

**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)**

**ФТД.05 Сити-фермерство**

**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-3 Способен осуществлять производственный контроль параметров технологических процессов, качества продукции и выполненных работ при монтаже, наладке, эксплуатации энергетического и электротехнического оборудования, машин и установок сельскохозяйственно м производстве	ПК-3.1 Демонстрирует знания основных технических средств для контроля параметров технологических процессов, качества продукции и выполненных работ при монтаже, наладке, эксплуатации энергетического и электротехнического оборудования	<b>знает</b> Требования законодательства Российской Федерации и нормативных правовых актов, нормативных технических и нормативных методических документов к составу и содержанию комплекта конструкторской документации простых узлов и блоков на стадиях эскизного, технического и рабочего проектов автоматизированных систем управления технологическими процессами
		<b>умеет</b> - Применять методики и процедуры системы менеджмента качества, правила автоматизированной системы управления организацией, требования частного технического задания на разработку простых узлов, блоков автоматизированных систем управления технологическими процессами для определения полноты данных для их разработки на различных стадиях проектирования
		<b>владеет навыками</b> - Анализ частного технического задания на разработку простых узлов, блоков автоматизированных систем управления технологическими процессами

## 2. Перечень оценочных средств по дисциплине

№	Наименование раздела/темы	Семестр	Код индикаторов достижения компетенций	Оценочное средство проверки результатов достижения индикаторов компетенций
1.	1 раздел. Раздел 1: Агробиологические основы выращивания в контролируемой среде			
1.1.	Фотосинтез, фенология и основы управления агроклиматом.	4	ПК-3.1	
1.2.	Питание растений, стресс, защита и автоматизированная диагностика.	4	ПК-3.1	
2.	2 раздел. Раздел 2: Технологии выращивания и проектирование основных систем			
2.1.	Основные технологии выращивания продукции аквабиоресурсов на основе прогрессивных методов.	4	ПК-3.1	
2.2.	Основы проектирования климатических систем.	4	ПК-3.1	

2.3.	Фитотехническое искусственное облучение.	4	ПК-3.1	Тест
3.	3 раздел. Раздел 3: Основы автоматизации, роботизации, монтаж и эксплуатация систем выращивания прогрессивными методами.			
3.1.	Построение системы автоматизации и основы электромонтажа объектов сити-фермерства.	4	ПК-3.1	
3.2.	Системы автоматического полива, водоотведения и дренажа.	4	ПК-3.1	Кейс-задача
4.	4 раздел. Раздел 4: Интеграция, управление, экономика и нормативное обеспечение в сити-фермерстве.			
4.1.	Безопасность, экология и правовые основы деятельности сити-фермерства.	4	ПК-3.1	
4.2.	Технико-экономическое обоснование (тэо) проекта сити фермы.	4	ПК-3.1	
	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>			
2	Кейс-задача	Проблемное задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы.	Задания для решения кейс-задачи
<b>Промежуточная аттестация</b>			

3	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) "Сити-фермерство"**

*Примерные оценочные материалы для текущего контроля успеваемости*

1. Ключевые определения (10 вопросов с выбором правильного ответа)

Что такое DLI (Daily Light Integral)?

- A. Количество фотонов ФАР, падающих на единицу площади в секунду.
- B. Суммарное количество фотонов ФАР, получаемое растением за сутки.
- C. Мощность светового потока светильника, измеряемая в люменах.
- D. Отношение красного света к синему в спектре.

Правильный ответ: B

Что такое VPD (Vapor Pressure Deficit)?

- A. Разность между давлением насыщенного пара и фактическим давлением пара в воздухе.
- B. Относительная влажность воздуха, выраженная в процентах.
- C. Температура точки росы.
- D. Концентрация водяного пара в воздухе.

Правильный ответ: A

Что такое PPFД?

- A. Суммарный поток фотонов от светильника.
- B. Плотность потока фотосинтетических фотонов, падающих на единицу площади.
- C. Эффективность преобразования электроэнергии в свет.
- D. Длина волны красного света.

Правильный ответ: B

Что такое ЕС питательного раствора?

- A. Концентрация ионов водорода.
- B. Электропроводность, характеризующая общую концентрацию солей.
- C. Количество растворенного кислорода.
- D. Температура раствора.

Правильный ответ: B

Что такое фотоморфогенез?

- A. Процесс преобразования световой энергии в химическую.
- B. Изменение формы и структуры растений под действием световых сигналов.
- C. Реакция растения на изменение длины дня.
- D. Синтез хлорофилла в листьях.

Правильный ответ: B

Что такое фитохром?

- A. Пигмент, отвечающий за поглощение синего света.
- B. Фоторецептор, чувствительный к красному и дальнему красному свету.

- С. Фермент, участвующий в цикле Кальвина.
  - Д. Белок, регулирующий открытие устьиц.
- Правильный ответ: В

Что такое CAPEX в инвестиционном проекте?

- А. Текущие операционные расходы.
- В. Капитальные затраты на создание проекта.
- С. Выручка от реализации продукции.
- Д. Амортизационные отчисления.

Правильный ответ: В

Что такое OPEX?

- А. Капитальные затраты.
- В. Операционные расходы на поддержание производства.
- С. Чистая прибыль.
- Д. Срок окупаемости.

Правильный ответ: В

Что такое система УЗО?

- А. Устройство защитного отключения, предотвращающее поражение током.
- В. Установка замкнутого водоснабжения для рыбы.
- С. Устройство для измерения влажности.
- Д. Усилитель звукового оборудования.

Правильный ответ: А

Что такое технологическая карта в сити-фермерстве?

- А. Документ, описывающий конструкцию стеллажей.
- В. Формализованное описание всего производственного цикла от семени до уборки.
- С. Схема расположения светильников.
- Д. Инструкция по настройке контроллера.

Правильный ответ: В

2. Задачи с ответами «да» или «нет» (20 вопросов)

В каждом задании выберите «Да», если утверждение верно, и «Нет», если неверно.

В системе NFT для салата оптимальная длина канала может превышать 20 метров.

Нет

PPFD измеряется в микромолях на квадратный метр в секунду.

Да

DLI рассчитывается как произведение PPFD на фотопериод в часах, умноженное на 0,0036.

Да

Для большинства культур оптимальный диапазон VPD составляет 2,0-3,0 кПа.

Нет

При высоком VPD растение закрывает устьица, и фотосинтез останавливается.

Да

ЕС раствора напрямую показывает концентрацию азота.

Нет

В аквапонике рыбы выделяют аммиак, который бактерии превращают в нитраты.

Да

Минеральная вата имеет высокую катионообменную емкость (СЕС).

Нет

Для понижения рН в питательном растворе используют гидроксид калия.

Нет

В системе периодического затопления (Ebb & Flow) сливной клапан должен быть нормально-закрытым.

Нет

Рекуператор позволяет экономить до 80% энергии на нагрев приточного воздуха зимой.

Да

При использовании ночного тарифа на электроэнергию можно сместить фотопериод на ночные часы и сэкономить до 50% затрат на свет.

Да

Для измерения освещенности в сити-ферме достаточно обычного люксметра.

Нет

Красный свет (660 нм) подавляет вытягивание стебля.

Нет

Фотопериод влияет на цветение только у короткодневных растений.

Нет

Заземление оборудования обязательно для обеспечения электробезопасности.

Да

Самозанятый может нанимать работников по трудовым договорам.

Нет

Продукция сити-ферм на гидропонике может сертифицироваться как органическая по ГОСТ 33980.

Нет

В структуре ОПЕХ вертикальной фермы основную долю составляют затраты на семена.

Нет

Использование светильников с высоким РРЕ (мкмоль/Дж) снижает энергопотребление.

Да

### 3. Проверка утверждений (10 вопросов)

Определите, верно ли утверждение (Да/Нет).

Утверждение: «Фотосинтез состоит из световой и темновой фаз, причем темновая фаза происходит только в темноте».

Нет

Утверждение: «Критические периоды развития растений – это фазы, когда они наименее чувствительны к отклонениям параметров».

Нет

Утверждение: «В DWC системе корни постоянно находятся в растворе, и аэрация не обязательна».

Нет

Утверждение: «ПИД-регулятор в автоматике позволяет более точно поддерживать параметры по сравнению с релейным управлением».

Да

Утверждение: «Для подключения датчика температуры DS18B20 к Arduino требуется подтягивающий резистор».

Да

Утверждение: «Система заземления TN-S предусматривает разделение нулевого рабочего и нулевого защитного проводников».

Да

Утверждение: «Ультразвуковой датчик HC-SR04 может использоваться для измерения уровня жидкости в баке».

Да

Утверждение: «При приготовлении питательного раствора концентраты А и Б можно смешивать в одной емкости без разбавления».

Нет

Утверждение: «Субстрат из кокосового койра обладает большей воздухоемкостью, чем минеральная вата».

Да

Утверждение: «В установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) для рыбы биофильтр служит для удаления твердых отходов».

Нет

#### 4. Задания на последовательность действий (10 заданий)

Расположите шаги в правильном порядке, указав цифры от 1 до 5.

Последовательность приготовления питательного раствора из двух концентратов:

А. Добавить концентрат А в бак с водой.

Б. Добавить концентрат Б.

В. Измерить рН и ЕС.

Г. Тщательно перемешать.

Д. Откорректировать рН кислотой или щелочью при необходимости.

\*Правильный порядок: 1-А, 2-Б, 3-Г, 4-В, 5-Д\*

Последовательность монтажа системы периодического затопления (Ebb & Flow):

А. Установка стеллажей и лотков.

Б. Прокладка дренажной трубы с уклоном.

В. Монтаж насоса и фильтра.

Г. Подключение электромагнитного клапана на сливе.

Д. Гидравлические испытания.

\*Правильный порядок: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Последовательность настройки системы автоматического полива по датчику влажности:

- А. Установить датчик влажности в субстрат.
- Б. Подключить датчик к контроллеру.
- В. Задать верхний и нижний пороги срабатывания.
- Г. Включить насос при снижении влажности ниже нижнего порога.
- Д. Отключить насос при достижении верхнего порога.

\*Правильный порядок: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Последовательность расчета световой установки по DLI:

- А. Определить требуемый DLI для культуры.
- Б. Рассчитать необходимый PPFD (поделив DLI на фотопериод в секундах).
- В. Вычислить суммарный PPF для всей площади.
- Г. Выбрать светильник с известным PPF.
- Д. Рассчитать количество светильников.

\*Правильный порядок: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Последовательность запуска аквапонной системы (после монтажа):

- А. Запустить рыбу.
- Б. Заселить бактерии в биофильтр (или запустить цикл азота).
- В. Высадить растения.
- Г. Проверить работу насосов и аэрации.
- Д. Установить параметры воды (температура, рН).

\*Правильный порядок: 1-Г, 2-Д, 3-Б, 4-А, 5-В\*

Последовательность действий при калибровке рН-метра:

- А. Промыть электрод дистиллированной водой.
- Б. Поместить электрод в буферный раствор рН 7.
- В. Отрегулировать показание до 7.00 с помощью подстроечного резистора.
- Г. Промыть электрод.
- Д. Поместить в буфер рН 4 и отрегулировать второй точкой.

\*Правильный порядок: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Последовательность разработки технико-экономического обоснования (ТЭО):

А. Расчет CAPEX.

Б. Расчет OPEX.

В. Определение выручки и прибыли.

Г. Расчет точки безубыточности.

Д. Оценка срока окупаемости.

\*Правильный порядок: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Последовательность подключения датчика DHT22 к Arduino:

А. Подключить питание (VCC) к 5V.

Б. Подключить землю (GND) к GND.

В. Подключить сигнальный пин к цифровому пину (например, 2).

Г. Установить библиотеку DHT.

Д. Написать скетч для чтения данных.

\*Правильный порядок: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Последовательность действий при обнаружении низкого уровня pH в растворе:

А. Измерить текущее значение pH.

Б. Рассчитать необходимый объем кислоты.

В. Включить дозатор кислоты на рассчитанное время.

Г. Перемешать раствор.

Д. Повторно измерить pH через некоторое время.

\*Правильный порядок: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Последовательность проектирования системы вентиляции:

А. Определить теплоступления от оборудования и растений.

Б. Рассчитать требуемый воздухообмен.

В. Выбрать тип и производительность вентиляционной установки.

Г. Разработать схему воздуховодов.

Д. Подобрать диффузоры и решетки.

\*Правильный порядок: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

5. Вопросы на соответствие (10 заданий)

Установите соответствие между элементами двух столбцов.

Соответствие между параметром и единицей измерения:

PPFD – А. мкмоль/м<sup>2</sup>·с

ЕС – Б. мСм/см  
DLI – В. моль/м<sup>2</sup>·сут  
VPD – Г. кПа  
DO – Д. мг/л

\*Ответ: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Соответствие между типом датчика и измеряемой величиной:

DHT22 – А. Температура и влажность  
BH1750 – Б. Освещенность (люкс)  
DS18B20 – В. Температура  
YF-S201 – Г. Расход жидкости  
HC-SR04 – Д. Расстояние (уровень)

\*Ответ: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Соответствие между технологией и типом корневой среды:

DWC – А. Постоянное погружение в раствор  
NFT – Б. Тонкая пленка раствора  
Капельный полив – В. Субстрат  
Аэропоника – Г. Воздушная среда с аэрозолем

\*Ответ: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г\*

Соответствие между элементом питания и симптомом дефицита:

Азот (N) – А. Хлороз старых листьев  
Калий (K) – Б. Краевой ожог листьев  
Кальций (Ca) – В. Вершинная гниль томатов  
Железо (Fe) – Г. Хлороз молодых листьев  
Фосфор (P) – Д. Тёмно-зелёные с фиолетовым оттенком листья

\*Ответ: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Соответствие между протоколом связи и его характеристикой:

I2C – А. Два провода (SDA, SCL), короткая длина  
1-Wire – Б. Один провод данных, адресация по уникальному коду  
RS-485 – В. Дифференциальная линия, длина до 1200 м  
Modbus RTU – Г. Протокол поверх RS-485, мастер-ведомый  
SPI – Д. Четыре провода, высокая скорость

\*Ответ: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Соответствие между типом отхода и классом опасности (по классификации РФ):

Ртутьсодержащие лампы – А. I класс  
Отработанные масла – Б. III класс  
Минеральная вата – В. IV класс  
Пищевые отходы – Г. V класс  
Аккумуляторы – Д. II класс

\*Ответ: 1-А, 5-Д, 2-Б, 3-В, 4-Г\*

Соответствие между компонентом электроцита и его функцией:

Автоматический выключатель – А. Защита от короткого замыкания и перегрузки  
УЗО – Б. Защита от токов утечки  
Контактор – В. Коммутация силовых цепей по сигналу управления  
Твердотельное реле – Г. Бесконтактная коммутация, часто для ШИМ  
Блок питания – Д. Преобразование 220В AC в низкое DC

\*Ответ: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г, 5-Д\*

Соответствие между типом лампы и её типичной эффективностью (мкмоль/Дж):

ДНаТ – А. 1,5-1,8  
Люминесцентная T5 – Б. 1,2-1,7

LED узкоспектральный – В. 3,2-3,8  
LED полноспектральный – Г. 2,6-3,0

\*Ответ: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г\*

Соответствие между длиной волны и её действием на растение:

450 нм (синий) – А. Подавление вытягивания, открывание устьиц  
660 нм (красный) – Б. Основной драйвер фотосинтеза, влияние на фитохром  
730 нм (дальний красный) – В. Реакция избегания тени, регуляция цветения  
280-315 нм (УФ-В) – Г. Синтез вторичных метаболитов

\*Ответ: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г\*

Соответствие между организационно-правовой формой и налоговой ставкой (при упрощённых режимах):

Самозанятый – А. 4% (с физлиц) или 6% (с юрлиц)  
ИП на ЕСХН – Б. 6% от разницы доходы-расходы  
ИП на УСН (доходы) – В. 6% от всех доходов  
ООО на ОСНО – Г. 20% от прибыли + НДС

\*Ответ: 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г\*

Кейс-задачи по лекции 1: Фотосинтез, фенология и основы управления микроклиматом

Задача 1.1. Расчет DLI для салата

Для выращивания салата сорта «Афицион» на ярусе площадью 0,8 м<sup>2</sup> требуется обеспечить DLI = 15 моль/м<sup>2</sup>/сут при фотопериоде 16 часов. Рассчитайте необходимую среднюю PPF. Определите, достаточно ли одного светильника с PPF = 300 мкмоль/с для достижения этого DLI, если коэффициент использования светового потока (CU) равен 0,8.

Задача 1.2. Определение VPD и корректировка микроклимата

В помещении фермы температура воздуха составляет 26°C, относительная влажность 65%. Рассчитайте VPD. Для культуры базилика оптимальный диапазон VPD – 0,8–1,2 кПа. Требуется ли коррекция влажности? Если да, предложите, какое устройство (увлажнитель или осушитель) необходимо включить и как изменится VPD при его работе.

Задача 1.3. Идентификация фенофазы по параметрам

При мониторинге установки с салатом на 10-й день после посева получены данные: PPF = 250 мкмоль/м<sup>2</sup>·с, температура днём 22°C, ночью 20°C, влажность 75%, ЕС раствора 1,5 мСм/см. Растения имеют 4 настоящих листа, корневая система хорошо развита. Определите текущую фенофазу. Какие параметры следует изменить для перехода к следующей фазе (уплотнение кочана)?

Задача 1.4. Влияние тепловыделения светильников на температуру

В помещении объёмом 100 м<sup>3</sup> установлены светильники общей мощностью 10 кВт. Коэффициент перехода электроэнергии в тепло для них равен 0,75. Рассчитайте, на сколько градусов повысится температура воздуха за 1 час, если вентиляция отключена (удельная теплоёмкость воздуха 1,005 кДж/(кг·°C), плотность 1,2 кг/м<sup>3</sup>). Сравните с допустимым перепадом и сделайте вывод о необходимости вентиляции.

Задача 1.5. Анализ стресса по изменению параметров

В системе DWC с салатом наблюдается увядание растений при влажности субстрата 100%. Показания датчиков: температура раствора 28°C, ЕС 2,8 мСм/см, рН 5,2. Предположите причину стресса. Какие измерения необходимо провести для подтверждения диагноза? Предложите меры по устранению.

Кейс-задачи по лекции 2: Питание растений, стресс, защита и автоматизированная диагностика

Задача 2.1. Коррекция рН в баке

В баке объёмом 500 л питательного раствора рН составляет 7,8. Для снижения до 6,0 требуется добавление 10% азотной кислоты. Известно, что для понижения рН на 0,1 в 100 л необходимо 20 мл

кислоты. Рассчитайте требуемый объём кислоты и время работы дозатора производительностью 120 мл/мин.

#### Задача 2.2. Приготовление рабочего раствора из концентратов

Для приготовления 200 л рабочего раствора с ЕС = 2,4 мСм/см необходимо смешать концентраты А и Б в пропорции 1:1000 (на 1 л воды – 1 мл каждого концентрата). Концентраты хранятся в ёмкостях по 50 л. Рассчитайте, сколько миллилитров каждого концентрата потребуется для заполнения бака, если исходная вода имеет ЕС = 0,2 мСм/см. Какой будет итоговый ЕС после добавления?

#### Задача 2.3. Диагностика дефицита по фото

На фотографии растений томата видны следующие симптомы: молодые листья желтеют, жилки остаются зелёными, края листьев буреют и отмирают. На старых листьях изменений нет. Определите, дефицит какого элемента наиболее вероятен. Какие действия следует предпринять для подтверждения и устранения проблемы?

#### Задача 2.4. Выбор субстрата для клубники

Для выращивания клубники в системе капельного полива необходимо выбрать субстрат. Доступны: минеральная вата (WHC = 80%, AFP = 10%, СЕС низкая), кокосовый койр (WHC = 60%, AFP = 25%, СЕС средняя), перлит (WHC = 20%, AFP = 40%, СЕС отсутствует). Учитывая, что клубника чувствительна к засолению и требует хорошей аэрации корней, какой субстрат вы предпочтёте? Ответ обоснуйте.

#### Задача 2.5. Оценка эффективности УФ-стерилизации

В рециркуляционной системе объёмом 1 м<sup>3</sup>/ч установлена УФ-лампа мощностью 40 Вт, обеспечивающая дозу облучения 30 мДж/см<sup>2</sup>. Производитель утверждает, что этого достаточно для инактивации 99% патогенов. Оцените, как изменится эффективность, если скорость потока увеличится вдвое. Какие меры можно принять для сохранения эффективности?

### Кейс-задачи по лекции 3: Технологии и установки: от гидропоники до аквакультуры

#### Задача 3.1. Выбор технологии для редиса

Предприниматель планирует выращивать редис на продажу. Срок вегетации редиса – 25 дней, урожайность – 2 кг/м<sup>2</sup> за цикл. Площадь помещения – 50 м<sup>2</sup>, высота – 3 м. Сравните два варианта: многоярусная NFT (4 яруса) и стеллажи с DWC (2 яруса). Рассчитайте потенциальный годовой объём производства (при 12 циклах) для каждого варианта. Какой вариант обеспечит большую производительность?

#### Задача 3.2. Гидравлический расчёт NFT-системы

Необходимо спроектировать NFT-установку для салата на 1000 растений. Плотность посадки – 20 растений/м<sup>2</sup>. Длина канала – 10 м, ширина – 0,12 м. Рекомендуемый расход на канал – 1,5 л/мин. Рассчитайте общее количество каналов, суммарный расход раствора. Определите требуемый напор насоса, если высота подъёма – 2 м, потери в фильтре – 2 м, потери в трубопроводе – 0,5 м, а давление на входе в каналы не требуется. Какой насос вы выберете (производительность, напор)?

#### Задача 3.3. Баланс аквапоники

В аквапонной системе содержится 150 кг рыбы (тиляпия). Кормление – 2% от массы в сутки, корм содержит 32% протеина. Коэффициент конверсии корма (FCR) = 1,6. Определите суточное выделение азота. Сколько растений салата (потребление азота 200 мг/кг прироста) можно прокормить этим азотом, если планируется получать 50 г прироста салата в сутки с одного растения? Сколько растений потребуется?

#### Задача 3.4. Проектирование капельного полива для томатов

В теплице на 200 растений томата планируется капельный полив. Расстояние между растениями – 0,4 м, между рядами – 0,8 м. Расход одной капельницы – 2 л/ч при давлении 1,5 бар. Трубы магистральные – ПНД 32 мм, длина магистрали – 30 м. Высота подъёма – 1,5 м. Потери в фильтре – 3 м. Рассчитайте общий расход, потери напора (используя табличные значения: для трубы

32 мм при расходе 0,5 м<sup>3</sup>/ч потери 0,04 м/м; при расходе 1 м<sup>3</sup>/ч – 0,12 м/м). Подберите насос.

### Задача 3.5. Расчёт УЗВ для осетровых

Для выращивания осетра в УЗВ требуется обеспечить плотность посадки 80 кг/м<sup>3</sup>. Объём бассейна – 10 м<sup>3</sup>. Рассчитайте максимальную биомассу рыбы. Суточный водообмен в системе очистки – 2 раза в час. Определите производительность насоса (м<sup>3</sup>/ч). Какой объём свежей воды потребуется добавлять ежедневно при 10% водообмене?

### Кейс-задачи по лекции 4: Проектирование инженерных систем: вентиляция, увлажнение, СО<sub>2</sub>

#### Задача 4.1. Расчёт воздухообмена по теплу и влаге

В помещении фермы площадью 80 м<sup>2</sup>, высотой 3 м, установлены светильники мощностью 12 кВт ( $k_{\text{тепл}} = 0,75$ ). Транспирация растений составляет 15 кг/ч. Внутренние условия:  $t = 24^{\circ}\text{C}$ , RH = 70%. Наружные условия (лето):  $t = 28^{\circ}\text{C}$ , RH = 60%. Рассчитайте требуемый воздухообмен по явному теплу ( $\Delta t = 4^{\circ}\text{C}$ ) и по влаге (используя влагосодержание: для внутреннего воздуха  $d_{\text{вн}} \approx 13$  г/кг, для наружного  $d_{\text{нар}} \approx 14,5$  г/кг). Какой фактор определяющий? Можно ли использовать наружный воздух для охлаждения без осушения?

#### Задача 4.2. Эффективность рекуперации

Зимой температура наружного воздуха  $-15^{\circ}\text{C}$ , внутренняя –  $24^{\circ}\text{C}$ . Приточная установка имеет пластинчатый рекуператор с КПД = 80%. Рассчитайте температуру приточного воздуха после рекуператора. Какую мощность нагревателя необходимо установить, если производительность установки 5000 м<sup>3</sup>/ч (плотность воздуха 1,2 кг/м<sup>3</sup>, теплоёмкость 1,005 кДж/(кг·°C))?

#### Задача 4.3. Подбор увлажнителя

Зимой наружный воздух с  $t = -10^{\circ}\text{C}$  и влагосодержанием 1,5 г/кг нагревается до  $22^{\circ}\text{C}$ . После нагрева его влагосодержание остаётся тем же. Рассчитайте относительную влажность нагретого воздуха. Для поддержания RH = 70% требуется увлажнение. Определите производительность увлажнителя (кг/ч) для притока 3000 м<sup>3</sup>/ч (плотность воздуха 1,2 кг/м<sup>3</sup>). Какой тип увлажнителя (паровой или адиабатический) предпочтительнее зимой?

#### Задача 4.4. Расчёт потребности в СО<sub>2</sub>

В помещении объёмом 200 м<sup>3</sup> при воздухообмене 1000 м<sup>3</sup>/ч необходимо поддерживать концентрацию СО<sub>2</sub> 1000 ppm. Наружная концентрация – 400 ppm. Интенсивность потребления СО<sub>2</sub> растениями – 300 г/ч. Рассчитайте требуемую подачу СО<sub>2</sub> (г/ч). Сколько баллонов жидкой СО<sub>2</sub> (ёмкость баллона 40 л, масса СО<sub>2</sub> 24 кг) потребуется на сутки непрерывной работы?

#### Задача 4.5. Гидравлический расчёт воздуховода

Для раздачи воздуха по ярусам используется перфорированный воздуховод длиной 15 м. Расход воздуха – 2000 м<sup>3</sup>/ч. Скорость в начале воздуховода не должна превышать 8 м/с. Рассчитайте минимальный диаметр воздуховода. Какая скорость будет при выбранном стандартном диаметре (например, 250 мм)? Оцените потери давления, если коэффициент сопротивления на трение 0,02 Па/м при данной скорости (используйте номограммы или приближённые формулы).

### Кейс-задачи по лекции 5: Фототехнологии: фитоосвещение, светокультура и фотоморфогенез

#### Задача 5.1. Расчёт количества светильников

Требуется осветить ярус площадью 1,5 м<sup>2</sup> для рассады томата с целевой PPFD = 400 мкмоль/м<sup>2</sup>·с. Доступны светильники с PPF = 600 мкмоль/с и PPE = 2,8 мкмоль/Дж. Коэффициент использования (CU) = 0,8. Рассчитайте необходимое количество светильников. Определите общую электрическую мощность и удельную мощность на м<sup>2</sup>.

#### Задача 5.2. Оценка экономии при замене светильников

Ферма использует 100 светильников мощностью 150 Вт каждый с PPE = 2,0 мкмоль/Дж. Планируется заменить их на светильники с PPE = 3,2 мкмоль/Дж, сохранив тот же световой поток (PPF). Как изменится суммарная мощность? Рассчитайте годовую экономию электроэнергии при работе 18 ч/сут, тарифе 6 руб./кВт·ч. Срок окупаемости, если стоимость нового светильника 8000 руб., а старого не учитываем.

### Задача 5.3. Расчёт спектрального соотношения

Для стимуляции цветения длиннодневных растений требуется соотношение красного (660 нм) к дальнему красному (730 нм) R:FR = 2:1. Светильник имеет PPF = 500 мкмоль/с, из которых на красный канал приходится 300 мкмоль/с, на дальний красный – 50 мкмоль/с, остальное – синий и зелёный. Соответствует ли он требуемому соотношению? Если нет, какую долю дальнего красного нужно добавить, принимая, что общий PPF не должен превысить 500 мкмоль/с (остальные каналы можно уменьшить)?

### Задача 5.4. Проектирование светового рецепта для салата

Для салата на стадии вегетации оптимальный спектр: красный 70%, синий 20%, дальний красный 5%, остальное – зелёный. Общий PPFD = 250 мкмоль/м<sup>2</sup>·с. Рассчитайте абсолютные значения PPFD для каждого канала. Предложите временной профиль для имитации рассвета (6:00-8:00) и заката (20:00-22:00), если в дневное время (8:00-20:00) используется полная интенсивность.

### Задача 5.5. Экономия при использовании ночного тарифа

Ферма потребляет на освещение 50 кВт. Световой день – 16 ч. Дневной тариф (7:00-23:00) – 6,5 руб./кВт·ч, ночной (23:00-7:00) – 2,2 руб./кВт·ч. Рассчитайте суточные затраты при обычном режиме (свет днём) и при смещении фотопериода на ночные часы (например, свет с 21:00 до 13:00, перекрывая частично дневной тариф). Оцените годовую экономию. Учтите, что часть светового периода может попадать на дневной тариф.

### Кейс-задачи по лекции 6: Электромонтаж и основы построения АСУ ТП

#### Задача 6.1. Выбор автоматического выключателя для насоса

Насос мощностью 2,2 кВт, 220 В,  $\cos \varphi = 0,85$ . Рассчитайте рабочий ток. Пусковой ток в 5 раз больше. Выберите номинал автоматического выключателя и характеристику (В, С или D). Подберите сечение медного кабеля (в воздухе) для линии длиной 30 м, допустимая потеря напряжения – 3%.

#### Задача 6.2. Расчёт нагрузки на фазы

В трёхфазной сети 380 В имеются нагрузки: фаза А – освещение 5 кВт, фаза В – насосы 4 кВт, фаза С – вентиляция 3 кВт, а также трёхфазная нагрузка 2 кВт. Рассчитайте ток каждой фазы и общий ток. Выберите вводной автоматический выключатель.

#### Задача 6.3. Программирование логики управления поливом

Напишите фрагмент кода для Arduino, который включает насос полива на 10 секунд каждые 2 часа, но только если температура воздуха ниже 30°C. Используйте функцию millis() для отсчёта времени без delay().

#### Задача 6.4. Подбор блока питания

Для питания контроллера (5 В, 0,5 А), трёх датчиков (каждый 5 В, 0,1 А) и двух электромагнитных клапанов (24 В, 0,2 А) требуется блок питания. Определите необходимую мощность и напряжение. Какой блок питания вы выберете (одноканальный или многоканальный)? Предложите схему подключения.

#### Задача 6.5. Расчёт заземляющего устройства

Для защиты электрооборудования необходимо заземление с сопротивлением не более 4 Ом. Грунт – суглинок с удельным сопротивлением 100 Ом·м. Используются вертикальные заземлители из стального уголка 50×50×5 мм длиной 2,5 м. Рассчитайте сопротивление одного заземлителя. Определите необходимое количество заземлителей при коэффициенте экранирования 0,7. Предложите схему их размещения.

#### Задача 7.1. Расчёт производительности насоса для капельного полива

Участок имеет 500 растений, каждое с капельницей 2 л/ч. Длина магистрали – 50 м, диаметр – 32 мм (внутренний 26 мм). Высота подъёма – 3 м. Потери в фильтре – 3 м, местные потери – 20% от потерь по длине. Определите общий расход, потери напора (используйте таблицу: для расхода 1 м<sup>3</sup>/ч потери 0,12 м/м, для 0,5 м<sup>3</sup>/ч – 0,04 м/м). Подберите насос.

### Задача 7.2. Расчёт времени заполнения в системе Ebb & Flow

Лоток для затопления имеет размеры 1,2×0,8×0,15 м. Насос подаёт 60 л/мин. Рассчитайте время заполнения лотка до уровня 10 см (объём воды). Если цикл затопления должен длиться 10 минут (включая заполнение, паузу и слив), определите, сколько времени раствор будет находиться в контакте с корнями, если слив занимает 3 минуты.

### Задача 7.3. Выбор диаметра трубы для NFT

Для NFT-системы с расходом 3 м<sup>3</sup>/ч необходимо выбрать диаметр магистральной трубы так, чтобы скорость потока не превышала 1,5 м/с. Рассчитайте минимальный внутренний диаметр. Какой стандартный диаметр ПНД трубы вы выберете (25, 32, 40, 50 мм)? Проверьте фактическую скорость.

### Задача 7.4. Расчёт гидравлических потерь в системе с несколькими каналами

Имеется 20 каналов NFT, каждый длиной 12 м, с расходом 1,2 л/мин. Питающий коллектор – труба 40 мм длиной 10 м. Потери на трение для коллектора: при расходе 24 л/мин (0,4 л/с) и диаметре 40 мм потери составляют 0,05 м/м. Рассчитайте потери в коллекторе. Определите общий напор насоса, если геометрическая высота 2 м, потери в фильтре 3 м, давление на входе в каналы не требуется. Коэффициент местных сопротивлений принять 0,3 от потерь по длине.

### Задача 7.5. Оценка неравномерности расхода по каналам

В NFT-установке с 10 каналами при суммарном расходе 15 л/мин измерены расходы: 1,2; 1,3; 1,1; 1,4; 1,2; 1,3; 1,2; 1,1; 1,5; 1,2 л/мин. Рассчитайте средний расход, максимальное отклонение от среднего в процентах. Соответствует ли это допустимой неравномерности (обычно ±10%)? Какие меры можно принять для выравнивания?

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

#### Часть 1. Теоретические и расчетные вопросы

##### Лекция 1: Фотосинтез, фенология, микроклимат

1. Понятие фенологической фазы растения. Как инженер может использовать знание фенофаз для управления производственным циклом?
2. Опишите фазы развития салата от семени до уборки. Какие критические параметры характерны для каждой фазы?
3. Фотосинтез как двухконтурная система: световая и темновая фазы. Что является входом и выходом каждого контура?
4. Закон минимума Либиха. Как он проявляется в фотосинтезе и какие инженерные выводы из него следуют?
5. Что такое PPFD и DLI? Как они связаны и почему DLI является более важным показателем для растениевода?
6. Дайте определение VPD (дефицита давления водяного пара). Как VPD влияет на транспирацию и фотосинтез?
7. Рассчитайте VPD, если температура воздуха 25°C, относительная влажность 70%. Используйте формулу давления насыщенного пара.
8. Какие параметры микроклимата кроме температуры и влажности важны для растений? Опишите влияние концентрации CO<sub>2</sub>, скорости воздуха и барометрического давления.
9. Что такое стресс растения с инженерной точки зрения? Перечислите основные типы абиотического стресса в СЕА.
10. Критические периоды в технологическом цикле. Приведите примеры для фазы проростков и пересадки.

##### Лекция 2: Питание растений, стресс, защита, диагностика

11. Каковы функции рН и ЕС в питательном растворе? Почему для гидропоники важен диапазон рН 5.5-6.5?
12. Диаграмма доступности элементов (Труога-Мейера). Какие элементы становятся менее доступными при рН выше 6.5?

13. Что такое ЕС? Как он связан с осмотическим давлением и почему его необходимо контролировать?

14. Растворенный кислород (DO) в питательном растворе. Какие методы аэрации используются для поддержания  $DO > 6$  мг/л?

15. Назовите основные макро- и микроэлементы питания растений. Какие функции выполняют азот, калий, кальций и железо?

16. Опишите симптомы дефицита азота, калия, кальция и железа.

17. Сравните свойства субстратов: минеральная вата, кокосовый койр, перлит, вермикулит. Какие характеристики важны для выбора?

18. Принципы составления питательных растворов: почему нельзя смешивать концентрированные растворы А и Б напрямую?

19. Методы обеззараживания рециркуляционных растворов: УФ, озонирование, термическая обработка, биоагенты. Достоинства и недостатки.

20. Основные биотические угрозы в СЕА: корневые гнили, мучнистая роса, вирусы, белокрылка. Каковы причины их появления и методы профилактики?

21. Концепция интегрированной защиты растений (IPM). Какова роль биологического контроля?

22. Автоматизированная диагностика: гиперспектральная съемка, термография, нейросетевой анализ. Что они позволяют обнаружить?

Лекция 3: Технологии и установки: гидропоника, аквапоника, УЗВ

23. Классификация гидропонных систем по состоянию корневой зоны и гидравлической схеме (рециркуляционные / run-to-waste).

24. Сравните технологии DWC, NFT, капельный полив на субстрате и aeropонику по критериям: оксигенация корней, ресурсоэффективность, надежность, капитальные затраты, подходящие культуры.

25. Устройство и принцип работы системы NFT. Каковы оптимальные уклон каналов, скорость потока, максимальная длина канала?

26. Расчет расхода раствора для NFT: дано 50 каналов длиной 10 м, ширина 0.1 м, глубина пленки 4 мм, скорость 0.15 м/с. Найти общий расход.

27. Технологическая карта выращивания. Какие разделы она содержит и для чего нужна?

28. Принцип работы аквапоники. Какие микроорганизмы участвуют в нитрификации и какова их роль?

29. Расчет баланса «рыба-растения-бактерии»: дана масса рыбы 200 кг, корм 35% белка,  $FCR=1.5$ . Сколько азота выделяется в сутки? Сколько растений салата можно прокормить, если потребление азота салатом 200 мг/кг прироста?

30. Устройство УЗВ для рыбы: основные узлы (механический фильтр, биофильтр, оксигенатор). Для чего нужен денитрификатор?

Лекция 4: Проектирование инженерных систем: вентиляция, увлажнение,  $CO_2$

31. Уравнение теплового баланса помещения сити-фермы. Перечислите основные источники тепlopоступлений.

32. Для чего нужна рекуперация тепла в системах вентиляции? Оцените экономию энергии зимой при разнице температур  $30^\circ C$  и КПД рекуператора 80%.

33. Как рассчитать воздухообмен по избыткам явного тепла? Приведите формулу.

34. В чем разница между относительной влажностью (RH) и дефицитом давления паров (VPD)? Почему VPD предпочтительнее для управления климатом?

35. Какие методы увлажнения и осушения воздуха применяются в СЕА? Опишите адиабатическое увлажнение.

36. Системы подачи  $CO_2$ : баллонная, генераторы сжигания газа, использование дымовых газов котельных. Сравните их.

37. Гидравлический расчет контура полива: какие потери напора учитываются? Напишите формулу для требуемого напора насоса.

38. Устройство растворного узла: бак-усреднитель, фильтры, дозирующие насосы, контроллер. Для чего нужны два концентрата А и Б?

39. Рассчитайте потери напора в трубе ПНД 25 мм длиной 30 м при расходе  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$

(используйте таблицы потерь или формулу).

40. Технологические режимы работы оборудования: как управлять светильниками по DLI, спектральное программирование, управление вентиляцией по VPD.

Лекция 5: Фитотехнологии: фитоосвещение, светокультура, фотоморфогенез

41. Что такое фотоморфогенез? Какие фоторецепторы (фитохромы, криптохромы) за него отвечают и какие спектры они воспринимают?

42. Как соотношение красного и дальнего красного света (R:FR) влияет на вытягивание стебля?

43. Как синий свет влияет на морфологию растений? Почему при его недостатке растения вытягиваются?

44. Расчет DLI: дано PPF = 300 мкмоль/м<sup>2</sup>·с, фотопериод 18 часов. Найти DLI.

45. Как подобрать количество светильников, зная требуемый DLI, площадь и PPF светильника?

46. Сравните натриевые лампы (ДНаТ), люминесцентные и LED по эффективности (мкмоль/Дж), спектру и применению.

47. Что такое PPF и PPE? Как они связаны?

48. Системы динамического освещения: что такое световые рецепты и как они реализуются аппаратно?

49. Тенденции развития фитотехнологий: повышение PPE, интеграция с ИИ, гибридное освещение.

Лекция 6: Электромонтаж и основы АСУ ТП

50. Требования ПУЭ к электромонтажу в помещениях с повышенной опасностью. Какие устройства защиты обязательны (УЗО, автоматы, заземление)?

51. Как выбрать сечение кабеля по току нагрузки? Пример: для светильников общей мощностью 4 кВт, 220 В, cosφ=0.95.

52. Структура электрощита управления: перечислите основные компоненты (вводной автомат, групповые автоматы, УЗО, контакторы, блоки питания, контроллер, клеммники).

53. Чем отличаются контакторы от твердотельных реле? Для каких задач они применяются?

54. Трехуровневая архитектура АСУ ТП: уровень датчиков, контроллерный, диспетчерский. Какие протоколы связи используются на каждом уровне (Modbus, Ethernet, Wi-Fi)?

55. Основы программирования Arduino для автоматизации: чтение аналоговых датчиков, управление реле, реализация ПИД-регулирования (концепция).

56. Какие библиотеки Arduino полезны для сити-фермера (DHT, OneWire, PID, Modbus)?

57. Как обеспечить отказоустойчивость АСУ ТП (watchdog, резервирование, сохранение параметров в EEPROM)?

Лекция 7: Основы расчёта и монтажа системы автоматического полива

58. Классификация насосов для СЕА: циркуляционные, повышения давления, дренажные, перистальтические. Области применения.

59. Гидравлический расчет системы капельного полива: как определить требуемый напор и производительность насоса?

60. Циклы полива для разных технологий: капельный полив (импульсный режим, контроль дренажа), NFT (непрерывный), аэропоника (короткие импульсы), Ebb & Flow (заполнение-слив).

61. Монтажные правила для гидравлических систем: зонирование, уклоны, герметизация, типичные ошибки (установка насоса выше бака, отсутствие обратного клапана).

62. Почему в NFT важно, чтобы каналы были непрозрачными и имели уклон не менее 1%?

Часть 2. Кейс-задачи (20 шт.)

Кейс 1. Проектирование световой зоны

Для яруса площадью 1,2 м<sup>2</sup> требуется вырастить базилик с целевым DLI = 18 моль/м<sup>2</sup>/сут при фотопериоде 16 ч. Доступны светильники с PPF = 350 мкмоль/с и PPE = 3,2 мкмоль/Дж. Рассчитайте необходимое количество светильников, общую электрическую мощность и оцените равномерность освещения, если светильники имеют широкую КСС (120°).

Кейс 2. Управление микроклиматом

В помещении температура 27 °С, относительная влажность 50%. Рассчитайте VPD. Норма для культуры 0,8–1,2 кПа. Какие действия должна предпринять автоматика (включить увлажнитель/осушитель, изменить воздухообмен)? Ответ обоснуйте.

### Кейс 3. Диагностика неполадок в NFT

При осмотре NFT-системы обнаружено, что в начале каналов корни растений выглядят здоровыми, а в конце – подсохшими, часть растений увядает. Предположите возможные причины (не менее трёх). Как проверить каждую из них и устранить неисправность?

### Кейс 4. Подбор насоса для капельного полива

Система капельного полива включает 300 капельниц с расходом 2 л/ч каждая. Магистральный трубопровод – ПНД 40 мм (вн. диам. 34 мм), длина 60 м. Высота подъёма от бака до наиболее удалённой капельницы – 4 м. Потери в фильтре и узле дозирования – 3 м. Рассчитайте требуемый напор и производительность насоса. Подберите подходящий насос из модельного ряда (например, Grundfos).

### Кейс 5. Коррекция pH

В баке объёмом 800 л питательного раствора pH составляет 7,4. Необходимо снизить pH до 6,0. Из опыта известно, что для снижения pH на 0,1 в 100 л требуется 25 мл 10% азотной кислоты. Рассчитайте необходимый объём кислоты и время работы перистальтического дозатора с производительностью 150 мл/мин.

### Кейс 6. Выбор технологии для томатов

Инвестор планирует построить сити-ферму для круглогодичного выращивания томатов черри. Какую технологию (DWC, NFT, капельный полив на субстрате, aeroponika) вы порекомендуете? Обоснуйте выбор, учитывая требования томатов к опоре, объёму корневой системы, риску заболеваний и удобству сбора урожая.

### Кейс 7. Энергоэффективность освещения

Для фермы площадью 200 м<sup>2</sup> полезной площади требуется обеспечить PPF = 250 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с) при фотопериоде 18 ч. Сравните два варианта светильников: с PPE = 2,1 мкмоль/Дж (цена 3000 руб./шт., PPF = 500 мкмоль/с) и с PPE = 3,4 мкмоль/Дж (цена 6000 руб./шт., PPF = 500 мкмоль/с). Рассчитайте годовую экономию электроэнергии (при тарифе 6 руб./кВт·ч) и срок окупаемости дополнительных вложений.

### Кейс 8. Техничко-экономическое обоснование

Для проекта фермы производительностью 8 т салата в год составьте структуру CAPEX (в процентах) и оцените годовой OPEX. Известно: энергопотребление 65 кВт·ч/кг, цена электроэнергии 5,8 руб./кВт·ч, площадь помещения 120 м<sup>2</sup>, аренда 1200 руб./м<sup>2</sup>/мес, зарплата двух операторов по 45 000 руб./мес (с учётом страховых взносов), расходные материалы (семена, удобрения, упаковка) – 15 руб./кг. Рассчитайте себестоимость продукции и точку безубыточности при оптовой цене 280 руб./кг.

### Кейс 9. Программирование автоматки

Напишите фрагмент кода для Arduino (C++), который управляет вентилятором по температуре: включение при T > 26 °С, выключение при T < 24 °С (гистерезис). Предусмотрите защиту от дребезга контактов (используйте millis() для задержки).

### Кейс 10. Выбор субстрата

Для системы капельного полива томатов нужно выбрать субстрат – минеральная вата или кокосовый койр. Сравните их по влагоёмкости, воздухоёмкости, буферности (СЕС), долговечности и экологичности утилизации. Какой субстрат предпочтительнее для коммерческого производства и почему?

### Кейс 11. Расчёт DLI по измеренным данным

Датчик освещённости BH1750 показывает 22 000 лк. Для используемого фитосветильника эмпирический коэффициент пересчёта люкс → PPF равен 0,013. Рассчитайте PPF. Какой DLI

накопится за 18 часов? Сравните с потребностью салата (14–17 моль/м<sup>2</sup>/сут).

#### Кейс 12. Аквапонический баланс

В УЗВ содержится 300 кг тилляпии. Суточный рацион – 2% от массы рыбы, корм содержит 38% протеина. Коэффициент конверсии корма (FCR) = 1,4. Определите суточное выделение азота в воду. Сколько килограммов салата (потребление азота 200 мг/кг прироста) может теоретически обеспечить этот поток азота? Какие ещё элементы потребуют добавления в систему?

#### Кейс 13. Гидравлический расчёт NFT

NFT-установка состоит из 80 каналов длиной 15 м, шириной 0,12 м. Рекомендуемый расход на канал – 1,8 л/мин. Высота подъёма от бака до входа в каналы – 2,5 м. Магистральный трубопровод – ПНД 63 мм (вн. диам. 54 мм), длина 25 м. Потери в фильтре и фитингах принять 4 м. Рассчитайте общий расход и требуемый напор насоса. Подберите насос (укажите марку).

#### Кейс 14. Ошибка монтажа

При монтаже системы периодического затопления (Ebb & Flow) насос установили на 0,5 м выше уровня воды в баке. К чему это приведёт при первом пуске? Как правильно расположить насос и почему?

#### Кейс 15. Защита от низких температур

В неотапливаемом складском помещении, где размещена ферма, зимой температура может опускаться до +2 °С. Предложите инженерные решения для поддержания температуры воздуха на уровне 20 °С (расчёт теплопотерь, выбор обогревателей, использование светильников как источника тепла). Какие дополнительные меры необходимы для защиты корневой зоны?

#### Кейс 16. Правовая форма и налоги

Начинающий предприниматель планирует продавать микрозелень через соцсети и небольшие кафе. Ожидаемый годовой доход – 1,8 млн руб., расходы (аренда небольшого помещения, семена, упаковка) – 600 тыс. руб. Работников нанимать не планируется. Сравните налоговую нагрузку для самозанятого (6% от дохода) и ИП на ЕСХН (6% от разницы доходы–расходы). Какую форму вы рекомендуете и почему?

#### Кейс 17. Утилизация отходов

После двух лет работы фермы накопилось 8 тонн отработанной минеральной ваты. Как её утилизировать в соответствии с законодательством РФ? Какие документы необходимо оформить (паспорт отхода, договор с перевозчиком)? Возможны ли варианты вторичного использования?

#### Кейс 18. Расчёт освещения по DLI

Требуется обеспечить DLI = 16 моль/м<sup>2</sup>/сут на площади 50 м<sup>2</sup> при фотопериоде 17 ч. Светильник имеет PPF = 1200 мкмоль/с, коэффициент использования (CU) = 0,8. Рассчитайте необходимое количество светильников, суммарную электрическую мощность, если PPE = 2,9 мкмоль/Дж.

#### Кейс 19. Автоматическое дозирование удобрений

Опишите алгоритм работы контроллера для поддержания ЕС = 2,4 мСм/см в рециркуляционной системе. Какие датчики необходимы? Как учесть, что при доливе чистой воды ЕС падает? Нарисуйте блок-схему алгоритма.

#### Кейс 20. Интеграция в городскую инфраструктуру

Предложите схему интеграции сити-фермы с соседним дата-центром. Какие потоки ресурсов (тепло, CO<sub>2</sub>, вода) могут быть использованы? Оцените потенциальную экономию затрат на отопление и обогащение CO<sub>2</sub> для фермы и выгоду для дата-центра. Какие технические решения потребуются?

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

Агробиологические основы

1. Фотоморфогенез растений в условиях искусственного освещения: анализ влияния спектральных соотношений на рост и развитие салата и базилика.

Рассмотреть роль фитохромов и криптохромов, сравнить реакцию разных культур на соотношение красного/дальнего красного и долю синего света.

2. Физиологический стресс растений в контролируемой среде: причины, диагностика и методы предотвращения (на примере водного, солевого и температурного стресса).

Проанализировать абиотические стресс-факторы в СЕА, их симптомы, влияние на продуктивность и способы автоматизированного выявления.

3. Интегрированная защита растений (IPM) в условиях вертикальных ферм: биологические, физические и химические методы контроля вредителей и болезней.

Оценить эффективность энтомофагов, УФ-стерилизации, озонирования и других методов в замкнутой среде без пестицидов.

#### Инженерные системы и проектирование

4. Сравнительный анализ гидропонных технологий (DWC, NFT, капельный полив, аэропоника) для различных культур: критерии выбора и экономическая эффективность.

Провести сравнение по ключевым параметрам (оксигенация, ресурсоэффективность, надёжность) и предложить рекомендации для коммерческого применения.

5. Проектирование систем вентиляции и кондиционирования для сити-ферм: расчёт тепловлажностного баланса и подбор оборудования.

Рассмотреть методику расчёта воздухообмена по трём факторам, роль рекуперации и адиабатического охлаждения, привести пример для типового помещения.

6. Гидравлический расчёт и проектирование систем полива (NFT, капельный, аэропонный) с подбором насосного оборудования.

Выполнить детальный гидравлический расчёт для заданной системы, включая потери на трение, местные сопротивления, подбор насоса по рабочей точке.

7. Энергоэффективность фитоосвещения: сравнение различных типов светильников (LED, люминесцентные, ДНаТ) по критериям PPF, PPE и спектральному составу.

Провести анализ современных LED-решений, оценить возможность использования динамического освещения и ночного тарифа.

8. Автоматизация растворного узла: проектирование системы автоматической коррекции pH и ЕС с использованием ПИД-регуляторов.

Рассмотреть принципы дозирования концентратов, датчики, исполнительные механизмы, алгоритмы управления и настройку регуляторов.

9. Разработка архитектуры АСУ ТП для сити-фермы: от датчиков и контроллеров до облачной платформы.

\*Охарактеризовать трехуровневую структуру, протоколы связи (Modbus, RS-485, Wi-Fi), выбрать аппаратную платформу и обосновать решение.\*

10. Монтаж и эксплуатация электрощита управления сити-фермой: требования ПУЭ, выбор аппаратов защиты и компоновка оборудования.

Описать типовую схему распределительного щита, расчёт сечений кабелей, номиналов автоматов и УЗО, меры электробезопасности.

#### Фитотехнологии и управление средой

11. Светокультура как метод интенсификации производства: расчёт DLI, управление фотопериодом и динамические световые рецепты.

Исследовать зависимость продуктивности от суточной дозы света, предложить методику оптимизации фотопериода для конкретной культуры.

12. Влияние спектральных характеристик LED-светильников на накопление биологически активных веществ (антоцианов, витамина С, нитратов) в листовых овощах.

Проанализировать научные данные о роли синего, красного и УФ-спектров в синтезе вторичных метаболитов и качестве продукции.

13. Управление микроклиматом по VPD (дефициту давления паров): физические основы, расчёт и автоматизация.

Рассмотреть связь VPD с транспирацией и фотосинтезом, методы поддержания оптимума с помощью увлажнения, осушения и вентиляции.

14. Методы обогащения атмосферы CO<sub>2</sub> в сити-фермах: баллонная подача, генераторы

сжигания, использование дымовых газов – сравнительный анализ.

Оценить экономическую эффективность и технические особенности различных источников CO<sub>2</sub>, рассчитать потребность для типовой фермы.

15. Рециркуляция питательных растворов и утилизация отходов (субстраты, дренажи) в замкнутых агросистемах.

Исследовать методы очистки (обратный осмос, электродиализ, биологическая очистка) и нормативные требования к сбросу, предложить схему безотходного производства.

Аквапоника и интеграция

16. Принципы проектирования и расчёта баланса в аквапонных системах для совместного выращивания рыбы и растений.

Рассмотреть азотный цикл, рассчитать соотношение биомассы рыбы и площади растений, проанализировать типовые схемы УЗВ и гидропонных модулей.

17. Сити-ферма как элемент умного города: интеграция с энергосетями (рекуперация тепла, ночной тариф), водоснабжением и системой утилизации отходов.

Предложить концепцию симбиоза с городскими объектами (ЦОД, котельные, очистные сооружения) и оценить потенциальные выгоды.

18. Техничко-экономическое обоснование проекта сити-фермы: расчёт CAPEX, OPEX, точки безубыточности и срока окупаемости на примере заданной культуры.

Выполнить сквозной расчёт для гипотетического проекта, проанализировать чувствительность к изменению цен на энергию и урожайности.

19. Возобновляемые источники энергии в сити-фермерстве: оценка потенциала солнечных панелей, ветрогенерации и тепловых насосов для энергоснабжения вертикальных ферм.

Рассмотреть технико-экономические аспекты применения ВИЭ в городских условиях, привести примеры реализованных проектов.

20 Нормативно-правовое регулирование деятельности сити-ферм в РФ: выбор организационно-правовой формы, налогообложение, сертификация продукции (ТР ТС, органическая), экологические требования.

Проанализировать правовые аспекты для малого и среднего бизнеса, сравнить режимы (самозанятый, ИП, ООО), дать рекомендации по легализации производства.