необходимо спроектировать регулятор, обеспечивающий астатизм первого порядка (нулевую статическую ошибку по заданию). Какой минимальной структурой регулятора можно обойтись? Предложите его передаточную функцию и кратко обоснуйте.

Ответ: Достаточно ПИ-регулятора. Его передаточная функция:  $W_{рег} = K_p + K_i/s = K_p*(1 + 1/(T_i*s))$ . Обоснование: Объект уже содержит интегрирующее звено ( $1/s$ ). Для обеспечения астатизма 1-го порядка общая разомкнутая система должна иметь два интегрирующих звена. ПИ-регулятор добавляет еще одно интегрирование (за счет I-составляющей), что в сумме с интегрированием объекта дает необходимые два. П-составляющая нужна для обеспечения желаемого качества переходного процесса.

#### Задача 4 (ПК-2.2/2.3, анализ нелинейности)

Условие: В смоделированной САР скорости двигателя с ПИ-регулятором исполнительный механизм (усилитель) имеет ограничение по выходному напряжению (насыщение). Объясните, почему при большом скачке задания система, которая была устойчива в линейной модели, в данной нелинейной модели может войти в режим насыщения, а после выхода из него – продемонстрировать значительное перерегулирование или даже неустойчивые колебания.

Ответ: При большом скачке ошибка велика, и интегральная составляющая (I) ПИ-регулятора начинает быстро накапливаться, требуя большое управляющее воздействие. Усилитель выходит на ограничение и не может дать больше. Однако интегратор продолжает «накручиваться» (интегральная насыщенность, wind-up). Когда выходная переменная приближается к заданию, ошибка меняет знак, но интегральная составляющая еще долгое время остается большой и положительной, продолжая «толкать» систему в ту же сторону, вызывая сильное перерегулирование. Для борьбы с этим применяют алгоритмы Anti-Windup.

#### Задача 5 (ПК-2.3, проектная)

Условие: По итогам имитационного моделирования системы управления в SiminTech студент получил пакет результатов: схему модели, графики переходных процессов при разных заданиях, графики ЛАЧХ/ЛФЧХ. Перечислите 3-4 ключевых раздела, которые должны войти в его итоговый отчет по проекту (текстовую часть), и какую информацию из результатов моделирования следует в каждый раздел включить.

Ответ (примерный):

Введение/Постановка задачи: Цель моделирования, описание объекта и требований к системе (быстродействие, точность).

Структура модели: Функциональная схема системы из SiminTech с пояснением назначения блоков.

Результаты моделирования и анализ: Графики переходных процессов с расчетом времени регулирования, перерегулирования, статической ошибки. Графики ЛАЧХ/ЛФЧХ с указанием запасов устойчивости. Выводы о выполнении требований.

Заключение: Краткие выводы об эффективности предложенной структуры и настроек системы, рекомендации (например, по защите от насыщения).

***Примерные оценочные материалы  
для проведения промежуточной аттестации (зачет, экзамен)  
по итогам освоения дисциплины (модуля)***

## Теоретические основы и методология

1. Дайте определение имитационного моделирования. В чем заключаются его преимущества перед аналитическими методами при проектировании АСУ ТП?
2. Опишите основные этапы процесса имитационного моделирования сложной системы.
3. Какие виды имитационных моделей вы знаете? Их отличия и области применения в задачах проектирования АСУ ТП.
4. Что такое концептуальная модель? Опишите шаги по ее построению на основе анализа технологического процесса.

## Практическое применение и инструменты

5. Назовите и сравните основные среды имитационного моделирования, используемые для проектирования встраиваемых систем.
6. Как осуществляется верификация и валидация имитационной модели? Почему это критически важно для проектирования?
7. Что такое «планирование эксперимента»? Какой выигрыш оно дает при проведении имитационного исследования?
8. Опишите, как имитационная модель может быть использована для тестирования алгоритмов управления до их реализации в «железе».

## Связь с проектированием АСУ ТП и компетенциями

9. Как результаты имитационного моделирования используются для обоснования создания новой АСУ ТП (ПК-2.1)?
10. Какие ключевые показатели эффективности (КПЭ) технологического процесса можно оценить с помощью модели и включить в технико-экономическое обоснование?
11. Как имитационное моделирование помогает в выборе оптимальной архитектуры встраиваемой микропроцессорной системы?
12. Опишите, как результаты имитационного моделирования оформляются в виде графических материалов для эскизного и технического проектов (ПК-2.2).
13. Как с помощью моделирования производится оценка производительности и пропускной способности проектируемой АСУ ТП?
14. Как имитационная модель используется для анализа надежности и отказоустойчивости системы управления?
15. Каковы роль и место имитационного моделирования в процессе приемочных испытаний и выпуска проекта АСУ ТП (ПК-2.3)?
16. Как моделирование помогает минимизировать риски и сократить стоимость проектирования АСУ ТП?

## Частные случаи и углубленные темы

17. В чем заключаются особенности моделирования встраиваемых систем реального времени?
18. Как имитационные модели используются для отладки взаимодействия между компонентами АСУ ТП через промышленные сети (например, Modbus, PROFIBUS)?
19. Что такое модель «цифрового двойника» и как она связана с классическим имитационным моделированием?
20. Опишите, как можно использовать имитационную модель для генерации тестовых сценариев для готовой встраиваемой системы.

***Темы письменных работ (эссе, рефераты, курсовые работы и др.)***

## Темы докладов

1. Сравнительный анализ сред имитационного моделирования (AnyLogic, MATLAB/Simulink) для задач проектирования АСУ ТП.
2. Методы верификации алгоритмов управления технологическим процессом на основе имитационных моделей.
3. Имитационное моделирование как инструмент технико-экономического обоснования внедрения АСУ ТП.
4. Моделирование отказов и оценка надежности встраиваемых микропроцессорных систем в составе АСУ ТП.
5. Применение дискретно-событийного моделирования для оптимизации производственных циклов и выявления «узких мест».
6. Разработка и исследование имитационной модели сети встраиваемых устройств на основе промышленных протоколов (Modbus, OPC UA).
7. Роль имитационного моделирования в верификации требований и снижении рисков при выпуске проекта АСУ ТП.
8. Имитационное моделирование систем реального времени: проблемы адекватности и способы их решения.
9. Использование имитационных моделей для генерации тестовых сценариев и входных данных для встраиваемых систем.
10. Оптимизация архитектуры микропроцессорной системы управления на основе анализа данных имитационного эксперимента.