

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН
Начальник отдела линейных
сооружений УРГСН
_____ А.Ж. Юнусов
_____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ Д.В. Ульрих
_____ 2019 г.

Анализ эффективности сжигания природного газа для подкормки
растений на примере агрокомплекса «Горный», г. Усть-Катав

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ
ЮУрГУ – 13.04.01.2019.125.06 ПЗ ВКР

Руководитель проекта:
к.т.н., доцент
_____ А.Н. Нагорная
_____ 2019 г.

Автор проекта:
студент группы АС-229
_____ Р.Р. Кутлукаев
_____ 2019 г.

Нормоконтролер:
к.т.н., доцент
_____ А.Н. Нагорная
_____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Кутлукаев Р.Р. Анализ эффективности сжигания природного газа для подкормки растений на примере агрокомплекса «Горный», г. Усть-Катав – Челябинск: ЮУрГУ, АСИ-229, 2019, 86 с., библиографич. список - 30 наим., 7 прил., 2 листа чертежей ф. А1

Данная выпускная квалификационная работа включает в себя разработку комбинированной системы подачи углекислого газа к растениям в агрокомплексе «Горный».

В основной части работы был выполнен подбор горелочных устройств, произведен расчет вредных веществ образующихся при сжигании природного газа для подобранных вентиляторных горелок и сравнение полученных результатов после изучения требуемых допустимых концентрации. Подобрано оборудование для устройства комбинированной системы подачи углекислого газа от котельных агрегатов и привозной сжиженной углекислоты. Так же была выполнена экономическая оценка и определена окупаемость предложенной системы.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ – 13.04.01.2019.125.06 ПЗ			
Зав. каф.		Ульрих Д.В.			Анализ эффективности сжигания природного газа для подкормки растений на примере агрокомплекса «Горный», г. Усть-Катав	Стадия	Лист	Листов
Н. контр.		Нагорная А.Н.					3	86
Руководит.		Нагорная				Кафедра ГИСиС		
Консультант								
Студент		Кутлукаев Р.Р.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	7
1.1 Аналитический обзор отечественных и зарубежных источников.....	7
1.2 Выводы по аналитическому обзору отечественных и зарубежных информационных источников литературы.....	22
2 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА.....	23
3 ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ.....	25
3.1 Тепловая нагрузка котельной.....	25
3.2 Тепломеханические решения.....	25
3.3 Устройство горелок.....	26
3.4 Тепловая схема котельной.....	28
3.5 Автоматизированные системы.....	29
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА СЖИГАЕМОГО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА (CO ₂).....	37
4.1 Определение расхода природного газа.....	38
4.2 Определение расхода диоксида углерода.....	39
5 ПОДБОР ВЕНТИЛЯТОРНОЙ ГОРЕЛКИ ДЛЯ КОТЛОВ №№ 4, 5, 6.....	40
5.1 Сравнение подобранных горелок.....	45
5.2 Расчет выбросов для горелки Weishaup.....	49
5.3 Расчет выбросов для горелки Oilon.....	50
5.4 Сравнение полученных значений.....	54
6 РАСХОД ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПО ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКЕ.....	58
7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА.....	60

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

7.1	Определение капитальных и эксплуатационных затрат для базовой системы подачи отходящих дымовых газов от котельных агрегатов для подкормки тепличных растений.....	60
7.2	Определение капитальных и эксплуатационных затрат на устройство системы подачи жидкой углекислоты для подкормки тепличных растений.....	62
7.3	Определение совокупных дисконтированных затрат.....	67
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	71
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	72
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	75
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	77
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	78
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	81
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	83
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	85
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	86

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

В агрокомплексах довольно часто используют для подкормки выращиваемых растений углекислый газ, в том числе отходящий дымовые газы от котельных агрегатов, для ускорения процессов роста и увеличения урожайности выращиваемых культур. При сжигании природного газа от котельных агрегатов в отработанных газах образуются вредные вещества, такие как оксиды азота (NO_x), серы (SO_x), углерода (CO_x) и этилен (C_2H_4).

Очевидно, что исследования, направленные на улучшение процесса выращивания растений в закрытом грунте и уменьшение количества вредных веществ в объеме тепличного комплекса, являются в данный момент актуальными.

Цель

Заключается в разработке комбинированной системы подачи углекислого газа, как от котельных агрегатов, так и сжиженного углекислого газа в теплый период к растениям в агрокомплексе «Горный».

Задачи

1. Произвести расчет необходимого количества углекислого газа для подачи в тепличный комплекс;
2. Сравнить горелочные устройства, применяемые на котельных агрегатах;
3. Дать технико-экономическое сравнение вариантов систем подачи углекислого газа и выбрать из них наиболее оптимальный.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

1 АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

На сегодняшний день повышение энергоэффективности является одной из важнейших задач XXI века. От результатов решения этой задачи зависит место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран и уровень жизни граждан.

В последнее время довольно часто стали использовать различные энергосберегающие мероприятия для экономии энергоресурсов и денежных средств.

Сельское хозяйство занимает немаловажное положение в мировой экономике, будучи основным поставщиком продуктов питания для населения Земли. Неуклонно растущая численность жителей планеты требует увеличения объемов сельскохозяйственного производства, что, в свою очередь, связано с повышением урожайности, развитием инновационных технологий в отношении консервации агропродукции, ее эффективной обработки, транспортировки до потребителя.

Одну из ключевых позиций в конструктивном решении проблемы занимают продукты сгорания, нашедшие применение в различных областях народного хозяйства в силу своих физико-химических свойств.

1.1 Аналитический обзор отечественных и зарубежных информационных источников

В статье авторов В.А. Шуваева, В.А. Голубева, Г.М. Кравцова «Выращивание огурца по малообъемной технологии в ЗАО «Трубчино» рассматривается опыт внедрения малообъемной технологии выращивания огурца с подачей углекислого газа для подкормки растений.

Описан метод подачи углекислого газа в теплицу с системой автоматизированного управления микроклиматом фирмы «PRIVA», благодаря установленному оборудованию установлены особо важные цели:

- снижение общего энергопотребления;

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

– повышения уровня надежности и эффективности применяемого оборудования;

– увеличение урожая растений в тепличных отделениях за счет, климатконтроллера, который поддерживает параметры микроклимата;

Подробно рассмотрена технология выращивания культуры огурца на данном тепличном производстве, также с применением подачи CO₂ в теплицу для подкормки растений огурца определенной концентрации по месяцам с 9 до 16 ч. Подведены итоги урожайности после первого сбора и эксплуатации установленного оборудования. Рентабельность составила 77,8%, прибыль – 6251000 руб/га [1].

Так же в статье А.В. Жербакова «Подкормка растений углекислым газом в культивационных сооружениях защищенного грунта» рассматриваются различные способы подкормки растений углекислым газом в теплицах.

Так, например применение угольного ангидрида (сухого льда) или жидкой углекислоты, требует тщательного технико-экономического обоснования. Данные способы подкормки хорошо распределяют углекислый газ по объему теплицы, а также имеют не оспоримым плюсом с экологической защищенности, но имеют недостатки, а именно большая себестоимость используемой подкормки и производство жидкой углекислоты, предприятия которых не всегда имеют необходимую мощность, достаточную для исправного покрытия тепличного комплекса с учетом необходимых объемов потребления.

Наиболее усовершенствованный способ, по мнению автора, является нагнетание углекислого газа при сжигании углеродосодержащих топлив. При сжигании топлива внутри тепличного помещения было замечено, что тепловое поле распространялось неравномерно по объему теплицы, растения в не которых случаях получали серьезные ожоги листьев, а также были подвержены тепловому воздействию некоторые элементы конструкции теплицы. Однако, не смотря на негативные факторы данный способ

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		8

подкормки получил наибольшее распространение из-за своей простоты и малой стоимости оборудования.

Наиболее перспективным и имеющим большие возможности является способ подачи углекислого газа от отходящих газов котельных. Данный способ лишен недостатков, который имелись при сжигании топлива внутри котельной, но следует отметить и недостатки данного вида подкормки, сложность системы контроля вредных газов и необходимостью их очистки.

На рисунке 1.1 изображена наглядная схема различных видов подкормки углекислотой. Как видно способ подкормки растений при сжигании топлива в котельных (отводящие газы) и специальных генераторах является наиболее совершенными [2].



Рисунок 1.1 – Способы подкормки углекислотой.

Авторами И.Р. Владыкиным, И.С. Елесиным в статье «Исследование энергоэффективных технологий подкормки углекислым газом биологических объектов в защищенном грунте» приводится сравнение биологических источников повышения концентрации углекислоты.

Углекислый газ особенно важен для развития растений, он играет огромную роль в фотосинтезе, а его элементы являются важнейшими

строительными материалы, которые особо важны для растений. Его используют в большом количестве при выращивании сельскохозяйственных культур, сельскохозяйственные продукты могут увеличивать урожайность на 5...20% без использования нитратов вредных для человека.

На данный момент в тепличной агропромышленности России остро встал вопрос об использовании подкормки с использованием углекислого газа для растений выращиваемых в теплицах.

Основным недостатком этих типов источников удобрений является кратковременное увеличение концентрации углекислого газа до необходимого уровня и отсутствие хорошего регулирования процесса подкормки.

Нехватка углекислого газа является самой важной проблемой, а не нехватка минеральных питательных веществ – так как около 94% поглощает растение сухого вещества из воды и углекислого газа, а оставшиеся 6% извлекает из минеральных удобрений.

Кроме того, автор статьи предоставляет наглядный рисунок 1.2, который демонстрирует, нам, как изменяется производительность растений при использовании углекислого газа.

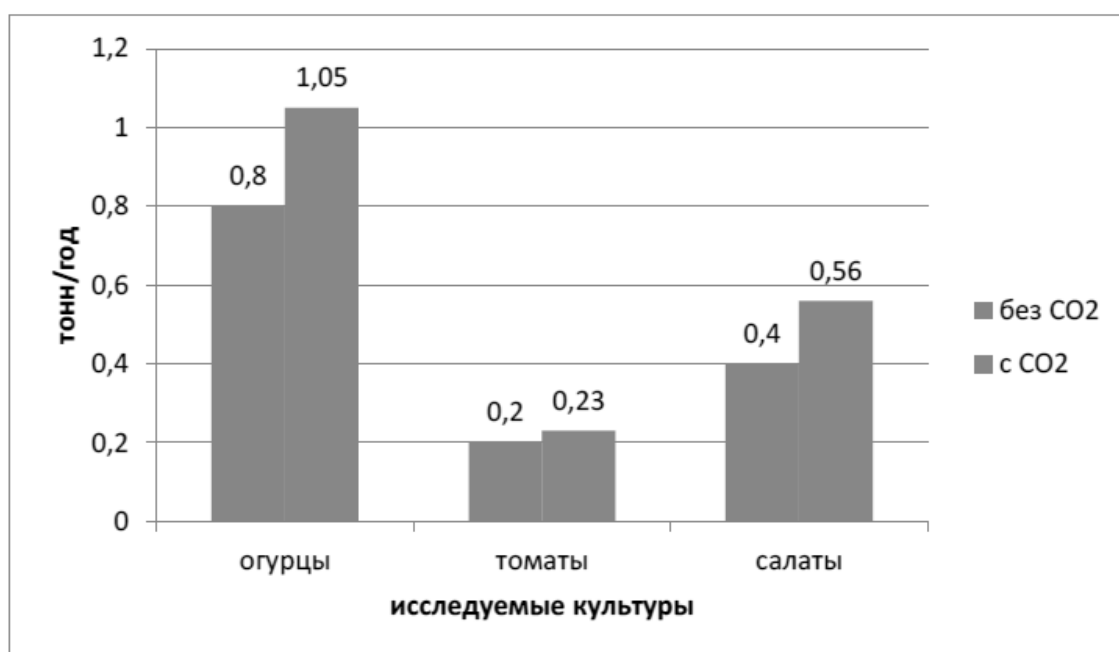


Рисунок 1.2 – Изменение урожайности у растений при подкормки CO₂.

Приведенные данные наглядно показывают, что применение углекислого газа в качестве подкормки позволяют повысить урожайность продукции, поэтому для агробизнеса использование этой добавки важно, и ее применение может снизить затраты, а также снизить затраты и улучшить качество выращиваемого продукта [3].

В статье «Система мониторинга и автоматического регулирования содержания CO_2 в защищенном грунте» рассмотрены основные проблемы и виды углекислотного удобрения в теплицах.

А.В. Лотонов показывает основные способы получения углекислого газа, сравнивая различные способы подачи его к растениям:

- сжигание углеродистых материалов (жидкое топливо, природный газ);
- образование как побочного продукта синтеза аммиака;
- брожение;
- откачка из скважин.

Все вышеуказанные виды подкормок растений являются эффективными, с той лишь разницей, что не которые из них менее эффективны. Также представлена зависимость на рисунке 1.3 того как CO_2 увеличивает продуктивность растений.

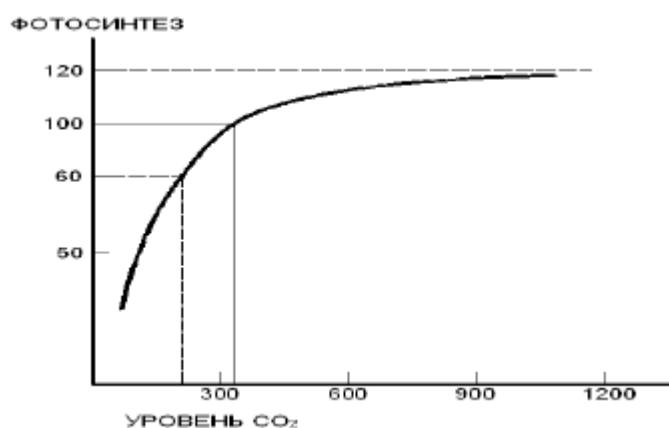


Рисунок 1.3 – Разность протекания фотосинтеза от содержания CO_2 в объеме воздуха теплиц.

Исходя из этой зависимости, можно сделать вывод, что при росте уровня концентрации углекислого газа в теплице с 340 до 1000 ppm (количество

частиц на миллион частиц), а рост и урожайность выращиваемых растений могут быть увеличены до 35%.

В настоящее время существует три основных группы промышленных технологий, которые поставляют углекислый газ к растениям в теплицы, использующие технологию источников углекислого газа:

1. Прямая аэрация газогенератором.

Прямая аэрация осуществляется с помощью газогенератора - пламенной горелки для природного газа.

Процесс подкормки с помощью данного метода достаточно прост, горелка устанавливается в тепличном помещении, поджигается на определенное время, по мере сжигания природного газа образуются продукты сгорания данного топлива, которые напрямую поступают к точкам роста растения. Имеет недостатки в виду того, что все вредные вещества остаются в объеме теплицы, в летний период не обходимо проветривание, так как возможно увеличение температуры и завышение допустимой концентрации.

2. Подача отработанных газов из котельной.

Данный способ чуть лучше, рассмотренного ранее, так как отходящие газы от котельных агрегатов проходят процесс очищения от вредных веществ, которые образуются при сжигании природного газа в палладиевых катализаторах или водяных скрубберах или конденсорах.

В период выращивания растений подачу углекислого газа можно начинать с появления всходов до того как окончится период вегетации. Углекислый газ, поступающий в тепличный комплекс, должен быть распределен по всему объему теплицы и не иметь застойных зон.

Рассмотренная система имеет недостатки в виде:

- вредные вещества попадают в воздух тепличного помещения, такие как: окись углерода, оксиды азота, диоксид серы, этилен;
- данная система подачи углекислого газа капитально затратная.

3. Подача жидкой углекислоты.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		12

Данную системы наиболее безопасна, так как использует чистую углекислоту, без каких либо примесей кроме воды. Она может быть совмещена с системой подачи от котельных агрегатов. Для подачи жидкого углекислого газа может быть использованы те же магистральные и распределительные воздуховоды, что были рассмотрены выше.

Рассмотренные в статье виды подачи CO₂ для теплиц возможно использовать круглогодично для разных видов выращиваемых культур [4].

В своей работе «Подкормка растений углекислым газом в защищенном грунте» К.Б. Богданов, Е.И. Усков исследуют проблемы подкормки растений углекислым газом в тепличных агрокомплексах России и применяемые в них технологии для растений.

В Западной Европе и скандинавских странах эксперты агрохолдингов считают, что применение двуокиси углерода во время выращивания растений является неотъемлемым фактором интенсивного роста огурцов и томатов.

Подача углекислого газа, подразумевает сокращение длительности вегетативной фазы у растений, что обеспечивает ускоренный рост и раннее созревание плодов овощных культур и увеличивает урожайность на 15-40% в зависимости от выращиваемой культуры растений.

Это удобрение значительно увеличивает урожай зеленых культур: например, у томата вырастает на 30%. У тепличных цветов также положительно, оно повышает размеры и урожайность выращенного продукта на 15-25%.

Было проведено сравнение трех наборов промышленные технологии в теплицах защищенного грунта с использованием подкормки в виде углекислого газа. Это прямое использование газогенератора, отходящие газы из котельных агрегатов, подача жидкой углекислоты. Давайте рассмотрим каждую группу более подробно:

- Прямая использование газогенератора - газовая инфракрасная горелка.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

Этот метод подачи углекислого газа не позволяет выращивать растения в летний период, потому что горелки сильно повышают температуру воздуха, их использование теряет смысл из-за наличия проветривания для уменьшения температуры внутри теплицы, потому что весь подающийся углекислый газ улетит в окружающую среду из объема теплицы.

Осложняется контроль над допустимой концентрацией CO₂, поскольку его подача напрямую зависит от объема сжигаемого природного газа. Кроме того, имеется значимый недостаток в виде того, что углекислый газ устремляется вверх, подача в корневую зону не возможна.

– Отработанные дымовые газы от котельных агрегатов, проходят очистку через палладиевый катализатор или водяной скруббер, где охлаждаются с частичным отделением водяных паров, а затем собираются в коллектор, где от каждого котла присоединены хвостовые поверхности, далее по магистральному трубопроводу, с разбавлением чистым воздухом. Углекислый газ поступает в разводящие трубопроводы подачи, размещенные в тепличных комплексах, а далее к растениям. Это самая распространенная система подачи в мире.

Растения можно подавать в течение всего вегетационного периода - от появления почек до конца вегетационного периода. В отличие от указанной выше системы, данная система нагнетания углекислого газа через полимерные трубопроводы, позволяет производить регулирование требуемой концентрации CO₂.

Капитальные вложения для реализации этой данной системы достаточно велики. Требуется специальный котел с возможностью подачи отработанного газа. Основное внимание отводится горелке котла, для которой работа осуществляется в непрерывном режиме для полного сгорания топлива, при котором образуются наименьшее количество вредных веществ. Импортные газовые горелки дорогие и высокотехнологичные, имеют недостатки в виду установки ограниченного количества типов котлов. Палладиевый катализатор очищает выхлопные газы, но также имеет большую стоимость.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

– Подача к растениям чистой углекислоты, распределяемой по имеющейся системе, имеет большую экономическую эффективность.

Данный комплекс системы использует низкотемпературную углекислоту (в изотермических цистернах), из которого жидкость, перейдя в газовую стадию через устройство газификации и регулирования давления подается, имея заданное на регуляторе давление в тепличный комплекс.

Данная система, использующую жидкую углекислоту, довольно проста на первый взгляд, но использование в нашей стране осложняется из-за технических моментов. Жидкий диоксида углерода высшего сорта по ГОСТ 8050-85 должен быть на 99,8% чистым и не иметь никаких видимых при прохождении исследований лабораторных включений, кроме воды, но как часто это бывает, что приобретают дешёвую углекислоту, который не соответствует ГОСТу, плохо очищена и используется для технического применения.

Используя, рассмотренный способ подачи жидкого диоксида углерода, при попадании в газификатор нагревается и превращается в газ, который под давлением в направляется в магистральный воздуховод. Далее газообразный углекислый газ из магистрального воздуховода через разводящий линий меньшего диаметра воздуховодов прибывают в теплицу [5].

Авторы В.А. Голубевым, В.А. Шуваевым в статье «Подкормка растений углекислым газом в теплицах» рассматривают оборудование, используемое в тепличных хозяйствах для повышения урожайности растений при подаче к ним необходимой концентрации углекислого газа, а также приводят примеры усвоения углекислого газа растениями в зависимости от освещения.

Рассмотрим более подробно необходимое оборудование для хранения и получения углекислого газа, используя привозную жидкую углекислоту:

- Резервуар с охлаждением для продолжительного хранения жидкой углекислоты;
- Установка поддерживающее необходимое давление в резервуаре;

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		15

– Газификатор углекислотный, который обеспечивает перевод жидкой углекислоты в газообразную, осуществляет подачу CO₂ в распределительную сеть, а далее к источнику потребления;

– Подогреватель углекислотный электрический;

– Регулятор давления газовый.

Оборудование для автоматизации данной системы подачи углекислоты для растений:

– Сканер CO₂. Прибор для отбора проб воздуха;

– Анализатор CO₂. Определяет концентрацию углекислого газа с помощью инфракрасного излучения;

– Контроллер управления. Управляет процессами происходящими в тепличном комплексе отвечает за: подачу CO₂, полив, микроклимат.

Данное оборудование было применено на нескольких тепличных комбинатах по выращиванию различных гибридов огурца. Показана таблица на рисунке 1.4, из которой увидеть концентрацию углекислого газа подаваемого в тепличный комплекс [6].

Таблица. Примерный регламент подачи CO ₂ для подкормки растений огурца в первом обороте.		
Месяц	Время подачи, ч	Концентрация CO ₂ в теплице, ppm
Январь	10-30 – 14-00	600
Февраль	9-30 – 16-00	700
Март	9-00 – 16-00	800
Апрель	9-00 – 16-00	700
Май	8-00 – 16-00	500-600
Июнь	8-00 – 16-00	300-400

Рисунок 1.4 – График подачи CO₂ огурцам при первом обороте.

Автором статьи «Система автоматической подачи газа CO₂ в тепличные помещения» Махмутовым А.Н. рассмотрены новые технологий выращивания основных овощных культур защищенного грунта.

Главная роль углекислотных систем подачи в следующем: изменяется продолжительность определенных стадий органогенеза; увеличивается насыщенность нетто-ассимиляции; повышается количество цветочных соцветий; увеличивается плодотворность растений. Согласно исследованиям проведенных у большей части растений при подаче к ним углекислотной подкормки происходит рост на 15-60%.

На данный момент получила наибольшее распространение и экологически чистая комбинированная система, которая совмещает в себе две системы подачи углекислого газа, а именно нагнетание отходящих газов от котельных агрегатов и подача чистой жидкой углекислоты. Данный комплекс использует для автоматику, которая отслеживает допустимую концентрацию CO_2 в объеме теплицы и не допускает образовываться застойным зонам для наилучшего охвата площади теплицы. В рассматриваемом авторами проекте допустимая концентрация CO_2 регулируется в пределах от 0,03% до 0,1%, данный предел зависит от погодных условия и периодом суток.

Так же автор обращает внимание на комбинированную систему подачи углекислого газа с системой отходящих газов от котельных агрегатов и внедрения в нее систему подачи жидкой углекислоты для использования в тепличном комплексе, данная система позволяет внедрять подачу жидкой CO_2 в эксплуатируемую систему подачи отходящих газов от котельных агрегатов, которая будет использоваться для подачи «чистого» CO_2 в уже существующей системе.

У предложенной системы есть особые положительные качества:

- она позволяет увеличивать ресурс котельных агрегатов в летний период, когда используется жидкая углекислота;
- эксплуатация уже смонтированных трубопроводов;
- использование для регулирования подачи имеющегося оборудования [7].

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		17

Так же еще одним из перспективных видов подачи CO₂ в тепличном выращивании различных культур является анаэробная переработка биоотходов с переработкой тепловой энергии и удобрений в растениеводческом сооружении. В своей работе «Технология анаэробной переработке органических отходов с утилизацией тепловой энергии и удобрений в тепличном сооружении» Ковалев А.А. рассматривает технологическую схему биологической переработки биоотходов с последующей переработкой тепловой энергии и удобрений в тепличном сооружении.

Рассмотрим предложенную технологическую схему, с последовательностью ее работы, представленную на рисунке 1.5

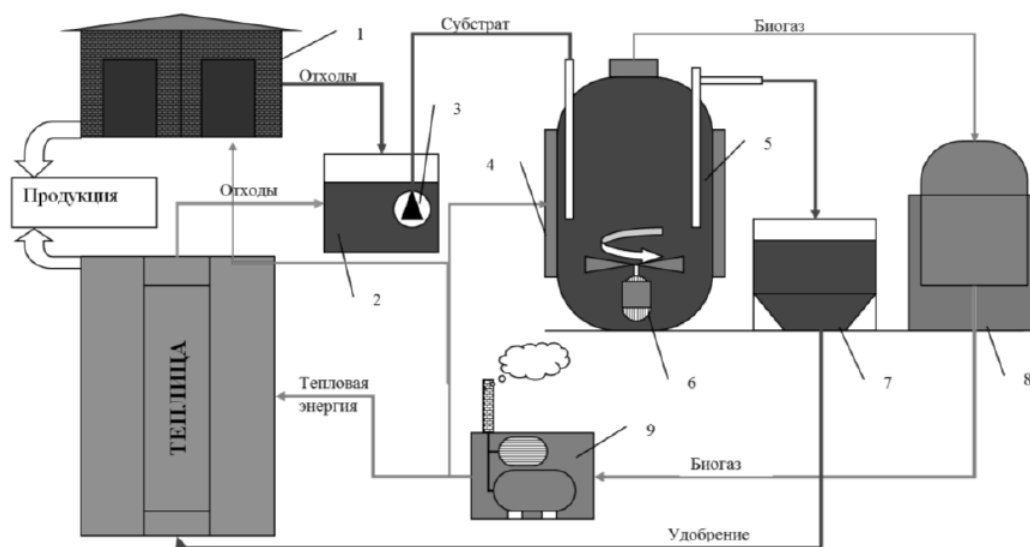


Рисунок 1.5 – Схема биологической переработки биоотходов с переработкой полученной энергии и использованием удобрений в теплице: 1 – ферма; 2 – резервуар подготовки отходов; 3 – насос; 4 – теплообменник; 5 – биореактор; 6 – уст-во подмеса; 7 – биоудобрения; 8 – газгольдер; 9 – котельная с котельными агрегатами.

Данная схема работает по следующему принципу. Биоотходы из фермы и теплицы перемещаются в резервуар первоначальной подготовки отходов для перемола до требуемых размеров. После чего промежуточный субстрат с помощью насоса направляется в биореактор, в котором осуществляется биоконверсия вещества в биогаз. Биореактор имеет теплообменник и

устройство подмеса для стабилизаций условий жизнедеятельности микроорганизмов. Переработанный субстрат скапливается в отстойнике, откуда по мере использования направляется в теплицу. Полученный в результате биогаз содержится в газгольдере и используется в котельной сжигаемый котельными агрегатами для получения тепла. Тепло от котельных агрегатов расходуется в тепличном комплексе и помещениях фермы и для потребностей биореактора.

Предложенная технология позволяет использовать отходы от животноводческих ферм и теплиц по выращиванию растений, благодаря использованию биоотходов в качестве биоудобрений и CO₂ в отходящих дымовых газах для теплицы. [8].

В статье «Энергетический потенциал использования вентиляционных выбросов коровника в прифермской теплице» рассмотрен расчетно-аналитический метод, который показывает, что имеющиеся в вентиляционных отходах коровника вредные вещества и углекислый газ могут направляться с пользой, как удобрения для растений, выращиваемых в теплицах.

При использовании данной схемы подачи вентиляционных отходов коровника к растениям подобных удобрений увеличивается эффективность на 18%, расход минеральных веществ подаваемых к растениям уменьшается на 9% [9].

В статье «Связь между объемно-планировочными решениями зданий, микроклиматом помещений и технологией выращивания животных и растений» Педченко А.В. и Педченко О.Д. предложена схема подачи углекислого газа к растениям в теплицах, полученным от вентиляционных отходов животноводческого комплекса, для уменьшения затрат природного газа и увеличения применения альтернативных источников на данных предприятиях.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		19

Были подробно рассмотрены широко используемые варианты систем подачи углекислого газа используемые в тепличных хозяйствах:

- газобаллонная система с жидкой углекислотой;
- области с существующей системой централизованного газоснабжения может использовать генераторные установки, в которой в качестве топлива используется природный газ;
- использовать продукты сгорания природного газа, которые образуются при сжигании в котельных агрегатах, расположенные на территории предприятия. В то же время, в соответствии с отраслевым стандартом для проектирования теплиц на пути дымохода, некоторые продукты сгорания природного газа транспортируются. Кормление растений можно проводить в нижней части комнаты в течение дня.

Перечисленные выше способы подачи углекислого газа к растениям можно отобразить в графическом виде изображенной на рисунке 1.6

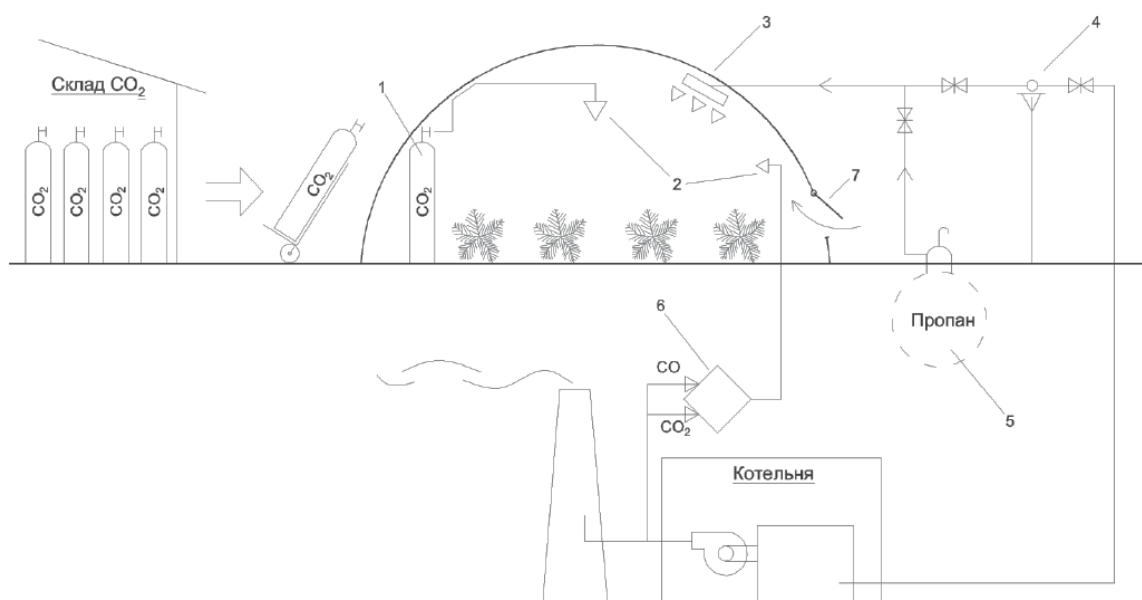


Рисунок 1.6 – Виды подачи углекислого газа в теплицы:

1 – баллон с жидкой углекислотой; 2 – газораспределитель;

3 - газовый теплогенератор; 4 –газопровод; 5 - газгольдер;

6 - катализатор; 7 – фрамуга.

Авторы акцентируют, что существующие перечисленные виды системы подачи углекислого газа в теплицы не соответствуют актуальным требованиям, поскольку все эти варианты содержат применение природного газа, где газ выступает энергоносителем – который в данное время имеет особо важный статус для Украины как энергоресурс.

В связи с этим поступила идея создания искусственного добавления воздуха в тепличные помещения где происходит выращивание растений с помощью диоксида углерода из воздуха помещения выращивания животноводческих комплексов, находящегося в воздухе системы вытяжной вентиляции этого комплекса.

На основании проведенных расчетов и изучения способа удаления углекислого газа из коровников для последующей подачи в теплицу, предложена к рассмотрению принципиальная схема, представленная на рисунке 1.7

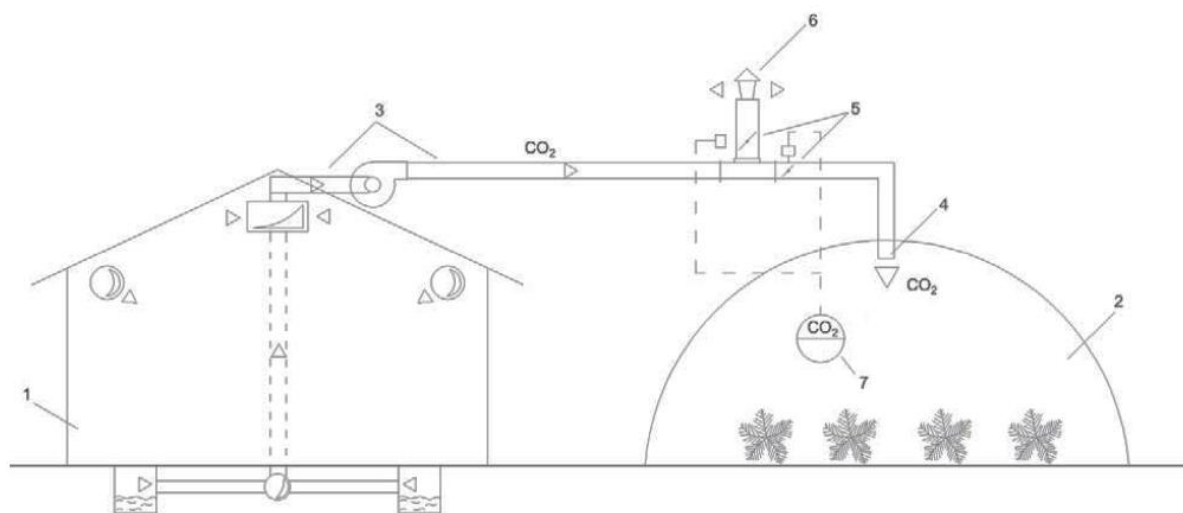


Рисунок 1.7 – Графическая схема размещения помещений и вспомогательного оборудования для перекачивания воздуха:

- 1 – помещение размещения животных; 2 - теплица;
 3 - система воздуховодов и вентилятора; 4 - система подачи CO₂;
 5 - регулирующие уст-ва; 6 - вытяжка; 7 - датчик CO₂;

Из графической схемы можно увидеть, как возникают определенные проблемы при работе такой системы, которые в первую очередь связаны с необходимостью полного контроля параметров системы и быстрого реагирования на изменения всех допустимых значений. Появляется необходимость установки средств автоматизации для регулирования микроклимата в помещениях выращивания животных так и тепличных. [10].

1.2 Выводы по аналитическому обзору отечественных и зарубежных информационных источников литературы

Проанализировав статьи отечественных и зарубежных авторов, выяснили, что в тепличных предприятиях для повышения урожайности растений обычно применяются углекислотные подкормки, разные по способу подачи и получению самого углекислого газа. Если нагнетать отводимый углекислый газ из дымовых газов от котельной, расположенной на территории тепличного хозяйства, то можно получить высокий доход от урожая выращиваемых культур. В сложившихся условиях истощения энергетических ресурсов не только нашей стране, но и во всем мире более рационально использование любых источников энергии в том или ином виде является необходимым условием успешного развития экономики страны.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		22

2 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА

Агрокомплекс «Горный» – это тепличный комплекс для круглогодичного выращивания овощей и зеленных культур закрытого грунта площадью 25 га с применением голландских технологий, оборудованный собственным рассадным отделением.

Агрокомплекс занимает 153 гектара с северо-западной стороны поселка Малый Бердяш и расположился на землях бывшего подсобного хозяйства Усть-Катавского вагоностроительного завода.

Высокотехнологический тепличный комплекс для круглогодичного выращивания овощей - томатов и огурцов - и зеленных культур закрытого грунта предполагает применение голландских технологий – способа малообъемной гидропоники с системами искусственного освещения, полностью автоматизированными системами регулирования микроклимата и минерального питания растений. Годовая мощность комплекса составит более 22 тысяч тонн овощных и более 1300 тысяч штук зеленных культур. Годовой объем выручки по проекту превышает 2800 миллионов рублей.

Тепличный комплекс легких теплиц с системой отопления предусматривает выращивание в них овощных культур в течение десяти месяцев в году. Ключевой культурой этого комплекса станут огурцы. Проект предусматривает производство более 15 тысяч тонн овощных культур в год. Годовой объем выручки – около 1000 миллионов рублей.

Для бесперебойной работы тепличного комплекса предусмотрено возведение водогрейной газовой котельной общей тепловой мощностью 120 МВт. Котельная предназначена для подготовки тепла на нужды отопления и ГВС для тепличного комплекса в г. Усть-Катав с досветкой - «Горный», Логистического центра сельско-хозяйственной продукции с переработкой, Комплекса легких теплиц по адресу: Челябинская область, г. Усть-Катав, п. Малый Бердяш.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		23

Технико-экономические показатели объекта:

Таблица 1.

Показатель	Размерность	Расчетные значения
Теплопроизводительность котельной (установленная)	Гкал/ч	103,2
Отпуск тепла		
теплоноситель вода	Гкал/ч	90,7
в том числе:		
на отопление и вентиляцию	Гкал/ч	88,7
на горячее водоснабжение	Гкал/ч	2,03
Годовое число использования установленной мощности	ч	7330,5
Годовая выработка тепла	тыс. Гкал	233,26
Годовой выпуск тепла в том числе:		
теплоноситель вода	тыс. Гкал	233,26
Часовой расход топлива	нм ³ /ч	14334
Годовой расход топлива	млн, м ³ /год	32,397
Годовой расход условного топлива	$\frac{\text{тыс. Т. У. Т.}}{\text{год}}$	37,025
Удельный расход натурального топлива	$\frac{\text{нм}^3}{\text{Гкал/ч}}$	138,9
Удельный расход условного топлива	$\frac{\text{Т. У. Т.}}{\text{Гкал/ч}}$	158,7
Годовой расход электроэнергии	тыс. кВт/ч	11345,9
Годовой расход воды	тыс. м ³ /год	73,7
Установленная мощность электроприемников	кВт	1961,1
Расчетная мощность электроприемников	кВт	1653,2

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ

Лист

24

3 ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

3.1 Тепловая нагрузка котельной

- отопление 98,156 МВт;
- вентиляция 2,258 МВт;
- горячее водоснабжение (х.б.) 0,266 МВт;
- горячее водоснабжение (техн.) 2,091 МВт;
- собственные нужды котельной 2,721 МВт;

Расчетные параметры:

- график теплоносителя на выходе из котельной - 95–75 °С;
- график котлового контура - 105–80 °С;
- Необходимый перепад давления в системе теплоснабжения - 25,8 м;
- Статическое давление системы теплоснабжения - 2,0 бар.

3.2 Тепломеханические решения

В котельной устанавливается шесть водогрейных котлов марки Vitomax 200-LW тип M64A фирмы Viessmann (Германия) мощностью 20000 кВт каждый. Горелочные устройства, модулируемые комбинированные (газ/дизель) модели GKT-19A с системой управления WD 200 фирмы Oilon (Финляндия) для котлов с конденсаторами и модулируемые комбинированные (газ/дизель) модели GKP-2000ME с системой управления WD 200 фирмы Oilon (Финляндия) для котлов без конденсаторов.

Котлы №4, №5 и №6 дополнительно оборудованы системой рециркуляционного газохода с автоматическими заслонками. В комплекте с горелками поставляется газовая арматура, элементы которой смонтированы в соответствии со стандартом.

Горелки оснащены автоматической системой контроля факела, в качестве датчика контроля факела горелки используется инфракрасный датчик.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

Основные показатели тепломеханических решений (ТХ):

Таблица 2.

Расчетный режим	Теплопроизводительность котельной, МВт (Гкал/ч)					
	Расход тепла на отопление	Расход тепла на вентиляцию	Расход тепла на ГВС (хоз-быт)	Расход тепла на ГВС (полив)	Расход тепла на потери и собственные нужды	Общий расход тепла (с потерями)
Максимально-зимний режим $T_n = -34 \text{ }^\circ\text{C}$	98,16 (84,4)	2,26 (1,9)	0,27 (0,23)	2,09 (1,8)	2,72 (2,34)	105,5 (90,7)
При средней температуре наиболее холодного месяца $T_n = -15,8 \text{ }^\circ\text{C}$	63,8 (54,9)	1,47 (1,3)	0,27 (0,23)	2,09 (1,8)	1,77 (1,5)	98,16 (84,4)
При средней температуре за отопительный период $T_n = -6,5 \text{ }^\circ\text{C}$	46,13 (39,7)	1,06 (0,9)	0,27 (0,23)	2,09 (1,8)	1,28 (1,1)	63,8 (54,9)
Теплый период (без учета подогрева грунта)	—	—	0,22 (0,19)	1,74 (1,5)	—	8,5 (7,3)

3.3 Устройство горелок

В котельной устанавливается шесть водогрейных котлов марки Vitomax 200-LW тип M64A фирмы Viessmann (Германия) мощностью 20000 кВт каждый. Горелочные устройства модулируемые комбинированные (газ/дизель) на котлах с конденсаторами - GKT-19A WD 200, на котлах без

конденсоров GKP2000 ME с системой управления WD 200 фирмы Oilon (Финляндия). Котлы № 4, № 5 и № 6 дополнительно оборудованы системой рециркуляционного газохода с автоматическими заслонками, обеспечивающей низкие выбросы по NO_x при работе на природном газе путем рециркуляции дымовых газов.

Автоматика смонтирована в отдельном шкафу управления, который поставляется комплектно с горелкой. Программное реле управляет всеми циклами работы горелки. При возникновении аварийной ситуации, автоматика отключает горелку. В горелках с системой контроля выбросов NO_x в шкаф горелки встроен блок управления заслонками рециркуляции дымовых газов.

Автоматика горелки прекращает подачу топлива при:

- повышении и понижении давления газообразного топлива перед горелкой;
- повышении давления жидкого топлива перед горелкой;
- понижении давления воздуха перед горелкой;
- погасании факела горелки.

Автоматика котлов прекращает подачу газа или жидкого топлива к горелкам при:

- повышении температуры воды на выходе из котла;
- повышении давления воды на выходе из котла;
- понижении давления воды на выходе из котла.

Автоматика управления котельной прекращает подачу газа и жидкого топлива к горелкам при неисправности цепей защиты, включая исчезновение напряжения.

Топливо:

основное - природный газ по ГОСТ 5542-2014 с низшей теплотой сгорания $Q=33634$ кДж/нм³ (8033 ккал/нм³). Источником газоснабжения является ГРС г. Усть-Катав. Давление в точке подключения $P_{\text{max}} = 0,6$ МПа (на фасаде котельной после отключающего устройства).

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		27

Предусмотрено аварийное топливоснабжение. В качестве топлива используется дизельное топливо. Доставка топлива осуществляется автотранспортом. Для хранения запаса топлива запроектированы стальные горизонтальные подземные резервуары.

3.4 Тепловая схема котельной

Проектом предусматривается разделение котлового и сетевого контуров пластинчатыми теплообменниками, причем каждый котел имеет индивидуальный котловой контур со своим разделительным теплообменником. Для обеспечения регулирования температур теплоносителя, а также для обеспечения поддержания температуры воды в обратной линии на вводе в котел не ниже 60 °С на каждом котле установлены рециркуляционные насосы WILO IL 200/240-7,5/6. Циркуляция теплоносителя в котловом контуре обеспечивается котловыми насосами WILO IL200/270-11/6, установленными по два (оба рабочие) $G = 718 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H = 6,3 \text{ м}$. Циркуляция теплоносителя в сетевом контуре обеспечивается насосами WILO NLG 300/400-160/4 в количестве 5 штук (все рабочие) $G = 5155 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H = 36 \text{ м}$.

На трех из шести котлах установлены конденсоры для охлаждения дымовых газов. Циркуляция теплоносителя в контуре конденсора осуществляется насосом WILO IL 100/160-2.2/4 $G = 718 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H = 6,3 \text{ м}$.

Подпитка котловых и сетевого контуров реализована химически чистой, деаэрированной водой от установки химводоподготовки.

Избыток воды от температурного расширения теплоносителя в котловых контурах отводится в индивидуальные расширительные баки Reflex G4000 емкостью по 4000 л.

Так как котельная работает летом не только на нужды ГВС но и на выработку углекислого газа (для технологических нужд работают два из трех котлов с конденсорами), то теплоноситель с избыточным теплом отводится для охлаждения в два бака охладителя емкостью по 4000 м³, расположенные снаружи котельной.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

Кроме выработки тепла котельная применяется для круглогодичной выработки углекислого газа на технологические нужды. Для этого на газоотводящих трактах трех из шести котлов установлены конденсоры, которые охлаждают дымовые газы в теплообменниках с помощью теплоносителя из обратной линии котловых контуров. После конденсоров дымовые газы поступают в цилиндрический коллектор, где достигается необходимая концентрация углекислого газа в газо-воздушной смеси. Далее с помощью шести вентиляторов углекислый газ по газоходам выводится из котельной и направляется на технологические нужды.

3.5 Автоматизированные системы,

Системы, используемые в производственном процессе:

- система капельного полива;
- система контроля неусвоенного питательного раствора и влажности субстрата;
- система сбора неусвоенного питательного раствора;
- система дозирования CO₂;
- система горизонтальных шторных экранов;
- система электродосвечивания (ассимиляционное освещение);
- система автоматического управления микроклиматом.

Система капельного полива

Малообъемный метод выращивания растений предусматривает использование небольшого объема субстрата (до 4 л на одно растение) и создание при помощи капельной системы полива необходимого равномерного увлажнения сверху всего объема. А так как объем субстрата для жизнедеятельности корневой системы весьма ограничен и представляет собой химически нейтральную среду, поэтому подача воды и питательных элементов для поддержания заданных условий должны осуществляться своевременно и в требуемых количествах.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		29

Капельное орошение является основным способом полива при выращивании растений малообъемным методом.

Система капельного полива обеспечивает подачу требуемого количества воды с необходимым набором элементов питания непосредственно к корневой зоне растения, что позволяет обеспечить оптимальный питательный и водно-воздушный режим тепличного субстрата, повышается урожайность овощных культур, сокращаются расходы воды и удобрений, снижается заболеваемость растений и уменьшается риск их распространения.

Использование системы капельного полива с применением компенсированной капельницы производительностью 3 л/час с расстоянием 167 мм в технологическом цикле производства овощной продукции позволяет оптимально планировать полив растений, который зависит от фазы роста и развития растений, влияния внешних факторов, прихода солнечной радиации и системы учета весового контроля субстрата. Учитывая все вышеприведенные факторы, выстраивается стратегия поливов растений, и суточный расход питательного раствора может составить от 0,5 - 4,0 л/растение.

Для выращивания овощных культур для каждой теплицы монтируется отдельно система капельного полива и система сбора неусвоенного питательного раствора, который после прохождения термического дезинфектора анализируется и используется повторно в количестве 25% от объёма поливочной воды.

В технологии выращивания овощных культур работа систем капельного полива и сбора полностью автоматизирована и компьютеризирована. Автоматическое управление системами полива осуществляется с помощью компьютерной системы ФИТО, оснащенной программным обеспечением для управления системами дозирования, смешивания удобрений, нормами полива, от 2-х смесительных установок.

Для обеспечения запаса воды предусматривается использовать сборные металлические емкости. Емкость представляет собой каркас цилиндрической

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		30

формы из стальных оцинкованных с обеих сторон гофрированных листов, внутрь которого вкладывается теплоизолирующая прокладка и вкладыш из ПВХ черного цвета. Сверху емкость накрывается покрытием из тканного синтетического материала, обеспечивающего свободное прохождение воздуха, но предохраняющее воду в емкости от воздействия света, что позволяет предотвратить зацветание воды в емкости. Подача воды в баки регулируется клапаном с электромагнитным управлением.

Подготовка воды для капельного полива осуществляется через систему фильтрации, которая обеспечивает очистку воды от присутствующей в ней взвеси твердых частиц размером от 80 - 100 мкм. В качестве наполнителя используется кварцевый песок.

Система контроля неусвоенного питательного раствора и влажности субстрата

Система контроля влажности субстрата представляет собой тензометрические весы, снабженные устройством цифровой обработки, индикации и регистрирования сигналов от двух тензометрических датчиков. Предназначена для малообъемной технологии выращивания овощей и позволяет в реальном времени получать необходимую информацию о процессах, происходящих в субстратном мате.

Возможности системы предполагают регистрацию времени начала и окончания поступления неусвоенного питательного раствора, измерение объема неусвоенного питательного раствора, измерение ЕС и pH стандартными датчиками, вычисление процента неусвоенного питательного раствора от общего объема полива. Наличие таких данных позволит наиболее точно рассчитывать нормы поливов, предотвращать засоление субстрата, корректировать время старта первого полива.

Система дозирования CO₂

Низкое содержание углекислого газа в воздухе теплицы является фактором, ограничивающим урожайность. В естественных условиях концентрация углекислого газа в воздухе находится на уровне 300-400 ppm

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		31

или около 10 кг/га CO₂ в объеме воздуха равного внутреннему объему теплицы площадью 1 га. При максимальных же уровнях ФАР (фотосинтетически активной радиации) потребление CO₂ растениями томата в процессе фотосинтеза может приближаться к 20 кг·ч/га, что соответствует необходимой постоянной концентрации углекислого газа в воздухе теплицы на уровне 1000-1500 ppm. Образующийся дефицит лишь частично покрывается за счёт притока атмосферного воздуха через фрамуги и неплотности ограждающих конструкций, а также за счёт ночного дыхания растений.

Дефицит CO₂ является более серьёзной проблемой, чем дефицит элементов минерального питания – в среднем, растение синтезирует из воды и углекислого газа 94% массы сухого вещества, остальные 6% растение получает из минеральных удобрений. Наряду с режимом минерального питания, регулированием температуры и влажности, подкормка CO₂ играет очень важную роль в управлении вегетативным и генеративным балансом растения. Повышение активности фотосинтеза увеличивает пул ассимилянтов и стимулирует развитие растений в генеративном направлении. При этом до корневой системы доходит значительно больше питательных веществ, поэтому усиливается рост молодых корней, активизируется поглощение элементов минерального питания, повышается устойчивость растения к неблагоприятным факторам среды, в том числе к повышенной температуре воздуха (температурный оптимум фотосинтеза у высших растений смещается вверх на 1-4 °С в зависимости от культуры, сорта и уровня освещённости).

Подкормка углекислым газом производится в течение всего периода выращивания растений – от появления всходов до прекращения вегетации. Прирост биомассы растений при подкормках CO₂ существенно увеличивается – урожайность овощных культур на 15-40%, увеличивается количество и масса плодов, ускоряется их созревание на 5-8 дней.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		32

Повышенная концентрация CO_2 частично компенсирует недостаток освещённости зимой и при уменьшении светопропускания кровли теплицы, а также способствует более эффективному использованию света ранним утром. К примеру, недостаток солнечной радиации зимой, который часто приводит к потере первых соцветий у томата, возможно успешно компенсировать увеличением концентрации CO_2 до 0,1%. Такой технологический приём увеличивает интенсивность фотосинтеза, способствует более высокой интенсивности выведения ассимилянтов из листьев, тем самым, восстанавливая завязывание плодов.

В качестве источника снабжения углекислым газом принято нагнетание отходящих газов от существующей котельной предприятия, использующей в качестве топлива природный газ, не содержащий фитотоксичных примесей. Подкормка производится продуктами сгорания природного газа с основным химическим составом: 87.2 % N_2 , 10.6 % CO_2 , 2.1 % O_2 . Отходящие от котла газы (дым) очищают с помощью водяного скруббера (конденсора) и охлаждают с частичным отделением водного конденсата. Централизованное дозирование CO_2 , из дымовых газов прошедших очистку, осуществляется установкой дозирования CO_2 . Всасывающая часть установки подсоединяется к тройнику, вмонтированному в дымовую трубу конденсора посредством гибкого соединения. Между установкой и тройником устанавливается управляемый смесительный клапан. В процессе дозирования CO_2 воздушный вход этого клапана закрыт, и весь воздух будет забираться из дымохода, и подаваться в теплицу по распределительным газопроводам. К растениям газы поступают через перфорированные полимерные рукава, которые отходят от распределительного газопровода внутри теплицы. Набор оборудования системы дозирования CO_2 также включает в себя датчик CO_2 и набор датчиков токсичных газов, полнофункциональную систему управления (климат-компьютер). При программировании климат-компьютера (на открытие фрамуг) следует учесть, что при систематических подкормках допустима более высокая температура в теплице. Для обеспечения

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		33

равномерной концентрации CO₂ в воздухе (по площади теплицы) и улучшения газообмена растений в высоких теплицах применяется группа специальных циркуляционных вентиляторов, создающих равномерное круговое движение воздуха внутри сооружения, на небольшой скорости до 1 м/с.

С точки зрения охраны труда использование этой технологии безопасно, при условии контроля состава дымовых газов. При появлении СО система отключается.

Дополнительной хозяйственно-ценной функцией системы подкормки является повышение КПД водогрейного котла на 4-6% за счёт использования скрытой теплоты отходящих дымовых газов.

Система горизонтальных шторных экранов

Основным и важным фактором управления ростом, развитием и плодоношением растений является температурный режим. Температура определяет интенсивность таких процессов, как фотосинтез, дыхание, транспирация, перемещение веществ, рост и плодоношение. Температурный оптимум для фотосинтеза у овощных культур составляет от 20 °С до 24 °С. Чрезвычайно высокие температуры отрицательно влияют на процессы роста, развития, опыления и плодообразования.

Система теплозащитного и светоотражающего шторного экрана специально разработана для максимального энергосбережения в холодный период и в ночное время суток, а также создания затенения в теплицах при интенсивной солнечной радиации в весенне-летний период года.

Ткань горизонтального шторного экрана является специально разработанным не поддерживающим горение материалом «PhomiTex Bright» производства Bonar для экономии энергии и контроля влажности воздуха в теплицах. Комбинация алюминиевых и прозрачных полос позволяет обеспечить как отражение, так и поглощение тепловой солнечной энергии. Днем экран используется для снижения уровня проникающей в теплицу солнечной радиации (величина экранирования около 45 %), ночью экран

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		34

используется для снижения потери тепла в окружающую среду (энергосбережение около 25 %) и повышает эффективность при использовании системы облучения (электродосвечивания) растений.

Гибкость материала позволяет складывать экран в упаковку такого размера, что она практически не затеняет растения и не препятствует прохождению света. Кроме того, применение экрана снижает вероятность образования конденсата.

Конструкции механизма зашторивания выполнены отдельно для каждой климатической зоны блока теплиц. Шторный экран открывается и закрывается по мере необходимости в автоматическом режиме по сигналу автоматизированной системы управления микроклиматом или дистанционно.

Система электродосвечивания (ассимиляционное освещение)

Большинство овощных культур, в зависимости от своих физиологических особенностей, растут и эффективно плодоносят при освещенности 10-25 тыс. люкс. Такой мощный поток наблюдается в солнечную погоду с марта по август.

Слабая интенсивность естественного освещения в осенний – зимний период не позволяет выращивать в теплицах овощные культуры без дополнительного источника искусственного досвечивания. Новейшая современная технология светокультуры, основана на создании всех условий микроклимата с использованием ламп ассимиляционного освещения в качестве основного источника света.

Предусматривается использовать светильники ассимиляционного освещения типа ЖСП 30-600-015 с электронным ПРА и трубчатой лампой мощностью 600 Вт импортного производства.

В теплицах блока №1 и блока №2 (светокультура огурца) освещенность не ниже 23000 люкс в теплице на отм. +2.0 м от пола.

Система автоматического управления микроклиматом

Современные технологии выращивания овощных культур требуют постоянного поддержания определенных режимов микроклимата в теплицах.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		35

Автоматизация систем управления микроклиматом позволяет экономить 15-25 % тепла при росте урожайности овощных культур, улучшить условия труда персонала и повысить общую культуру производства.

Основой управления микроклимата теплиц является климат-компьютер ФИТО FC-403 с использованием компьютерной программы «Монитор». Использование компьютеризированной системы разработанной ООО НПФ «ФИТО», обеспечивает высокую точность поддержки требуемых параметров микроклимата с учетом изменения внешних метеорологических условий и агротехнических задач, посредством воздействия на исполнительные механизмы и оборудование следующих технологических систем и процессов:

- Сбор внешних метеорологических параметров;
- Управление системой отопления теплиц;
- Управление форточной вентиляцией;
- Управление рециркуляционными вентиляторами;
- Управление системами дозирования углекислого газа, поддержание уровня концентрации углекислого газа в объеме теплиц;
- Контроль и управление системой ассимиляционного освещения;
- Управление горизонтальными шторными экранами.

При этом вся информация технологических процессов отображается на мониторе компьютера с созданием архивных баз данных, представленных в удобной для анализа форме. Контроль и управление всеми технологическими процессами в теплицах производится «online».

Применение автоматизированной системы управления микроклимата в теплицах обеспечивает:

- Повышение урожайности овощных культур;
- Снижение энергопотребления;
- Повышение уровня надежности и эффективности работы оборудования;
- Получение достоверной и своевременной технологической информации;
- Оперативное реагирование на сигналы об аварийных и предаварийных ситуациях.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА СЖИГАЕМОГО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА (CO₂)

Определим объем воздуха для теплиц и рассадных отделений, объем воздуха в этих зданиях принимается как строительный объем согласно п. 4.12 [24].

п. 4.12 – «Строительный объем здания определяется как сумма строительного объема надземной части от отметки ±0.00 и подземной части от отметки чистого пола до отметки ±0.00.

Строительный объем надземной и подземной частей здания определяется в пределах наружных поверхностей ограждающих конструкций, включая световые и аэрационные фонари, каждой из частей здания».

Строительный объем рассадного отделения:

$$V_{\text{рассад}} = (S_a) \cdot h_a = (85,5 \cdot 120) \cdot 6 = 61560 \text{ м}^3$$

В тепличном комплексе находятся два рассадных отделения, объем двух зданий получится:

$$V_{\text{рассад}} = 2 \cdot 61560 = 123120 \text{ м}^3$$

На территории тепличного комплекса находятся 12 теплиц для выращивания огурца:

– 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5; 1.6.

– 2.1; 2.2; 2.3; 2.4; 2.5; 2.6.

$$V_{\text{тепл. 1.1}} = (S_a) \cdot h_a = (149 \cdot 120) \cdot 6 = 107280 \text{ м}^3$$

$$\text{Объем всех теплиц: } V_{\text{тепл. 1.1-2.6}} = 107280 \cdot 12 = 1287360 \text{ м}^3$$

Необходимую концентрацию диоксида углерода в воздухе теплиц в зависимости от светового режима рекомендуется принимать по табл. 10

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

[27] с учетом естественного (фонового) содержания CO_2 с концентрацией 0,035 % по объему.

Концентрация CO_2 для освещенности более 160 Вт/м^2 ФАР = 0,17 % для выращивания огурца.

Максимально допустимая концентрация CO_2 в воздухе теплицы составляет 0,33%.

Расчетный расход природного газа (среднего состава) по ГОСТ 5542-87, сжигаемого для получения диоксида углерода (CO_2), необходимого для повышения концентрации на 0,01 % (100 ppm) в 1 м^3 воздуха теплиц, составляет $1962 \times 10^{-5} \text{ нм}^3/\text{ч}$.

4.1 Определение расхода природного газа

Определим расчетный расход природного газа для 4 месяцев (май, июнь, июль, август) для концентрации 0,17 %:

$$G_{\text{CO}_2} = (V_{\text{тепл. 1.1-2.6}} + V_{\text{рассаd}}) \cdot 0,17 \cdot 1962 \times 10^{-5} = \\ = (123120 + 1287360) \cdot 0,17 \cdot 1962 \times 10^{-5} = 4704 \text{ нм}^3/\text{ч}$$

Время подачи CO_2 в теплицы и рассадные отделения примем 9 ч.

$$G_{\text{CO}_2} = 9 \cdot 4704 = 42336 \text{ м}^3$$

Подача CO_2 при сжигании природного газа будет происходить в течение 123 дней по 9 ч.

$$G_{\text{CO}_2} = 123 \cdot 42336 = 5207328 \text{ м}^3$$

Так же найдем расчетный расход диоксида углерода (CO_2) жидкого по ГОСТ 8050-87, необходимого для повышения концентрации на 0,01 % (100 ppm) в 1 м^3 воздуха теплиц, составляет $10^{-4} \text{ нм}^3/\text{ч}$ ($1,84 \times 10^{-4} \text{ кг/ч}$).

4.2 Определение расхода диоксида углерода

Расчетный расход диоксида углерода (CO₂) жидкого будем производить для значений указанные выше при определении расхода природного газа.

Определим расчетный расход диоксида углерода (CO₂) жидкого для 4 месяцев (май, июнь, июль, август):

$$G_{CO_2} = (V_{\text{тепл. 1.1-2.6}} + V_{\text{рассаd}}) \cdot 0,17 \cdot 1,84 \times 10^{-4} = \\ = (123120 + 1287360) \cdot 0,17 \cdot 1,84 \times 10^{-4} = 52,7 \text{ кг/ч}$$

Время подачи CO₂ в теплицы и рассадные отделения примем 9 ч.

$$G_{CO_2} = 9 \cdot 52,7 = 527 \text{ кг}$$

Подача CO₂ при подаче диоксида углерода (CO₂) жидкого будет происходить в течение 123 дней по 9 ч.

$$G_{CO_2} = 123 \cdot 527 = 64821 \text{ кг} = 64,8 \text{ т.}$$

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		39

5 ПОДБОР ВЕНТИЛЯТОРНОЙ ГОРЕЛКИ ДЛЯ КОТЛОВ №№ 4, 5, 6

Определим коэффициент полезного действия теплогенератора:

$$\eta = \frac{Q_{\text{полез}}}{Q_{\text{полн}}} \cdot 100\% \quad [5.1]$$

Подставим значения в формулу 1:

$$\eta = \frac{20000}{21978,1} \cdot 100\% = 0,9$$

Определим требуемый расход газа и жидкого топлива:

Рассчитаем требуемый расход природного газа на горение:

$$G_{\text{газа}} = \frac{Q_{\text{полн}} \cdot 3,6}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{21978,1 \cdot 3,6}{33,63} = 2352 \text{ нм}^3/\text{ч}$$

Рассчитаем требуемый расход дизельного топлива на горение:

$$G_{\text{диз.}} = \frac{Q_{\text{полн}} \cdot 3,6}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{21978,1 \cdot 3,6}{43,1} = 1856 \text{ кг/ч}$$

Определим требуемое количество воздуха горения и давление:

Рассчитаем требуемое количество воздуха горения при использовании природного газа с 3% –м содержанием остаточного кислорода:

$$L_{\text{в-х}} = 2352 \cdot 10,7 = 25444,6 \text{ нм}^3/\text{ч}$$

Рассчитаем требуемое количество воздуха горения при использовании дизельного топлива с 3% –м содержанием остаточного кислорода:

$$L_{\text{в-х}} = 1856 \cdot 12,6 = 23385,6 \text{ нм}^3/\text{ч}$$

Требуемая производительность вентилятора определяется произведением требуемого количества воздуха на коэффициент запаса 1,05. Из двух величин количества воздуха выбираем большую, то есть 25444,6 нм³/ч, соответственно требуемая производительность вентилятора будет:

$$L_{\text{вент.}} = 25444,6 \cdot 1,05 = 26716,8 \text{ нм}^3/\text{ч}$$

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

Рассчитаем требуемое давление вентилятора при максимальном расходе воздуха. Требуемое давление вентилятора будет состоять из потерь давления в котле и дымовой трубе + потери давления в воздушных каналах + максимальные потери давления в горелке умноженное на коэффициент запаса.

$$P_{\text{вент.}} = (24 + 7 + 35) \cdot 1,05 = 69,3 \text{ мбар.}$$

Таким образом, подберем вентилятор с производительностью 26716 $\text{м}^3/\text{ч}$ при давлении 70 мбар. Подходящий вентилятор воздуха на горение с характеристиками $L = 20900\text{-}28500 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $p = 65\text{-}75$ мбар, производителя Oilon, модель FR – 711 N4A.

Подбор комбинированной горелки для водогрейного котла Viessmann Vitomax 200-LW M64A. Технические характеристики котла: тепловая мощность 20000 кВт; аэродинамическое сопротивление 19 мбар; минимальная длина головки горелки – 890 мм; длина камеры сгорания – 7250 мм; диаметр камеры сгорания – 1800 мм.

Данной тепловой мощности котла соответствует комбинированная горелка Weishaupt WKGMS 80/3-A ZM(H)-NR. По таблице определим среднюю длину и диаметр факела при максимальной мощности горелки:

$$L_{\text{факела}} = 6,9 \text{ м;}$$

$$D_{\text{факела}} = 1,7 \text{ м.}$$

Эти данные не превышают размеров камеры сгорания.

Проверим, попадают ли характеристики котла в рабочую область горелки (рис. 5.1): проведя вертикальную линию из точки, соответствующей полезной тепловой мощности котла, до значения аэродинамического сопротивления, видим, что рабочая точка попадает в рабочий диапазон горелки.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

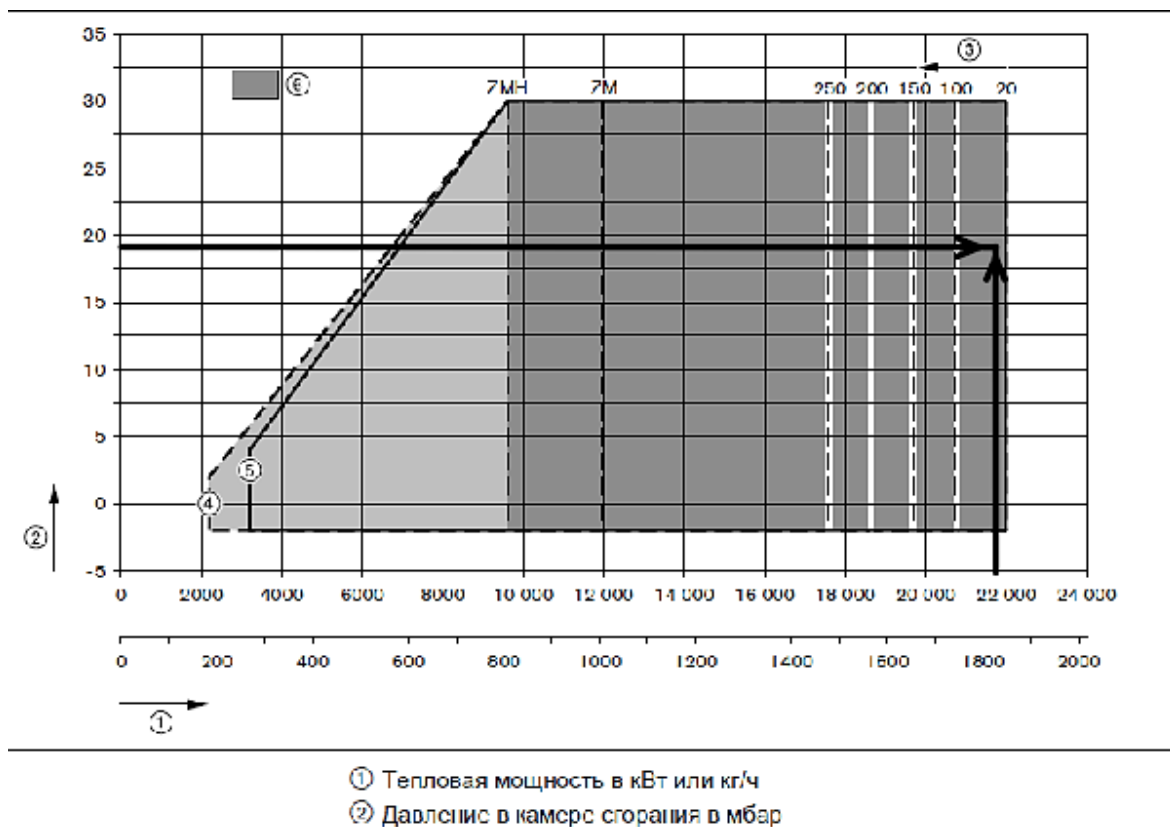


Рисунок 5.1 – Диаграмма рабочего диапазона горелки.

Подбор газовой рампы:

Из представленной таблицы спецификации определим минимальной необходимого давления газа перед газовой рампой определим суммарные потери давления для любой газовой рампы (например DN 150 STD).

Потери давления на рампе и головке горелки при максимальной мощности составляет 215 мбар.

К потерям давления на газовой рампе необходимо добавить величину аэродинамического сопротивления теплогенератора 19 мбар и 1 мбар на резерв. В итоге величина минимального необходимого динамического давления газа перед газовой рампой составит около 235 мбар.

При возможности обеспечить более высокое давление газа рекомендуется использовать газовую арматуру как можно меньшего типоразмера. Это оправдано с экономической точки зрения: она дешевле.

Цена данной горелки составляет 8,877,945 руб.

Сравним подобранную горелку с проектной:

Проектной документацией предусмотрена установка комбинированной горелки Oilon GKP-2000 ME для водогрейного котла Viessmann Vitomax 200-LW M64A.

По рисунку 5.2 определим среднюю длину и диаметр факела при максимальной мощности горелки:

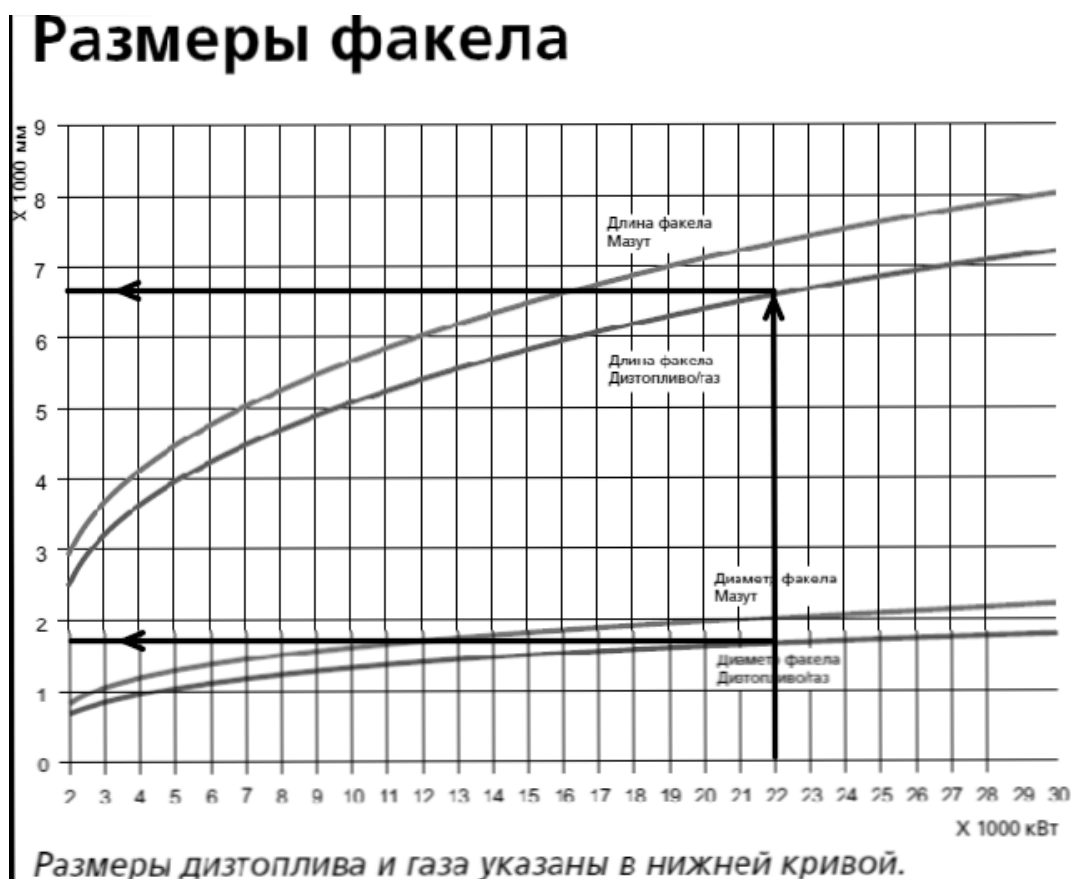


Рисунок 5.2 – график размера факела.

$$L_{\text{факела}} = 6,8 \text{ м};$$

$$D_{\text{факела}} = 1,8 \text{ м}.$$

Эти данные не превышают размеров камеры сгорания.

Из представленной таблицы спецификации определим минимальной необходимого давления газа перед газовой рампой определим суммарные потери давления для любой газовой рампы (например DN 125).

Потери давления на рампе и головке горелки при максимальной мощности составляет 250 мбар.

К потерям давления на газовой рампе необходимо добавить величину аэродинамического сопротивления теплогенератора 19 мбар и 1 мбар на резерв. В итоге величина минимального необходимого динамического давления газа перед газовой рампой составит около 270 мбар.

Цена данной горелки составляет 21,542,770 руб.

Рассмотрим основные факторы, влияющие на содержание вредных примесей в дымовых газах при сжигании природного газа и учитывая данную информацию при дальнейшем расчете.

Сгорание при избытке воздуха 15%

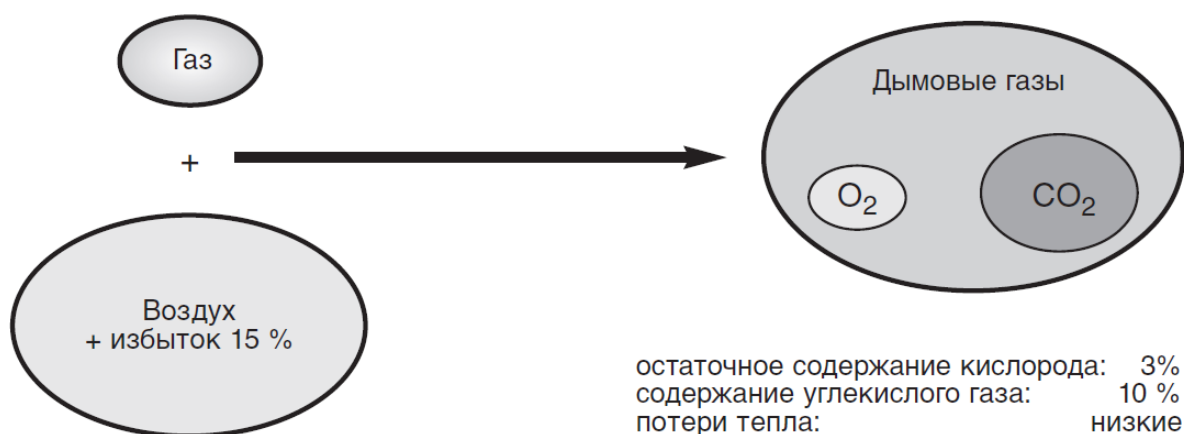


Рисунок 5.3 – Сгорание при избытке воздуха.

Для того, чтобы не происходило при недостатке воздуха, необходим его избыток. Но этот избыток воздуха должен быть минимальным, чтобы потери тепла были наименьшими.

Таким образом, с уменьшением избытка воздуха:

1. Увеличивается в процентном отношении содержание углекислого газа в дымовых газах.
2. Уменьшается в процентном соотношении содержание несгоревших остатков кислорода в дымовых газах.
3. Увеличивается КПД котла благодаря уменьшению потерь тепла.

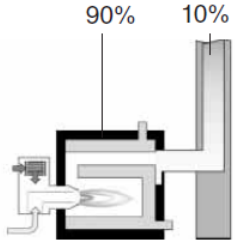
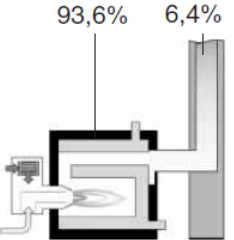
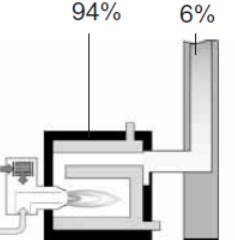
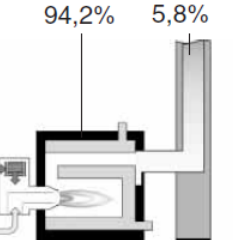
	CO ₂ 6%	O ₂ 10,3%	CO ₂ 10%	O ₂ 3,2%	CO ₂ 11%	O ₂ 1,4%	CO ₂ 11,5%	O ₂ 0,5%
Содержание СО	СО- около 0,005 %		СО- 0%		СО- 0%		СО- около 0,3%	
КПД								
Примечания	Низкий КПД		Наилучшая настройка (высокий КПД, отсутствие СО)		Малый избыток воздуха		Высокое содержание СО	

Рисунок 5.4 – КПД и экология.

Кроме требований к высокому КПД существует также требование по экологии. Специалист должен позаботиться об отсутствии образования угарного газа. В этой законодательством установлены максимальные уровни выбросов.

Для газовых горелок содержание оксида углерода при использовании природного газа не должно превышать 100 мг/кВт·ч.

В соответствии с этими требованиями необходимо настроить горелку таким образом, чтобы избыток воздуха был минимальным. И при этом не должен образовываться угарный газ.

5.1 Сравнение подобранных горелок

Произведем сравнение подобранных горелок, для этого выполним расчет выбросов в объем тепличного комплекса загрязняющих веществ с дымовыми газами котлоагрегатов паропроизводительностью до 30 т/ч и водогрейных котлов мощностью до 25 МВт.

1. Оксиды азота

Суммарное количество оксидов азота NO_x в пересчете на NO_2 (в г/с, т/год), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, определяются по формуле

$$M_{NO_x} = B_p Q_i^r K_{NO_2}^r \beta_k \beta_t \beta_\alpha (1 - \beta_r)(1 - \beta_s) k_n \quad (5.2)$$

где B_p - расчетный расход топлива, nm^3/c (тыс. $nm^3/год$);

Q_i^r - низшая теплота сгорания топлива, МДж/ nm^3 ;

$K_{NO_2}^r$ - удельный выброс оксидов азота при сжигании газа, г/МДж.

Для водогрейных котлов

$$K_{NO_2}^r = 0,0113 \sqrt{Q_T} + 0,03 \quad (5.3)$$

где Q_T - фактическая тепловая мощность котла по введенному в топку теплу, МВт

определяемая по формуле

$$Q_T = B_p Q_i^r \quad (5.4)$$

β_k - безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки.

Для всех дутьевых горелок напорного типа (т.е. при наличии дутьевого вентилятора на котле) принимается $\beta_k = 1,0$.

β_t - безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения

$$\beta_t = 1 + 0,002(t_{ТВ} - 30) \quad (5.5)$$

где $t_{ТВ}$ - температура горячего воздуха, °С.

β_α - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота.

В общем случае значение $\beta_\alpha = 1,225$.

При работе котла в соответствии с режимной картой $\beta_\alpha = 1$.

При подаче газов рециркуляции в смеси с воздухом

$$\beta_r = 0,16\sqrt{r} \quad (5.6)$$

где r - степень рециркуляции дымовых газов, %.

β_δ - безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру

$$\beta_\delta = 0,022\delta \quad (5.7)$$

где δ - доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела (в процентах от общего количества организованного воздуха);

k_Π - коэффициент пересчета;

при определении выбросов в граммах в секунду $k_\Pi = 1$;

при определении выбросов в тоннах в год $k_\Pi = 10^{-3}$.

2. Оксид углерода

При отсутствии данных инструментальных замеров оценка суммарного количества выбросов оксида углерода, г/с (т/год), может быть выполнена по соотношению

$$M_{CO} = 10^{-3} B C_{CO} \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad (5.8)$$

где B - расход топлива, г/с (т/год);

C_{CO} - выход оксида углерода при сжигании топлива, г/кг (г/нм) или кг/т (кг/тыс. нм³).

Определяется по формуле

$$C_{CO} = q_3 R Q_i^r \quad (5.9)$$

где q_3 - потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;

R - коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленную наличием в продуктах неполного сгорания оксида углерода; принимается для газа равный 0,5.

Q_i^r - низшая теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг (МДж/нм³);

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		47

q_4 - потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

Ориентировочная оценка суммарного количества выбросов оксида углерода M_{CO} , (г/с, т/год), может проводиться по формуле

$$M_{CO} = 10^{-3} B Q_i^r K_{CO} \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad (5.10)$$

где K_{CO} - количество оксида углерода, образующееся на единицу тепла, выделяющегося при горении топлива, кг/ГДж.

3. Оксиды серы

Суммарное количество оксидов серы M_{SO_2} , выбрасываемых атмосферу с дымовыми газами (г/с, т/год), вычисляют по формуле

$$M_{SO_2} = 0,02 B S^r (1 - \eta'_{SO_2}) (1 - \eta''_{SO_2}) \quad (5.11)$$

где B - расход натурального топлива за рассматриваемый период, г/с (т/год);

S^r - содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

η'_{SO_2} - доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле = 0;

η''_{SO_2} - доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц.

4. Этилен

Концентрация этилена, мг/нм³, в сухих продуктах сгорания природного газа на выходе из топочной зоны водогрейных котлов малой мощности определяется по формулам:

$$c_{\text{бп}}^r = 10^{-6} \cdot \frac{0,11 q_v - 7,0}{e^{3,5(\alpha_r^r - 1)}} K_d K_p K_{ст} \quad (5.12)$$

где R - коэффициент, учитывающий способ распыливания мазута для паромеханических форсунок $R = 0,75$; для остальных случаев $R = 1$;

α_T'' - коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания на выходе из топки;

q_v - теплонапряжение топочного объема, кВт/м³;

K_D - коэффициент, учитывающий влияние нагрузки котла на концентрацию этилена в продуктах сгорания;

K_R - коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов на концентрацию этилена в продуктах сгорания;

$K_{СТ}$ - коэффициент, учитывающий влияние ступенчатого сжигания на концентрацию этилена в продуктах сгорания.

Подставим значения подобранных горелок в вышеуказанные формулы:

5.2 Расчет выбросов для горелки Weishaupt WKGMS 80/3-A ZM(H)-NR

Расчет выбросов оксидов азота:

Фактическую мощность котла определим по формуле 5.4:

$$Q_T = 2603/1599/3,6 \cdot 33,63 = 21,97 \text{ МВт}$$

$$Q'_T = 0,654 \cdot 33,63 = 21,97 \text{ МВт}$$

Коэффициент, учитывающий температуру воздуха, определим по формуле 5.5:

$$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (30 - 30) = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Рециркуляцию газов определим по формуле 5.6:

$$\beta_r = 0,16 \cdot \sqrt{0} = 0\%$$

Коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру определим по формуле 5.7:

$$\beta_\delta = 0,022 \cdot 0 = 0$$

Удельный выброс оксидов азота определим по формуле 5.3:

$$K_{NO_2}^r = 0,0113 \cdot \sqrt{22,22} + 0,03 = 0,083 \text{ г/МДж}$$

Подставим получившиеся значения в формулу 5.2:

$$\begin{aligned} M_{NO_x} &= 3804 \cdot 33,63 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) \cdot 0,001 \\ &= 13 \text{ [т/4м]} \end{aligned}$$

$$M_{NO_x}' = 0,661 \cdot 33,63 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 1,25 \text{ [г/с]}$$

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

Определим количество выбросов окислов азота:

$$M_{NO} = 0,13 \cdot 13 = 1,69 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{NO}' = 0,13 \cdot 1,25 = 0,16 \text{ [г/с]}$$

$$M_{NO_2} = 0,8 \cdot 13 = 10,4 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{NO_2}' = 0,8 \cdot 1,25 = 1 \text{ [г/с]}$$

Расчет выбросов диоксида серы:

Суммарное количество оксидов серы определим по формуле 5.11:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 2603 \cdot 0,03 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 2,28 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{SO_2}' = 0,02 \cdot 0,654 \cdot 0,03 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 0,0004 \text{ [г/с]}$$

Расчет выбросов диоксида углерода:

Выход оксида углерода определим по формуле 5.9:

$$C_{CO} = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 33,63 = 3,36 \text{ [г/кг (г/нм)]}$$

Суммарное количество выбросов оксида углерода определим по формуле 5.8:

$$M_{CO} = 10^{-3} \cdot 2603 \cdot 3,36 \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 12,78 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{CO}' = 10^{-3} \cdot 0,654 \cdot 3,36 \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 2,21 \text{ [г/с]}$$

Расчет выбросов этилена:

Концентрацию этилена определим по формуле 5.12:

$$C_{\text{ЭТ}}^r = 10^{-6} \cdot \frac{0,11 \cdot 437 - 7}{e^{3,5(1,25-1)}} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,00017 \text{ мг/нм}^3$$

5.3 Расчет выбросов для горелки Oilon GKP-2000 ME

Расчет выбросов оксидов азота:

Фактическую мощность котла определим по формуле 5.4:

$$Q_T = 2603/1599/3,6 \cdot 33,63 = 21,98 \text{ МВт}$$

$$Q_T' = 0,654 \cdot 33,63 = 22,22 \text{ МВт}$$

Коэффициент, учитывающий температуру воздуха, определим по формуле 5.5:

$$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (30 - 30) = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		50

Рециркуляцию газов определим по формуле 5.6:

$$\beta_r = 0,16 \cdot \sqrt{19} = 0,68\%$$

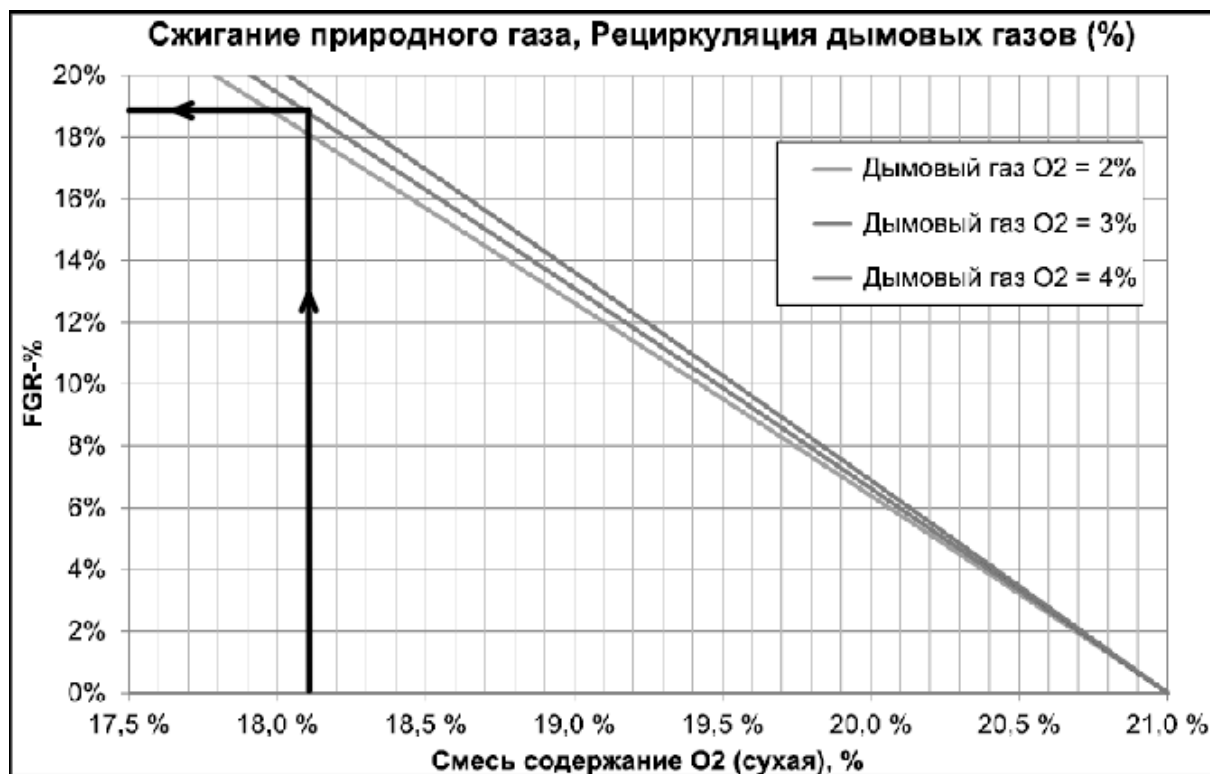


Рисунок 5.5 – 19 % рециркуляцией дымовых газов.

Коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру определим по формуле 5.7:

$$\beta_\delta = 0,022 \cdot 0 = 0$$

Удельный выброс оксидов азота определим по формуле 5.3:

$$K_{NO_2}^r = 0,0113 \cdot \sqrt{21,91} + 0,03 = 0,083 \text{ г/МДж}$$

Подставим получившиеся значения в формулу 5.2:

$$\begin{aligned} M_{NO_x} &= 2603 \cdot 33,63 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0,68) \cdot (1 - 0) \cdot 0,001 \\ &= 4,2 \text{ [т/4м]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{NO_x}' &= 0,654 \cdot 33,63 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0,68) \cdot (1 - 0) \\ &= 0,59 \text{ [г/с]} \end{aligned}$$

Определим количество выбросов окислов азота:

$$M_{NO} = 0,13 \cdot 4,2 = 0,55 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{NO}' = 0,13 \cdot 0,59 = 0,077 \text{ [г/с]}$$

$$M_{NO_2} = 0,8 \cdot 4,2 = 3,4 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{NO_2}' = 0,8 \cdot 0,59 = 0,46 \text{ [г/с]}$$

Расчет выбросов диоксида серы:

Суммарное количество оксидов серы определим по формуле 5.11:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 2603 \cdot 0,03 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 2,28 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{SO_2}' = 0,02 \cdot 0,654 \cdot 0,03 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 0,0004 \text{ [г/с]}$$

Расчет выбросов диоксида углерода:

Выход диоксида углерода определим по формуле 5.9:

$$C_{CO_2} = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 33,63 = 3,36 \text{ [г/кг (г/нм)]}$$

Суммарное количество выбросов оксида углерода определим по формуле 5.8:

$$M_{CO_2} = 10^{-3} \cdot 2603 \cdot 3,36 \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 12,78 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{CO_2}' = 0,654 \cdot 3,36 \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 2,21 \text{ [г/с]}$$

Расчет выбросов этилена:

Концентрацию этилена определим по формуле 5.12:

$$C_{\text{эт}}^{\Gamma} = 10^{-6} \cdot \frac{0,11 \cdot 437 - 7}{e^{3,5(1,25-1,12)}} \cdot 1,8 \cdot 2,3 \cdot 1 = 0,0000071 \text{ мг/нм}^3$$

Произведем расчет с рециркуляцией дымовых газов с 6,8 %:

Рециркуляцию газов определим по формуле 5.6:

$$\beta_r = 0,16 \cdot \sqrt{6,8} = 0,41\%$$

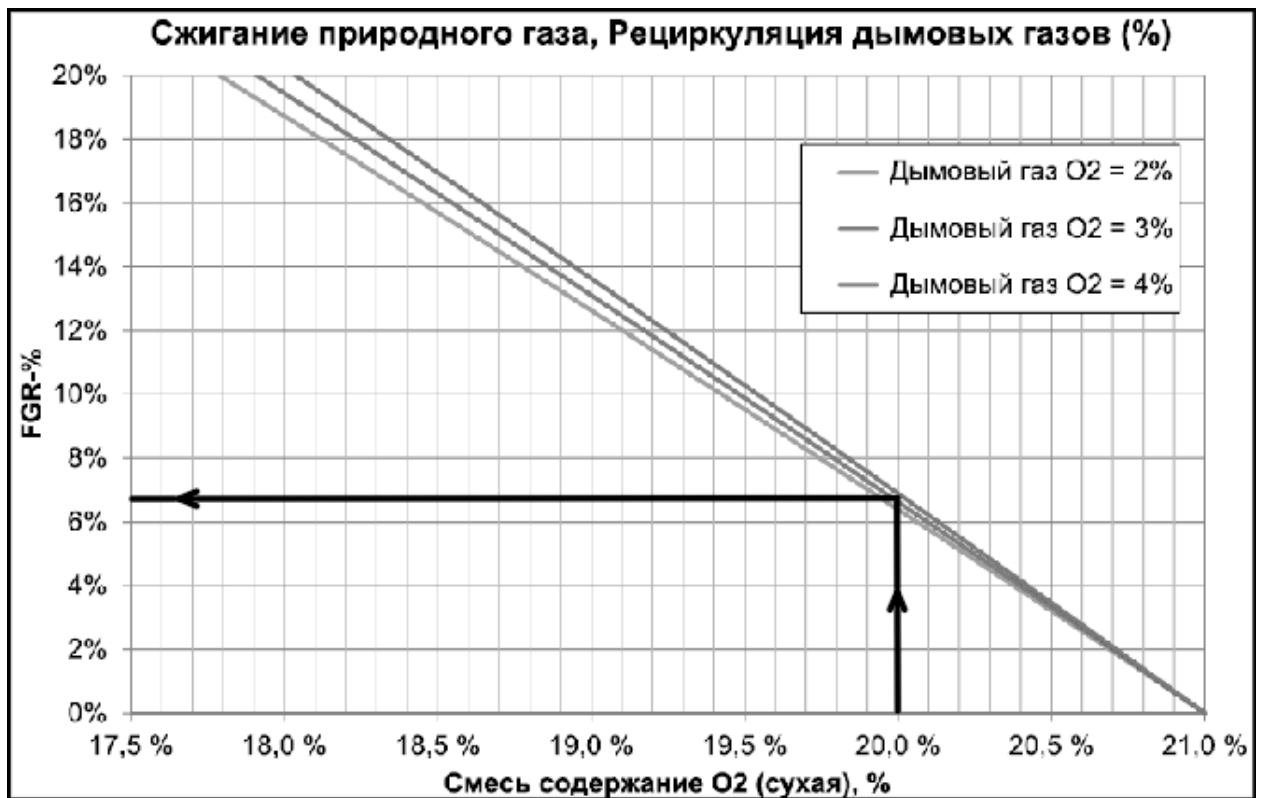


Рисунок 5.6 – 6,8 % рециркуляцией дымовых газов.

Коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру определим по формуле 5.7:

$$\beta_{\delta} = 0,022 \cdot 0 = 0$$

Удельный выброс оксидов азота определим по формуле 5.3:

$$K_{NO_2}^r = 0,0113 \cdot \sqrt{21,97} + 0,03 = 0,083 \text{ г/МДж}$$

Подставим получившиеся значения в формулу 5.2:

$$M_{NO_x} = 2603 \cdot 33,63 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0,41) \cdot (1 - 0) \cdot 0,001$$

$$= 7,6 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{NO_x}' = 0,654 \cdot 33,63 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,225 \cdot (1 - 0,41) \cdot (1 - 0)$$

$$= 0,83 \text{ [г/с]}$$

Определим количество выбросов окислов азота:

$$M_{NO} = 0,13 \cdot 7,6 = 0,98 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{NO}' = 0,13 \cdot 0,83 = 0,11 \text{ [г/с]}$$

$$M_{NO_2} = 0,8 \cdot 7,6 = 6,1 \text{ [т/4м]}$$

$$M_{NO_2}' = 0,8 \cdot 0,83 = 0,66 \text{ [г/с]}$$

Расчет выбросов этилена:

Концентрацию этилена определим по формуле 5.12:

$$C_{\text{эт}}^{\Gamma} = 10^{-6} \cdot \frac{0,11 \cdot 437 - 7}{e^{3,5(1,25-1)}} \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 1 = 0,000035 \text{ мг/нм}^3$$

5.4 Сравнение полученных результатов

Сведем полученные данные в таблицу 4 и сравним с максимально допустимыми концентрациями.

В Нидерландах, сотрудниками Университетского и исследовательского центра в области тепличного садоводства (Wageningen UR Glastuinbouw), были проведены новые исследования – по газам, которые наиболее опасны для растений (в первую очередь при искусственном досвечивании), и вероятность попадания которых в воздух теплицы наибольшая при применении востребованных технологий подкормки (нагнетание отходящих газов тепловых котлов). Результаты исследований рассчитали аналогично директивам ВОЗ для человека – через продолжительность воздействия токсиканта на объект. В настоящее время, для ведения высокорентабельной светокультуры отечественных и импортных гибридов овощных и цветочных культур по уровням диоксида серы, оксидам азота и этилена следует руководствоваться именно этими данными приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Максимальные допустимые концентрации фитотоксичных газов в воздухе теплицы (WUR, 2011 г.).

Фитотоксичный газ	Химическая формула	Продолжительность воздействия	Максимально допустимая концентрация
			мг/м ³
Диоксид серы	SO ₂	24 часа	0,29
Оксид азота	NO	24 часа	0,7
Диоксид азота	NO ₂	24 часа	3,5
Этилен	C ₂ H ₄	24 часа	0,01

Приведенные в таблице 3 значения используются в последние годы в Западной Европе как пороговые величины для стационарных тепличных газоанализаторов последнего поколения (например, MACView®-Greenhouse Gas Analyser).

Из расчетов выбросов загрязняющих веществ определим концентрацию данных веществ в теплице в соответствующей размерности, мг/м³.

Для этого по формуле (5.12) определения расхода приточного воздуха, м³/ч, необходимого для поддержания концентрации вредных веществ в заданных пределах.

$$L = \frac{M_{\text{вр}}}{c_{\text{уд}}}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (5.12)$$

где $M_{\text{вр}}$ – количество выделяемых вредных веществ, мг/ч;

$c_{\text{уд}}$ – концентрация вредных веществ в приточном воздухе, мг/м³.

Из формулы 5.12 выведем неизвестное значение концентрации вредных веществ, получим следующую формулу:

$$c_{\text{уд}} = M_{\text{вр}}/L, \text{ мг/м}^3 \quad (5.13)$$

Подставим получившиеся значения, полученные при расчетах выбросов загрязняющих веществ в теплице для рассмотренных горелочных устройств по формуле 5.13:

для горелки *Weishaupt WKGMS 80/3-A ZM(H)-NR*:

$$c_{\text{NO}}' = 576000/705240 = 0,82 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{\text{NO}_2} = 3600000/705240 = 5,1 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{\text{SO}} = 1440/705240 = 0,002 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{\text{эт}} = 0,00017 \text{ мг/м}^3.$$

для горелки *Oilon GKP-2000 ME* при 6,8% рециркуляции:

$$c_{\text{NO}}' = 396000/705240 = 0,56 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{\text{NO}_2} = 2376000/705240 = 3,36 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{\text{SO}} = 1440/705240 = 0,002 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{\text{эт}} = 0,000035 \text{ мг/м}^3.$$

для горелки *Oilon GKP-2000 ME* при 19% рециркуляции:

$$c_{NO} = 277200/705240 = 0,39 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{NO_2} = 1656000/705240 = 2,35 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{SO} = 1440/705240 = 0,002 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{эт} = 0,0000071 \text{ мг/м}^3.$$

Таблица 4 – сравнение полученных значений с максимально допустимой концентрацией.

Фитотоксичный газ	Химическая формула	Мах. доп. конц-я	Weishaupt WKGMS 80/3-A ZM(H)-NR	Oilon GKP-2000 ME рец.-6,8%	Oilon GKP-2000 ME рец.-19%
		мг/м ³	мг/м ³	мг/м ³	мг/м ³
Диоксид серы	SO ₂	0,2	0,002	0,002	0,002
Оксид азота	NO	0,7	0,82	0,56	0,39
Диоксид азота	NO ₂	3,5	5,1	3,36	2,35
Этилен	C ₂ H ₄	0,01	0,00017	0,000035	0,0000071

Из полученных расчет видно, что применение рециркуляции в смеси с дутьевым воздухом, по крайней мере для котлов с дутьевыми горелками, позволяет в несколько раз снизить выбросы NO_x и эксплуатировать котлы оснащенные горелками *Oilon GKP-2000 ME* сжигая природный газ без превышения предельных норм концентраций NO_x в продуктах сгорания.

Так же стоит отметить, что повсеместная уверенность, что «в нашей котельной в природном газе серы нет», на самом деле, это совсем не так: по ГОСТ 5542-87 и ОСТ 51.40-93 в природном газе допускается суммарное содержание сероводорода и меркаптановой серы до 56 мг/м³. Такое количество общей серы действительно не сказывается на работе ни тепловых

котлов, ни энергоустановок. Тем не менее, реальные поставки ОАО «Газпром» в Европу производятся с концентрацией не более 7-8 мг/м³. Это объясняется жёсткими требованиями Единой европейской спецификации на качество природного газа (EASEE-gas) по присутствию серосодержащих соединений – суммарно до 11 мг/м³. Таким образом, европейский овощевод мало беспокоится о попадании соединений серы в теплицу – в отличие от российского, рискующего по ГОСТу получить до 10 мг диоксида серы в каждом кубометре отходящих газов (при $\alpha=1,2$). Очевидно, что тут никакой конденсор не спасёт, хотя часть растворившегося SO₂ уходит с водяным конденсатом.

Делая вывод из вышеизложенного, сделаем экономическое сравнение системы подачи привозного жидкого углекислого газа и уже имеющейся системы подачи нагнетания отходящих газов от тепловых котлов.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		57

6 РАСХОД ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПО ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКЕ

Используя исходные данные из табл. 2, где указаны расходы тепла для котельной определим необходимый расход воды для теплого периода.

$$G = \frac{3,6 \cdot Q \cdot 1000}{c \cdot (t_1 - t_2)}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (6.1)$$

где G – расход теплоносителя, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Q – располагаемая тепловая нагрузка, МВт;

c – массовая теплоемкость воды, $4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

t_1 - температура воды (греющего теплоносителя) на входе в теплообменное оборудование, $^\circ\text{C}$;

t_2 - температура воды (охлажденного теплоносителя) на выходе из теплообменного оборудования, $^\circ\text{C}$;

Определим общий расход тепла в теплый период (с потерями):

$$G_{\text{общ}} = \frac{3,6 \cdot (40 - 8,5) \cdot 1000}{4,19 \cdot (105 - 75)} = 883 \text{ м}^3/\text{ч}$$

При работе на нагнетание отходящих газов от 2х тепловых котлов в течение 9 ч., произойдет нагрев объема воды:

$$G_{\text{общ}} = 883 \cdot 9 = 7947 \text{ м}^3$$

Из полученных расчетов видно, что за период работы котлов в режиме нагнетания дымовых газов в тепличный комплекс образуется избыток теплой воды, который с помощью внешних насосов будет перемещен в баки аккумуляторы №1 и №2. Данный объем подогретой воды используется в ночное время для поддержания температуры почвы в корнеобитаемом слое, которая должна быть $24 \text{ }^\circ\text{C}$.

Далее будет рассмотрен вариант, когда жидкая углекислота подается в тепличный комплекс, при этом будут демонтированы баки аккумуляторы №1

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		58

и №2, для подогрева горячей воды и питательного раствора поливочной воды будет введен в работу один котел. Избыток тепла, который вырабатывался за дневное время работы котельных агрегатов для подогрева корнеобитаемого слоя почвы в ночной период, будет компенсирован работой двух котельных агрегатов без конденсоров в течение 9 часов в ночное время.

При расчете экономической оценки будет рассмотрена возможность уменьшения капитальных затрат и последующих эксплуатационных затрат для первого варианта с баками аккумуляторами и дополнительного оборудования и второго варианта с оборудованием для подачи жидкой углекислоты.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		59

7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Для определения экономической эффективности применения подачи жидкой углекислоты для подкормки тепличных растений по сравнению с базовой системой подачи отходящих дымовых газов от котельных агрегатов, необходимо провести технико-экономическое сравнение этих двух вариантов, т.е. сравнить капитальные и эксплуатационные затраты на устройство системы подачи углекислоты и базового варианта.

7.1 Определение капитальных и эксплуатационных затрат для базовой системы подачи отходящих дымовых газов от котельных агрегатов для подкормки тепличных растений.

Обычно на стадии теоретическо-экономического обоснования сравнивают два варианта: один из них требует больших капитальных затрат, но отличается пониженными эксплуатационными расходами, а второй – наоборот, требует более низких капитальных затрат, но отличается более высокими эксплуатационными характеристиками.

Воспользуемся методическими указаниями кандидата технических наук О.Д. Самарина.

Он предлагает посчитать капитальные затраты по укрупненным показателям, но так как у нас есть готовый проект, а следовательно, количество уже установленного оборудования известно, мы можем посчитать капитальные затраты точнее.

К капитальным затратам базового варианта рассмотрим стоимость оборудования, которое в предложенном варианте будет исключено.

Бак охладитель $V = 4000 \text{ м}^3$, стоимость – 28.407.458 руб.

Проектом заложена установка 2х баков – стоимость = 56.814.916 руб.

Трубопроводы $\text{Ø } 426 \times 7, l = 289 \text{ м}$, стоимость = $289 \cdot 4129 = 1.193.281 \text{ руб.}$

$K_6 = 56.814.916 + 1.193.281 = 58.008.197 \text{ руб.}$

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		60

Эксплуатационные затраты на работу базового варианта котельной за расчетный период (4 месяца: май, июнь, июль, август).

Затраты на природный газ для работы двух котловых агрегатов за данный период составят:

$$5.207.328 \text{ м}^3 \cdot 4,52 \text{ руб/м}^3 = 21.870.777 \text{ руб.}$$

Стоимость электроэнергии потраченной за рассматриваемый период для работы котельной установки и доставки двуокиси углерода растениям.

Затраты, связанные с потреблением электроэнергии системой вычислим по формуле:

$$Э_{эл} = Z_p \cdot N_{\text{раб}} \cdot N_{\text{уст}} \cdot C_{эл}, \quad (7.1)$$

где Z_p – продолжительность работы оборудования в течение суток, ч;

$N_{\text{раб}}$ – число рабочих дней в году, определяемое по режиму работы объекта;

$N_{\text{уст}}$ – установочная мощность оборудования, кВт.

$C_{эл}$ – стоимость электроэнергии, принимаемая в зависимости от типа потребителя, руб./кВт·ч.

Вентиляторы дозирования CO_2 имеют энергопотребление электродвигателя 15 кВт, за коллектором установлены 6 шт.

Время работы 9 ч, что составляет $90 \cdot 1107 \cdot 4,2 = 418.446$ руб.

Дутьевые вентиляторы для подачи воздуха на горение имеют энергопотребление 75 кВт.

Время работы 9 ч., что составляет $75 \cdot 2 \cdot 1107 \cdot 4,2 = 697.410$ руб.

Насосы циркуляции котловых контуров и циркуляционного контура имеют энергопотребление 11 и 7,5 кВт, а также насосы конденсатора и сетевые, имеют энергопотребление 2,2 и 160 кВт соответственно.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		61

Время работы 9 ч., что составляет для котловых насосов:

$$11 \cdot 1107 \cdot 4,2 = 51143 \text{ руб.}$$

$$7,5 \cdot 1107 \cdot 4,2 = 34870 \text{ руб.}$$

Время работы 24 ч., что составляет для внешних насосов:

$$2,2 \cdot 2952 \cdot 4,2 = 27276 \text{ руб.}$$

$$2 \cdot 160 \cdot 2952 \cdot 4,2 = 3.967.488 \text{ руб.}$$

Двигатель вентилятора приточной установки имеет энергопотребление 15 кВт.

$$\text{Время работы 9 ч., что составляет } 15 \cdot 2 \cdot 1107 \cdot 4,2 = 139482 \text{ руб.}$$

Ежемесячное обслуживание котельных агрегатов:

$$89000 \cdot 4 = 356000 \text{ руб.}$$

7.2 Определение капитальных и эксплуатационных затрат на устройство системы подачи жидкой углекислоты для подкормки тепличных растений

$$K_{CO_2} = \sum K_{рез} + K_{СП} + K_{ГЭ} + K_{ПЭ} + K_{рег.дв} + K_{фил} + K_{тр} + K_{м.р} \quad (7.2)$$

$K_{рез}$ – затраты на покупку резервуара для хранения жидкой двуокиси углерода РДХ-50,0-2,0 с холодильником

$$\text{Стоимость резервуара РДХ-50,0-2,0} = 4.200.000 \text{ руб.}$$

$K_{СП}$ – затраты на покупку станции перелива углекислоты

$$\text{Стоимость СПУ 10/50 + металлорукава РВД} = 215000 \text{ руб.}$$

$K_{ГЭ}$ – газификатор углекислотный электрический

$$\text{Стоимость ГУ} - 125 = 140000 \text{ руб.}$$

$K_{ПЭ}$ – подогреватель углекислотный электрический

$$\text{Стоимость ПУ} - 125 = 70000 \text{ руб.}$$

$K_{рег.дв}$ – регулятор давления

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		62

Стоимость AR-60 = 20000 руб.

$K_{\text{фил}}$ – фильтр газовый сетчатый

Стоимость AF-60 = 25000 руб.

$K_{\text{тр}}$ – трубопроводы стальные водогазопроводные

Стоимость труб стальных по ГОСТ 3262-75 15x2,8 – 98м

$98 \cdot 62,08 = 6083$ руб.

$K_{\text{м.р}}$ – затраты на монтажные работы

Стоимость монтажных работ, ориентировочно можно принять:

$$K_{\text{м.р}} = 30\% \cdot (K_{\text{рез}} + K_{\text{СП}} + K_{\text{ГЭ}} + K_{\text{ПЭ}} + K_{\text{рег.дв}} + K_{\text{фил}} + K_{\text{тр}} + K_{\text{м.р}}) \quad (7.3)$$

$$K_{\text{м.р}} = 30\% \cdot (4200000 + 215000 + 140000 + 70000 + 20000 + 25000 + 6083) = 1.401.000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{CO}_2} = 4.200.000 + 215000 + 140000 + 70000 + 20000 + 25000 + 6083 + 1.401.000 = 6.077.083 \text{ руб.}$$

Определение эксплуатационных затрат

К эксплуатационным затратам отнесем затраты для второго варианта: необходимый объем жидкой углекислоты, ее доставка, работа электрооборудования, зарплата обслуживающего персонала.

Из расчета, проведенного в п. 4 имеем необходимый объем в 64,8 т. сжиженной углекислоты.

1 т. сжиженного углекислого газа в г. Усть-Катав стоит 12500 руб.

$$64,8 \cdot 12500 = 810000 \text{ руб.}$$

Межзаводская транспортировка углекислоты в автомобильных цистернах, принадлежащих поставщику для потребителя будет затраты на тариф за автотранспорт.

Полуприцеп ЦЖУ-25,0 имеет грузоподъемность не более 24360 кг жидкой двуокиси углерода, для заполнения резервуара РДХ-50,0-2,0

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		63

имеющий объем для жидкой двуокиси углерода не более 48000 кг, потребуется выполнение трех рейсов за весь рассматриваемый период.

1 рейс = 8400 руб.

$3 \cdot 8400 = 25200$ руб.

Определим среднесуточное потребление двуокиси углерода:

$$P = \frac{G}{m}, \text{ т/сутки} \quad (7.4)$$

где G – расчетный объем потребителя двуокиси углерода, т.

m – количество рабочих дней в году.

$$P = \frac{64,8}{123} = 0,53 \text{ т/сутки}$$

Ритм поставок в сутках определяется по формуле:

$$T_p = \frac{n_{\text{тр}} \cdot V_{\text{тр}}}{P} \quad (7.5)$$

где $n_{\text{тр}}$ – количество транспортных цистерн, участвующих одновременно в одной поставке;

$V_{\text{тр}}$ – вместимость транспортной цистерны, т.

$$T_p = \frac{1 \cdot 24,36}{0,53} = 46 \text{ суток}$$

Время, в течение которого расходуется минимально возможный запас двуокиси углерода, в сутках определяется по формуле:

$$T_{з.мин} = \frac{n_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}}}{P} - T_{\text{стр}} \quad (7.6)$$

$$T_{з.мин} = \frac{1 \cdot 48}{0,53} - 1 = 91 \text{ суток}$$

Время, в течение которого расходуется максимально возможный запас двуокиси углерода, в сутках определяется по формуле:

$$T_{з.мах} = \frac{n_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}}}{P} + T_p - T_{\text{стр}} \quad (7.7)$$

$$T_{з.мах} = \frac{1 \cdot 48}{0,53} + 46 - 1 = 137 \text{ суток}$$

Для подогрева воды на ГВС и поливочной воды необходима работа одного котла мощностью 8,5 МВт.

Определим расход природного газа за рассматриваемый период:

$$G_{\text{газа}} = \frac{Q_{\text{полн}} \cdot 3,6}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{9444,4 \cdot 3,6}{33,63} = 1011 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$G_{\text{газа}} = 1011 \cdot 9 \cdot 123 = 1.119.177 \text{ м}^3$$

Определим стоимость необходимого количества газа:

$$1.119.177 \cdot 4,52 = 5.058.680 \text{ руб.}$$

Для ночного подогрева грунта будут задействованы два котла мощностью 40 МВт. Затраты на природный газ для работы двух котловых агрегатов составят:

$$5.207.328 \text{ м}^3 \cdot 4,52 \text{ руб/м}^3 = 21.870.777 \text{ руб}$$

Стоимость электроэнергии потраченной за рассматриваемый период для работы установки подачи двуокиси углерода.

По данным технических характеристик электрооборудования определяем электрическую мощность используемого оборудования.

Стоимость 1 кВт/ч = 4,2 руб.

Дутьевые вентиляторы для подачи воздуха на горение имеют энергопотребление 75 кВт.

Время работы по 9 ч., что составляет:

$$3 \cdot 75 \cdot 1107 \cdot 4,2 = 323797 \text{ руб.}$$

Насосы циркуляции котловых контуров и циркуляционного контура имеют энергопотребление 11 и 7,5 кВт, а также сетевые, имеет энергопотребление 160 кВт.

Время работы по 18 ч., что составляет для котловых насосов:

$$11 \cdot 2214 \cdot 4,2 = 102286 \text{ руб.}$$

$$7,5 \cdot 2214 \cdot 4,2 = 69741 \text{ руб.}$$

Время работы по 18 ч., что составляет для внешних насосов:

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		65

$$2 \cdot 160 \cdot 2214 \cdot 4,2 = 2975616 \text{ руб.}$$

Двигатель вентилятора приточной установки имеет энергопотребление 11 кВт.

Время работы по 9 ч., что составляет:

$$3 \cdot 11 \cdot 1107 \cdot 4,2 = 153430 \text{ руб.}$$

Станция перелива жидкой углекислоты имеет энергопотребление 2,2 кВт, имеет производительность 12 т/ч.

В режиме перекачивая жидкой углекислоты за рассматриваемый период, насос будет работать 7,1 ч., что составляет $15,6 \text{ кВт} = 65,5 \text{ руб.}$

Газификатор с подогревателем углекислотным электрическим имеет энергопотребление 31 кВт/ч.

За расчетное время работы газификатор потребит $38130 \text{ кВт} = 160146 \text{ руб.}$

Холодильный агрегат резервуара углекислоты, который имеет энергопотребление 8 кВт/ч.

За расчетный период холодильный агрегат потребит $23616 \text{ кВт} = 99187 \text{ руб.}$

Заработная плата обслуживающего персонала, системы подачи двуокиси углерода из 2 человек. За 4 месяца составит 200000 руб.

Посчитаем суммарные эксплуатационные затраты:

$$\text{Э}_{В1} = 27.562.892 \text{ руб./период};$$

$$\text{Э}_{В2} = 31.848.926 \text{ руб./период.}$$

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		66

7.3 Определение совокупных дисконтированных затрат

Если считать, что для приобретения дополнительного оборудования используются собственные средства инвестора, тогда совокупные дисконтированные затраты (СДЗ), приведенные к концу расчетного срока для каждого сравниваемого варианта можно рассчитать по следующей формуле:

$$СДЗ = K \cdot (1 + p/100)^T + Э \cdot ((1 + p/100)^T - 1) \cdot (100/p), \quad (7.8)$$

где K – капитальные затраты, руб.;

$Э$ – эксплуатационные затраты, руб.;

p – норма дисконта, %;

T – год расчета.

Норма дисконта учитывает упущенную выгоду от того, что эти средства вложены в энергосбережение вместо размещения под проценты в банке. В расчетах ее примем равной среднерыночной банковской ставке по кредитам. По состоянию на 2019 г. $p = 6,5\%$.

Более точно дисконтированный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1 - \frac{p \cdot T_0}{100})}{\ln(1 + \frac{p}{100})}, \quad (7.9)$$

где T_0 – бездисконтный срок окупаемости, не учитывает норму дисконта принятую при расчете совокупных дисконтированных затрат.

$$T_0 = (K_{от2} - K_{от1}) / (Э_1 - Э_2) = 12 \text{ лет.}$$

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1 - \frac{6,5 \cdot 12}{100})}{\ln(1 + \frac{6,5}{100})} = 25 \text{ лет.}$$

Все расчеты по годам были сведены в таблицу:

Таблица 7.1 – СДЗ за разный период времени.

	0	3	6	9	12	15
СДЗ ₁	58.008.197	158.231.678	279.296.593	425.536.913	602.187.852	815.573.288
СДЗ ₂	6.077.083	109.232.687	233.839.461	384.358.166	566.177.179	785.805.389

СДЗ₁ – Совокупные дисконтированные затраты для системы нагнетания отходящих газов от котельных агрегатов.

СДЗ₂ – Совокупные дисконтированные затраты для системы подачи жидкой углекислоты.

Для оценки эффективности дополнительных капитальных вложений в первом варианте по сравнению со вторым по показателю срока их окупаемости необходимо построить графики зависимости СЗД₁ и СЗД₂ для сравниваемых вариантов от времени и найти точку пересечения этих графиков, на рисунке 7.1 наглядно можно посмотреть данную зависимость.

Рисунок 7.1 на странице 69.

					<i>ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>69</i>

Таким образом, можно сделать вывод, что вариант установки подачи привозного углекислого газа отличается меньшими капитальными вложениями, но в тоже время имеет большие эксплуатационные затраты, это означает, что расчетный срок окупаемости системы в полтора раза превышает расчетный срок эксплуатации оборудования.

Это говорит о том, что графики СДЗ₁ и СДЗ₂ не пересекаются, дополнительные капитальные вложения в осуществление мероприятий по изменению технологии подачи углекислого газа в тепличный комплекс экономически нецелесообразны.

						Лист
					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	70
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы над проектом решались вопросы экономического и экологического сжигания природного газа с последующим использованием отработавших газов в системе подкормки растений углекислым газом.

Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы, определена необходимая концентрация углекислого газа в теплицах, выявлены проблемы и найдены пути их решения, выполнен подбор горелочного устройства, а также сравнение горелки с уже имеющимся проектным решением, произведен расчет выбросов загрязняющих веществ с дымовыми газами котлоагрегатов поступающих в тепличный комплекс, а также расчет экономических показателей использования предложенной системы подачи сжиженного углекислого газа для подкормки растений.

Благодаря полученным расчетам и подобранному оборудованию найдено решение проблем, которое позволяет устранить недостатки и получить максимальный эффект от системы подачи жидкой углекислоты как источника углекислого газа для тепличных растений в агрокомплексе «Горный» за рассмотренный период, а также получить экономию денежных средств.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		71

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шуваев В. А., Голубев В. А., Кравцова Г. М. / Выращивание огурца по малообъемной технологии в ЗАО «Трубичино» / Гавриш -2007. -№1.
2. Жербаков А. В. / Подкормка растений углекислым газом в культивационных сооружениях защищенного грунта / Сборник научных трудов СЗНИИМЭСХ. -2003. -№74.
3. Владыкин И. Р., Елесин И. С. / Исследование энергоэффективных технологий подкормки углекислым газом биологических объектов в защищенном грунте / Вестник ВИЭСХ -2014. -№2.
4. Лотонов А. В., Юферев Л. Ю. / Система мониторинга и автоматического регулирования содержания CO₂ в защищенном грунте / Вестник ВИЭСХ. -2011. -№3.
5. Богданов К. Б., Усков Е. / Подкормка растений углекислым газом в защищенном грунте / Гавриш. -2004. -№5.
6. Голубев В. А., Шуваев В. А. / Подкормка растений углекислым газом в теплицах / Гавриш. -2007. -№3.
7. Махмутов А. Н. / Система автоматической подачи газа CO₂ в тепличные помещения / Овощеводство. -2017. -№3.
8. Ковалев А. А. / Технология анаэробной переработки органических отходов с утилизацией тепловой энергии и удобрений в культивационном сооружении / Ползуновский Вестник. -2012. -№3.
9. Хазанов Е. Е., Хазанова С.Г. / Энергетический потенциал использования вентиляционных выбросов коровника в прифермерской теплице / Сборник научных трудов СЗНИИМЭСХ. -2001. -№72.
10. Педченко А. В., Педченко О. Д. / Связь между объемно-планировочными решениями зданий, микроклиматом помещений и технологией выращивания животных и растений / Полтавский Вестник. - 2012. -№2.
11. Богданов К. Б. / Повреждения растений фитотоксичными газами при искусственном досвечивании / Мир Теплиц. -2015. -№3.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		72

12. Богданов К.Б., Усков Е.И. / Способы использования диоксида углерода (CO₂) в агропромышленном комплексе: Обзорная информация. / Агроконсалт, 2005.
13. Глянько А.К., Митанова Н.Б., Степанов А.В. / Физиологическая роль оксида азота (NO) у растительных организмов / Журнал стресс-физиологии и биохимии. – 2009. – Вып. 5. – № 3.
14. Кособрюхов А.А. / Адаптационные изменения фотосинтеза при повышенной концентрации CO₂ / Автореф. д-ра биол. наук. – М., 2008.
15. Красиленко Ю.А., Емец А.И., Блюм Я.Б. / Функциональная роль оксида азота у растений / Физиология растений. 2010. – № 4.
16. Сидоренко Е.С., Харитонашвили Е.В. / Роль NO в регуляции растительного метаболизма / Всероссийский журнал научных публикаций. – Биологические и сельскохозяйственные науки. – 2011.
17. Васфилов С.П. / Возможные пути негативного влияния кислых газов на растения / Журнал общей биологии. – 2003. – № 2.
18. Алыков Н.М., Алыков Н.Н., Сютова Е.А. / Влияние диоксида серы на содержание фотосинтетических пигментов в растениях. / – Астрахань, 2008.
19. CO₂ in de glastuinbouw. – Aalsmeer/Naaldwijk: Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, 1999.
20. Dijk C.J. van, Meinen E., Dueck Th.A. Grenzen voor luchtkwaliteit – Effecten van discontinue blootstelling aan etheen en stikstofoxiden. – Wageningen UR Glastuinbouw, 2011.
21. Vermeulen P.C.M., van der Lans C.J.M. CO₂ dosering in de biologische glastuinbouw. – Wageningen UR Glastuinbouw, 2010.
22. Dueck Th.A., Dijk C.J. van, Kempkes F., van der Zalm T. Emissies uit WKK installaties in de glastuinbouw. – Wageningen UR Glastuinbouw, 2008.
23. Pratt T. An investigation into the effects of flue gas quality on tomato plants. – Agriculture and Horticulture Development Board. – PC287, 2009.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		73

24. СП 56.13330.2011. Производственные здания. – М.: Минрегион России, 2010. – 15 с.
25. СП 107.13330.2016. Теплицы и парники. – М.: Минрегион России, 2012. – 23 с.
26. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Штокман Е. А. – М: АСВ, 2001. - 564 с.
27. РД-АПК 1.10.09.01-14. Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комплексов для выращивания овощей и рассады. – М.: Минсельхоз России, 2014. - 109 с.
28. ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Госстандарт СССР, 1989.
29. ГОСТ 21204.97. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования. – М.: Госстандарт России, 1998.
30. РД 26-4-87. Правила. Оборудование для безбаллонного обеспечения предприятий двуокисью углерода. – М.: Министерство химического и нефтяного машиностроения, 1987.

					ЮУрГУ-13.04.01.2019.125.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		74