

Ядерные технологии

2022/23 учебный год

Инженерный тур

Общая информация

Работа реакторной установки атомной станции невозможна без восполнения очень незначительных, но неизбежных потерь теплоносителя первого контура, которым является вода. Одним из важных элементов данной системы является деаэратор.

Деаэратор подпитки-продувки дегазирует теплоноситель первого контура, поступающий из линий продувки и организованных протечек I контура. Кроме того, деаэратор подпитки-продувки ТК10В01 выполняет функцию демпферной емкости на всасе подпиточных насосов. В деаэраторе осуществляется выделение кислорода и водорода из теплоносителя I контура, а также разбавление водорода водяным паром или азотом до взрывобезопасной концентрации. Наряду с глубоким выделением кислорода и водорода, аппарат позволяет выделить из контурной воды растворенные в ней радиоактивные благородные газы (РБГ): криптон, ксенон и другие. Из подаваемых на подпитку деаэратора «чистого» конденсата и борированной воды в основном осуществляется выделение кислорода, углекислого газа и других газов. Основной тепловой процесс в деаэраторе сводится к созданию условий, при которых из воды, прошедшей через деаэратор, практически полностью удаляются растворенные в ней газы. Одной из задач управления процессом деаэрации является задача наполнения деаэратора и поддержания в нем заданного уровня. При этом упрощенно считают, что определяющим будет процесс накопления воды в деаэраторе в соответствии с законом сохранения массы. Другая, не менее важная задача — это задача поддержки заданного уровня для штатного поддержания режима деаэрации с полной дегазацией выпара. Кроме того постоянно ведутся исследования по улучшению параметров объекта управления. Чаще всего исследования подобного рода проводятся на специальных цифровых моделях-тренажерах, прототип которого необходимо будет разработать и реализовать участникам финала.

Сюжет задачи

В командной задаче предлагается:

- реализовать цифровую математическую модель, разработанную на втором этапе настоящей Олимпиады в системе реального времени «МикСис» и провести основные исследования полученной математической модели;
- выбрать из имеющегося арсенала законов управления системы «МикСис» подходящий закон управления и произвести настройку его для полученной модели в среде реального времени в соответствии с критериями качества предложенного в приложении к заданию;
- для полученной математической модели объекта управления, исполнительного механизма и закона регулирования построить человеко-машинный интерфейс для проведения исследования модели полученного объекта управления;
- используя полученный программный тренажер модели деаэратора произвести исследования влияния геометрических размеров объекта управления на произ-

водительность всей системы автоматического регулирования процесса деаэрации в целом.

На практике оказывается чрезвычайно важным обеспечить высокое качество регулирования, что позволяет повысить износостойчивость технологического оборудования и КПД.

Требования к команде и компетенциям участников

Условное распределение по ролям участников команды для решения задачи заключительного этапа:

- математик: математическое обеспечение разработки;
- программист: программная реализация цифровой модели;
- инженер-физик: знание основ физики ядерных реакторов, умение ориентироваться в составе и оборудовании АЭС, разработка технологической схемы.

Потребуется также и совместное участие в решении таких задач, как:

- создание графического интерфейса модели;
- проведение модельных экспериментов, представление результатов работы.

Оборудование и программное обеспечение

Наименование	Описание
Ядро реального времени для ОС Windows MWBridge	Универсальный инструмент создания и поддержки АСУ ТП, в том числе распределенных. При этом особое внимание уделено повышению надежности и безопасности АСУ ТП, что обеспечивает возможность применения на ответственных и опасных производствах. Это достигается высоким уровнем детерминированности благодаря строгой цикличности и векторной обработке данных, а также графическому и табличному программированию и настройке всех компонентов, которые могут осуществляться одновременно с наладкой на работающей системе.

Наименование	Описание
Система отображения Display	<p>Программа предназначена для графического отображения технологических параметров, сигнальной и иной информации, осуществления контроля и управления ими.</p> <p>Программа включает в себя следующие функциональные системы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • графическое ядро; • редактор мнемосхем и настроек. <p>Графическое ядро реализует функции отрисовки элементов отображения и мнемосхем. Графическое ядро работает, используя аппаратное ускорение посредством библиотеки OpenGL. Редактор мнемосхем позволяет оператору осуществлять изменение вида и состава отображаемой информации и предоставляет следующие функции:</p> <ul style="list-style-type: none"> • создание, изменение, копирование и удаление мнемосхем; • импорт мнемосхем из других проектов; • создание, изменение и удаление элементов отображения на мнемосхеме; • редактирование параметров привязки свойств элемента отображения к технологическим параметрам.

Описание задачи

В командной задаче предлагается:

- реализовать цифровую математическую модель, полученную на втором этапе настоящей Олимпиады по профилю «Ядерные технологии» в системе реального времени «МикСис» и провести основные исследования полученной математической модели;
- выбрать из имеющегося арсенала законов управления системы «МикСис» подходящий закон управления и произвести настройку его для полученной модели в среде реального времени в соответствии с критериями качества предложенного в приложении к заданию;
- для полученной математической модели объекта управления, исполнительного механизма и закона регулирования построить человеко-машинный интерфейс для проведения исследования модели полученного объекта управления;
- используя полученный программный тренажер модели деаэрата произвести исследование влияния геометрических размеров объекта управления на производительность всей системы автоматического регулирования процесса деаэрации в целом.

На практике оказывается чрезвычайно важным обеспечить высокое качество регулирования, что позволяет повысить износоустойчивость технологического оборудования и КПД.

Теоретические аспекты задания

Как Вам уже известно из второго этапа настоящей Олимпиады, что на атомных электростанциях, есть два или три полностью дифференцированных контура.

Первичный контур. Этот полностью замкнутый контур, содержит основные элементы атомных электростанций, реактор с его топливными элементами и управляющими стержнями, парогенераторы, главный циркуляционный насос и другие, которые зависят от типа реактора.

Вторичный контур. В этом замкнутом контуре находятся турбины, которые вращают электрический генератор.

Вода во вторичном контуре поступает в парогенератор, где она нагревается и испаряется, не вступая в контакт с водой в первичном контуре. Генерируемый пар направляется в турбины, где тепловая энергия пара преобразуется в механическую энергию, затем пар направляется в конденсатор, где он охлаждается и конденсируется для возврата парогенератора, начиная цикл снова.



Третичный контур. Этот открытый контур, вода выбирается из источника (море, река, водохранилище и т. д.) перекачивается в конденсатор для охлаждения пара после прохождения через турбину и возвращается в исходный источник или в атмосферу (в виде водяного пара, если используются градирни).

Независимо от характеристик ядерных установок одним из наиболее важных компонентов — это деаэратор, экономическая стоимость которого составляет значительную долю от общей стоимости ядерной установки. Функция основного деаэратор заключается дегазации подпиточной воды в реакторе.

Деаэратор подпитки-продувки дегазировывает теплоноситель первого контура, поступающий из линий продувки и организованных протечек I контура. Кроме того, деаэратор подпитки-продувки ТК10В01 выполняет функцию демпферной емкости на всасе подпиточных насосов. В деаэраторе осуществляется выделение кислорода и водорода из теплоносителя I контура, а также разбавление водорода водяным паром или азотом до взрывобезопасной концентрации. Наряду с глубоким выделением кислорода и водорода, аппарат позволяет выделить из контурной воды растворенные в ней радиоактивные благородные газы (РБГ): криптон, ксенон и другие. Из подаваемых на подпитку деаэратора «чистого» конденсата и борированной воды в

основном осуществляется выделение кислорода, углекислого газа и других газов. Основной тепловой процесс в деаэраторе сводится к созданию условий, при которых из воды, прошедшей через деаэратор, практически полностью удаляются растворенные в ней газы. В соответствии с законом Генри количество растворенного в воде газа пропорционально давлению этого газа над жидкостью. Несмотря на уменьшение количества кислорода в воде с повышением температуры оставшаяся его часть значительна. Так, при изменении температуры воды от 20 °С до 50 °С количество растворенного в воде кислорода уменьшается с 9 до 5 мг/кг, но оставшаяся часть в сотни раз превышает допустимые уровни. Сущность термической деаэрации заключается в доведении воды до кипения и создания над ней возможно большего парциального давления водяных паров, последнее является решающим, несмотря на снижение O_2 при увеличении температуры воды до 100 °С. Ускорению процесса способствуют гидродинамические факторы, обусловленные конструкцией деаэратора — образующийся в толще воды пар барботирует через нее, увлекая за собой пузырьки газов, десорбирующихся из воды, а непрерывный отвод выпара позволяет не допускать над уровнем воды сколько-нибудь заметного парциального давления удаляемых газов. На рисунке VI.2.1 представлена конструкция деаэратора. Технические характеристики деаэратора представлены в таблице VI.2.1.

Таблица VI.2.1

Рабочее давление корпус/теплообменник, кгс/см ²	1,2/3,5
Расчетное давление корпус/теплообменник, кгс/см ²	5/5
Давление гидроиспытания корпус/теплообменник, кгс/см ²	8/8
Рабочая температура корпус/теплообменник, °С	104/138
Номинальная производительность, м ³ /час	70
Максимальная производительность в аварийном режиме с частичной дегазацией, м ³ /час	100
Емкость герметичного корпуса, м ³	31
Емкость рабочая корпуса, м ³	19
Поверхность теплообмена нагревателя, м ²	53,5
Снижение содержания кислорода при деаэрации, мг/кг	с 10 до 0,02
Снижение содержания (кислорода) водорода при дегазации, мг/кг	с 5,2 до 0,052
Номинальный уровень, мм	1700
Расход выпара м ³ /ч	0,150
Диаметр отводящих и подводящих трубопроводов, мм	180
Плотность рабочей воды, кг/м ³	926,10

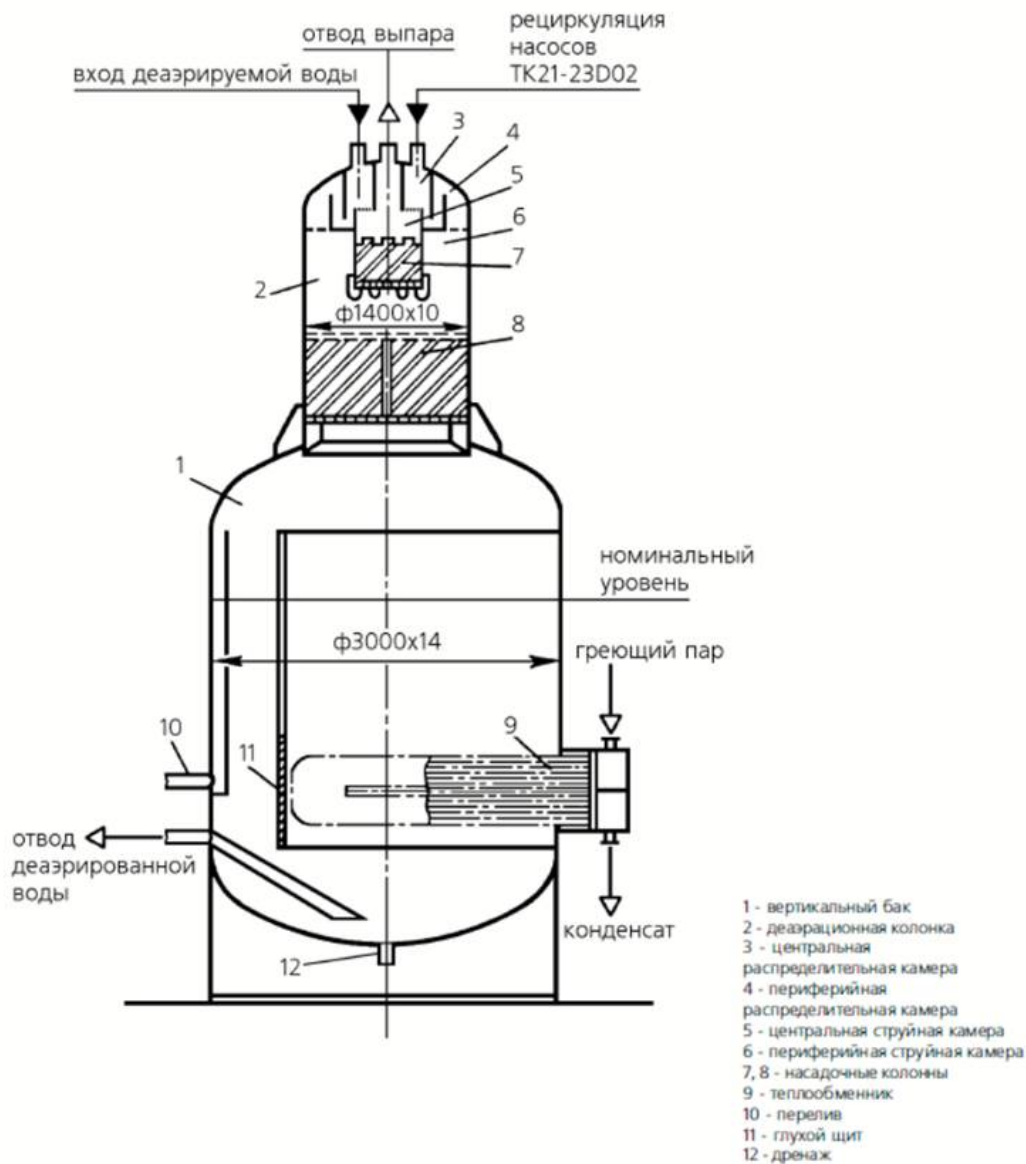


Рис. VI.2.1

Одной из задач управления процессом деаэрации является задача наполнения деаэратора и поддержания в нем заданного уровня. При этом упрощенно считают, что определяющим будет процесс накопления воды в деаэраторе в соответствии с законом сохранения массы. Другая, не менее важная задача — это задача поддержки заданного уровня для штатного поддержания режима деаэрации с полной дегазацией выпара. Кроме того постоянно ведутся исследования по улучшению параметров объекта управления.

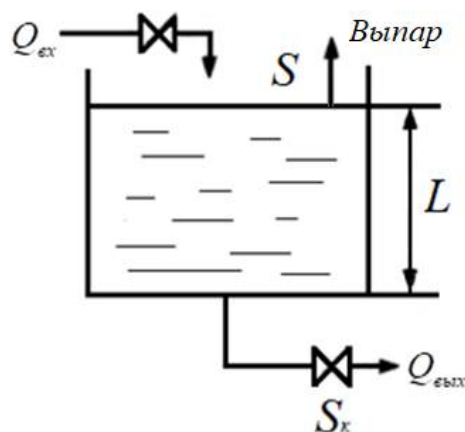


Рис. VI.2.2. Резервуар с регулируемым уровнем

Деаэратор будем считать цилиндрической формы, рабочий объем задан в таблице VI.2.1, там же задана производительность деаэрируемой воды и выпара за единицу времени.

Подготовка цифровой модели

На данном этапе необходимо:

- Подготовить дифференциальные уравнения для объекта управления и уравнение для исполнительного устройства;
- Представить дифференциальные уравнения в разностной форме по методу Эйлера, приняв во внимание, что расходы воды и выпара являются переменными величинами. Рекомендуется при этом выбирать значение расчетного шага по времени Δt не более 0,1 с;
- Числовые значения параметров принять в соответствии с системой единиц СИ.

Реализация цифровой модели в специализированном программном обеспечении

На данном этапе необходимо:

- создать базу данных с описанием переменных и параметров модели;
- задать такт работы системы реального времени в соответствии с расчетным шагом, выбранным при составлении разностных схем решения дифференциальных уравнений. Обратите внимание, что в программной среде «МикСис» такт задается в миллисекундах;
- создать группы параметров, участвующих в процессе регулирования для удобного просмотра архивных данных;
- настоятельно рекомендуется предусмотреть возможность включения/отключения модели с помощью дополнительной переменной. При выключении модели все переменные принимают начальные значения, т. е. модель переходит в исходное начальное состояние.

Разработка графического информационно-управляющего интерфейса

При создании графического интерфейса следует отразить технологическую схему контура управления, включающую стилизованное изображение деаэратора, регулятора, исполнительного устройства.

Предусмотреть:

- отображение реального астрономического времени;
- динамическое отображение уровня воды в деаэраторе;
- отображение уровня воды в деаэраторе в виде графика;
- включение/отключение ручного режима (работа в режиме автоматического регулирования и режим, когда регулятор выключен) работы исполнительного устройства — регулирующего клапана;
- изменение геометрических параметров объекта управления для проведения исследований.

При разработке графического интерфейса также следует учитывать эргономические особенности: выбранная цветовая гамма, размеры и размещение элементов интерфейса не должны вызывать утомляющего эффекта у оператора, а расположение элементов управления должно быть интуитивно-понятным.

Реализация системы автоматического регулирования уровня воды в деаэраторе

На данном этапе необходимо:

- выбрать на рисунке «Резервуар с регулируемым уровнем» исполнительный механизм (задвижку, он же клапан) который будет принимать участие в реализации закона регулирования;
- при помощи системы технологического программирования RSProg (АлгоБу) выбрать и реализовать закон регулирования регулирования;
- на основе проведения модельных экспериментов по получению переходных процессов при изменении значения уставки уровня в деаэраторе произвести настройку регулятора в соответствии с прилагаемой методикой (см. приложение ниже). При этом перерегулирование (выброс за установившийся уровень) в переходном процессе должен быть минимален или вовсе отсутствовать.

При реализации контура регулирования необходимо учесть также ограничения, накладываемые на работу регулирующего клапана: расход воды, создаваемый регулирующим клапаном не может быть меньше нуля и не может превышать максимальный расход воды.

Верификация реализованной модели объекта управления

На данном этапе необходимо провести:

- анализ времени заполнения деаэратора до рабочего уровня с использованием регулятора, обоснование полученных результатов;
- реализовать при помощи разработанного цифрового тренажера аварийный ре-

жим деаэратора с «частичной дегазацией»;

- исследование влияния геометрических параметров объекта управления на процесс регулирования и производительность объекта управления.

Все представленные этапы работ взаимосвязаны между собой, перед началом и завершением каждого этапа проводился «круглый стол» на котором проводились обсуждения решаемой задачи, выявление «узких мест», для того чтобы все команды олимпиады справились с поставленной задачей, так как девиз Олимпиады «Проигравших у нас нет!».

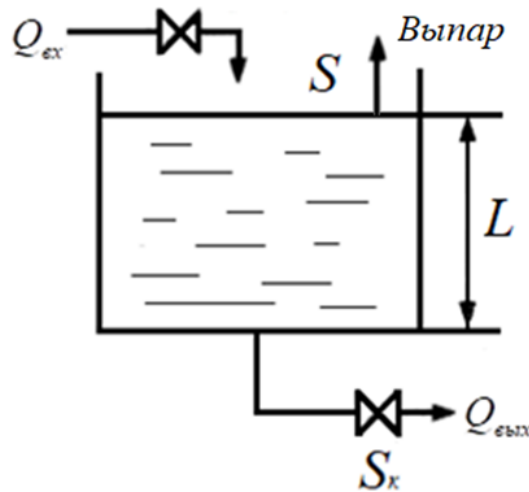
Система оценивания

Наименование критерия	Кол-во баллов
Критерий 1. Адекватность разработанной математической модели	20
Кр. 1.1 Дифференциальные уравнения для объекта и исполнительного устройства составлены верно.	5
Кр. 1.2 Разностная форма дифференциального уравнения объекта представлена корректно	5
Кр. 1.3 Разностная форма дифференциального уравнения исполнительного устройства представлена корректно	5
Кр. 1.4 Параметры разработанной модели выбраны корректно.	5
Критерий 2. Корректность реализации модели в программном обеспечении	20
Кр. 2.1 Приведено исчерпывающее описание переменных и параметров модели в базе данных	5
Кр. 2.2 Такт работы системы задан корректно	5
Кр. 2.3 Созданы группы для просмотра архивных данных	5
Кр. 2.4 Разностные уравнения реализованы корректно	5
Критерий 3. Информативность и эргономичность графического интерфейса	20
Кр. 3.1 Представлено графическое изображение деаэратора, аварийных табло и выдача расчетной информации в режиме реального времени.	3
Кр. 3.2 Имеется отображение реального астрономического времени	3
Кр. 3.3 Предусмотрено отображение уровня в деаэраторе	4
Кр. 3.4 Представлены все необходимые элементы управления для реализации заданной логики управления запорной арматурой объекта управления.	4
Кр. 3.5 Реализована сигнализация защит по превышению уровня в деаэраторе	3
Кр. 3.6 Эргономичность интерфейса (выбранная цветовая гамма, размеры и размещение элементов интерфейса не вызывает утомляющего эффекта у оператора; расположение элементов управления является интуитивно-понятным)	3
Критерий 4. Соответствие разработки предъявляемым требованиям и исходным данным	20
Кр. 4.1 Положение уровня в деаэраторе соответствует реальному уровню	4
Кр. 4.2 Аварийная защита по превышению и понижению уровня воды в деаэраторе реализована корректно	4
Кр. 4.3 Закон управления удовлетворяет минимальным требованиям, предъявляемым к качеству переходного процесса.	4
Кр. 4.4 Предусмотрены ограничители (концевые выключатели) перемещения запорной арматуры	4
Кр. 4.5 Логика управления запорной арматурой соответствует поставленной задаче.	4

Наименование критерия	Кол-во баллов
Критерий 5. Качество представленных результатов	20
Кр. 5.1 Продемонстрирован сценарий работы контура управления в автоматическом режиме в соответствии с заданными условиями.	5
Кр. 5.2 Подготовлен и представлен отчет, включающий математическую модель объекта и исполнительного устройства, описание переменных и параметров модели в базе данных, код программы, скрины графического интерфейса.	5
Кр. 5.3 Представленный проект работоспособен	5
Кр. 5.4 Достаточность представленного материала для понимания логики работы модели.	5
Итого:	100

Решение

Подготовка цифровой модели



Воспользуемся уравнением сохранения массы:

$$\frac{dm}{dt} = \rho_{\text{вх}} \Delta Q_{\text{вх}} - \rho_{\text{вых}} \Delta Q_{\text{вых}}, \quad (\text{VI.2.1})$$

где m — масса воды в деаэраторе,

$\Delta Q_{\text{вх}}, \Delta Q_{\text{вых}}$ — расход воды на входе и выходе деаэратора,

$\rho_{\text{вх}}, \rho_{\text{вых}}$ — плотности воды на входе и выходе деаэратора соответственно.

$$\Delta Q_{\text{вых}} = \Delta Q_{\text{выпара}} + \Delta Q_{\text{вых чистой воды}},$$

В режиме заполнения деаэратора, расход воды на выходе отсутствует. Пренебрегая также расходом выпара, получаем следующее дифференциальное уравнение для заполнения деаэратора:

$$\frac{dm}{dt} = \rho_{\text{вх}} \Delta Q_{\text{вх}} - \rho_{\text{вых}} (\Delta Q_{\text{выпара}} + \Delta Q_{\text{вых чистой воды}}).$$

Массу воды m можно представить как:

$$m = \rho_{\text{вд}} V = \rho_{\text{вд}} S h,$$

где $\rho_{\text{вд}}$ — плотность воды в деаэраторе (при температуре 138 °С плотность воды примем равной 926,1 кг/м³),

V — объем воды в деаэраторе,

S — площадь дна основания резервуара,

h — уровень воды в деаэраторе.

Тогда уравнение VI.2.1 принимает вид:

$$\rho_{\text{вд}} S \frac{dh}{dt} = \rho_{\text{вх}} \Delta Q_{\text{вх}} - \rho_{\text{вых}} (\Delta Q_{\text{выпара}} + \Delta Q_{\text{вых чистой воды}})$$

или

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\rho_{\text{вх}}}{\rho_{\text{вд}}} \frac{\Delta Q_{\text{вх}}}{S} - \frac{\rho_{\text{вых}}}{\rho_{\text{вд}}} (\Delta Q_{\text{выпара}} + \Delta Q_{\text{вых чистой воды}}) \quad (\text{VI.2.2})$$

Обратите внимание, что индексы «вд» = «вых»:

$$\Delta Q_{\text{вх}} = Q_{\text{вх макс}} \cdot \%_{\text{открытия входной задвижки}},$$

$$\Delta Q_{\text{выпара}} = Q_{\text{выпара макс}} \cdot \%_{\text{от номинального рабочего уровня}},$$

$$\Delta Q_{\text{вых чистой воды}} = \Delta Q_{\text{вых чистой воды } i} - \Delta Q_{\text{вых чистой воды } i-1}.$$

Площадь S можно определить, разделив рабочий объем резервуара на значение рабочего уровня:

$$S = \frac{19 \text{ м}^3}{1,7 \text{ м}} \approx 11,18 \text{ м}^2.$$

Расход $Q_{\text{вх}}$ соответствует максимальной производительности деаэратора в аварийном режиме и равен 105 м³/ч — значение выбрано с запасом и это значение изменяется при помощи регулирующей задвижки от 0 до 105 м³/ч.

Разностная схема уравнения VI.2.2 по методу Эйлера:

$$h_i = h_{i-1} + T \cdot \left(\frac{\rho_{\text{вх}}}{\rho_{\text{вд}} \cdot S} \right) \Delta Q_{\text{вх}} - T \cdot \frac{\rho_{\text{вых}}}{\rho_{\text{вд}}} \rho_{\text{вд}} S (\Delta Q_{\text{выпара}} + \Delta Q_{\text{вых чистой воды}}), \quad (\text{VI.2.3})$$

где i — номер итерации,

T — расчетный шаг по времени.

Остается определить выражение для $\Delta Q_{\text{вых чистой воды}}$.

Считаем, что вода самотеком выходит из деаэратора через трубопровод снизу. Тогда расход воды можем записать выражением:

$$\Delta Q_{\text{вых чистой воды}} = \alpha \rho_{\text{вд}} S_{\text{к}} \sqrt{2gh_i} = \alpha \rho_{\text{вд}} \pi \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 \sqrt{2gh_i},$$

где α — степень открытия выходной задвижки, в долях процентов, которая задается из базы данных реального времени руками,

$S_{\text{к}}$ — площадь трубопровода, через которую вытекает жидкость,

d — диаметр отводящего трубопровода,

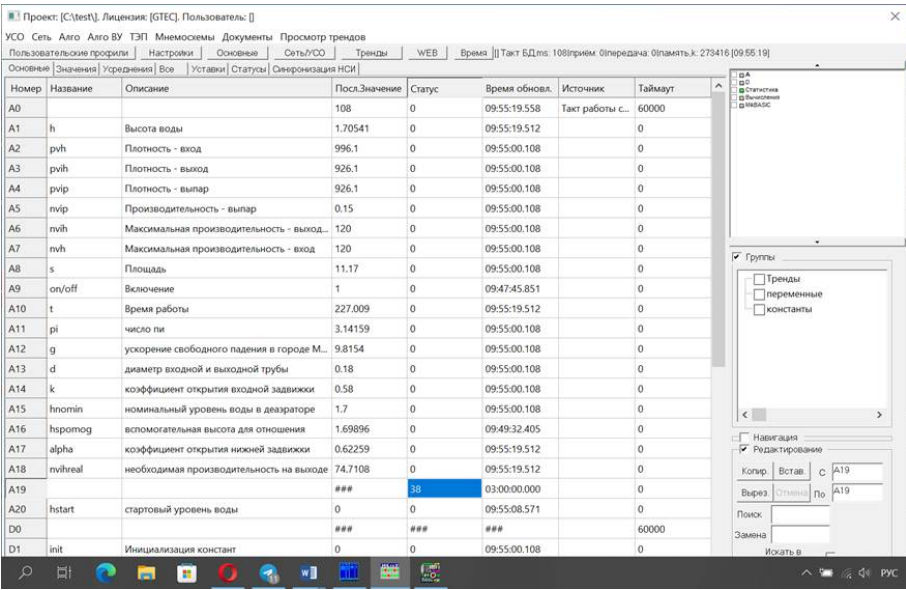
$\rho_{\text{вд}}$ — плотность вытекающей жидкости,

h_i — номинальный текущий уровень воды в деаэраторе рассчитываемы при помощи уравнения VI.2.3.

Расход воды $\Delta Q_{\text{вых чистой воды}}$ выражен при этом в килограммах в единицу времени.

Реализация цифровой модели

На рисунке VI.2.3 представлена заполненная база данных реального времени в соответствии с решением, представленным на первом этапе.



Номер	Название	Описание	Послед.Значение	Статус	Время обновл.	Источник	Таймаут
A0			108	0	09:55:19.558	Такт работы с...	60000
A1	h	Высота воды	1.70541	0	09:55:19.512		0
A2	rvh	Плотность - вход	996.1	0	09:55:00.108		0
A3	rvlh	Плотность - выход	926.1	0	09:55:00.108		0
A4	rvip	Плотность - выпар	926.1	0	09:55:00.108		0
A5	rvipr	Производительность - выпар	0.15	0	09:55:00.108		0
A6	rvlh	Максимальная производительность - выход...	120	0	09:55:00.108		0
A7	rvlh	Максимальная производительность - вход	120	0	09:55:00.108		0
A8	s	Площадь	11.17	0	09:55:00.108		0
A9	on/off	Включение	1	0	09:47:45.851		0
A10	t	Время работы	227.009	0	09:55:19.512		0
A11	pi	число пи	3.14159	0	09:55:00.108		0
A12	g	ускорение свободного падения в городе M...	9.8154	0	09:55:00.108		0
A13	d	диаметр входной и выходной трубы	0.18	0	09:55:00.108		0
A14	k	коэффициент открытия входной задвижки	0.58	0	09:55:00.108		0
A15	hnomln	номинальный уровень воды в деаэраторе	1.7	0	09:55:00.108		0
A16	hspotmog	вспомогательная высота для отношения	1.69896	0	09:49:32.405		0
A17	alpha	коэффициент открытия нижней задвижки	0.62259	0	09:55:19.512		0
A18	rvlreal	необходимая производительность на выходе	74.7108	0	09:55:19.512		0
A19			###	38	03:00:00.000		0
A20	hstart	стартовый уровень воды	0	0	09:55:08.571		0
D0			###	###	###		60000
D1	init	Инициализация констант	0	0	09:55:00.108		0

Рис. VI.2.3

Ниже представлен код программы, реализованный в интерпретаторе MikBasic, дающий описание объекта управления, в соответствии с уравнениями, которые были получены на первом этапе выполнения задания:

```
1 IF D[1].VALUE = 1 THEN
2 {
3 A[1].VALUE = A[20].VALUE
4 A[2].VALUE = 996.1
5 A[3].VALUE = 926.1
6 A[4].VALUE = 926.1
7 A[5].VALUE = 0.15
8 A[6].VALUE = 120
9 A[7].VALUE = 120
10 A[8].VALUE = 11.17
11 A[10].VALUE = 0
12 A[11].VALUE = 3.14159
13 A[12].VALUE = 9.8154
14 A[13].VALUE = 0.18
15 A[14].VALUE = 0.58
16 A[15].VALUE = 1.7
17 D[2].VALUE = 0
18 D[5].VALUE = 0
19 D[6].VALUE = 0
20 D[8].VALUE = 0
21 D[1].VALUE = 0
22 }
23 IF A[1].VALUE >= 1.71 THEN
24 {
25 D[6].VALUE = 1
26 A[14].VALUE = 0
27 }
28 ELSE
```

```

29  {
30  D[6].VALUE = 0
31  IF A[14].VALUE = 0 THEN A[14].VALUE = 0.58
32  }
33  IF A[1].VALUE < 1.699 THEN
34  {
35  IF D[8].VALUE = 0 THEN A[16].VALUE = A[1].VALUE
36  IF D[8].VALUE = 0 THEN A[18].VALUE = 0
37  IF D[8].VALUE = 0 THEN A[1].VALUE = A[1].VALUEOLD + A[0].VALUE / 1000 *
    ↪ (A[2].VALUE * A[7].VALUE * A[14].VALUE - A[4].VALUE * A[5].VALUE *
    ↪ (A[16].VALUE / A[15].VALUE)) / (A[8].VALUE * A[3].VALUE * 3600)
38  IF D[8].VALUE = 1 THEN A[18].VALUE = (A[2].VALUE * A[7].VALUE * A[14].VALUE -
    ↪ A[4].VALUE * A[5].VALUE) / A[3].VALUE
39  IF D[8].VALUE = 1 THEN A[17].VALUE = A[18].VALUE / A[6].VALUE - D[2].VALUE * 0.1
40  IF D[8].VALUE = 1 THEN A[1].VALUE = A[1].VALUEOLD + A[0].VALUE / 1000 *
    ↪ (A[2].VALUE * A[7].VALUE * A[17].VALUE - A[3].VALUE * A[18].VALUE -
    ↪ A[4].VALUE * A[5].VALUE) / (A[8].VALUE * A[3].VALUE * 3600)
41  }
42  ELSE
43  {
44  D[8].VALUE = 1
45  IF A[1].VALUE <= 1.704 THEN D[2].VALUE = 0
46  IF A[1].VALUE > 1.709 THEN D[2].VALUE = 1
47  IF D[6].VALUE = 0 THEN A[18].VALUE = (A[2].VALUE * A[7].VALUE * A[14].VALUE -
    ↪ A[4].VALUE * A[5].VALUE) / A[3].VALUE
48  IF D[6].VALUE = 0 THEN A[17].VALUE = A[18].VALUE / A[6].VALUE - D[2].VALUE * 0.1
49  IF D[6].VALUE = 1 THEN A[17].VALUE = 1
50  IF D[6].VALUE = 1 THEN A[18].VALUE = 120
51  IF D[6].VALUE = 0 THEN A[1].VALUE = A[1].VALUEOLD + A[0].VALUE / 1000 *
    ↪ (A[2].VALUE * A[7].VALUE * A[17].VALUE - A[3].VALUE * A[18].VALUE -
    ↪ A[4].VALUE * A[5].VALUE) / (A[8].VALUE * A[3].VALUE * 3600)
52  IF D[6].VALUE = 1 THEN A[1].VALUE = A[1].VALUEOLD - A[0].VALUE / 1000 *
    ↪ (A[4].VALUE * A[5].VALUE + A[18].VALUE * A[3].VALUE) / (A[8].VALUE *
    ↪ A[3].VALUE * 3600)
53  }
54  A[10].VALUE = A[10].VALUEOLD + A[0].VALUE / 1000
55  IF A[9].VALUE = 0 THEN
56  {
57  A[10].VALUE = 0
58  A[1].VALUE = A[20].VALUE
59  A[17].VALUE = 0
60  }
61  D[3].VALUE = A[14].VALUE * 100
62  D[4].VALUE = A[17].VALUE * 100
63
64  IF A[18].VALUE > 105 THEN D[9].VALUE = 1
65  IF A[18].VALUE < 105 THEN D[9].VALUE = 0

```

На рисунке VI.2.4 представлен интерфейс настройки закона регулирования для выбранного исполнительного механизма и регулирующего органа. Данный вид работы относится к этапу 4, но при желании может быть выполнен и перед третьем этапом.

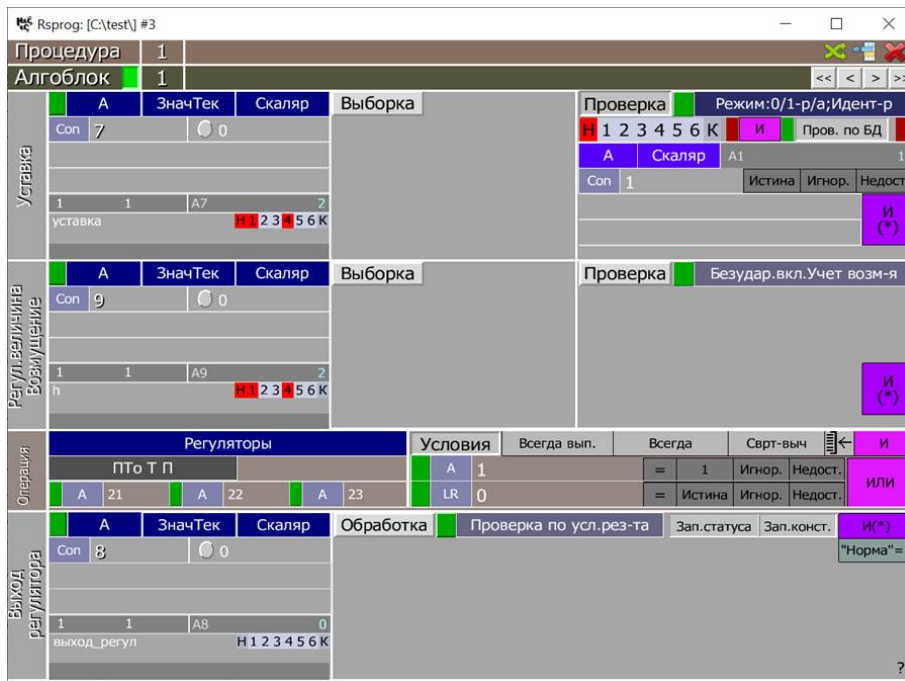


Рис. VI.2.4

Разработка графического информационно-управляющего интерфейса

На данном этапе участники при помощи графического редактора создают и редактируют изображения предназначенные для статической подложки мнемосхемы человеко-машинного интерфейса. Затем в системе отображения Display реализуется динамическая часть человеко-машинного интерфейса процесс отладки и реализации которого представлен на рисунке VI.2.5.

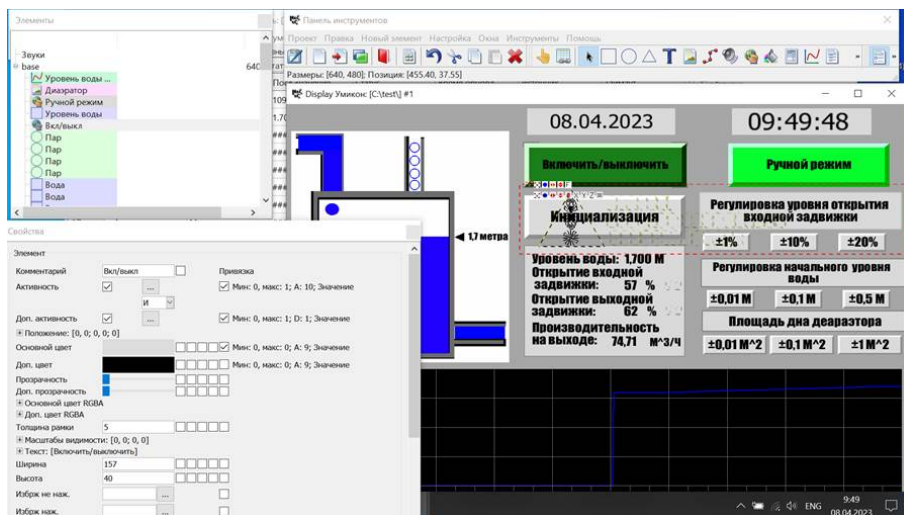


Рис. VI.2.5

Верификация цифровой модели

На данном этапе осуществляется анализ времени заполнения деаэрата до рабочего уровня с использованием регулятора, обоснование полученных результатов, проверяются срабатывания аварийных сигнализации при достижении аварийных режимов работы деаэрата, а также производится исследование влияния геометрических параметров объекта управления на процесс регулирования и производительность объекта управления. Для успешного выполнения пятого этапа необходимо получить работоспособную цифровую модель и человеко-машинный интерфейс для объекта управления. На рисунке VI.2.6 представлен полученный в результате выполнения конкурсного задания финального этапа цифровой тренажер команды победителя «Диско Элизинум».

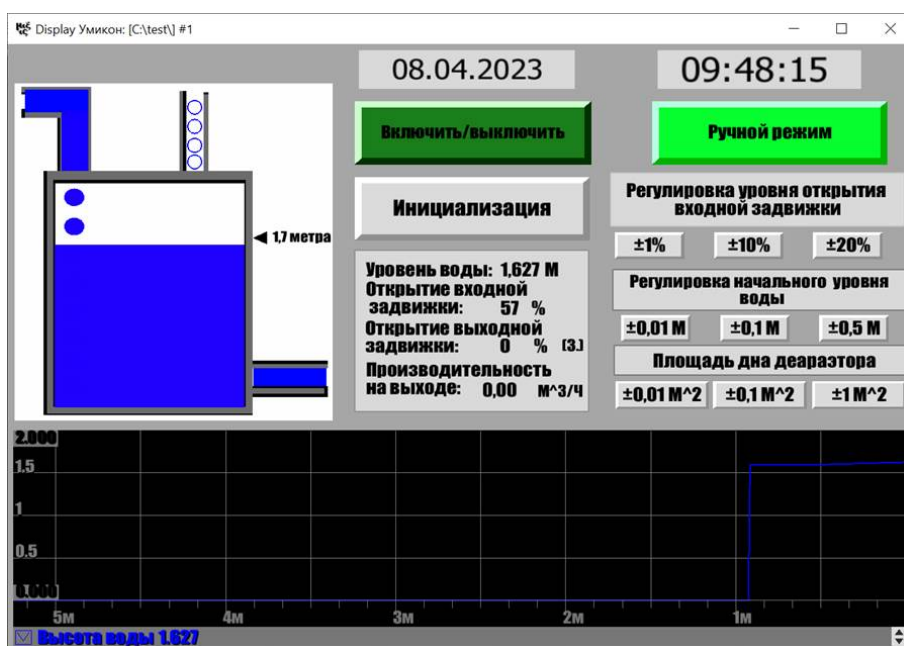


Рис. VI.2.6

Материалы для подготовки

При решении задач второго этапа, а также для подготовки к финальному этапу, можно пользоваться следующими учебными материалами:

- История создания ядерного проекта в СССР: http://elib.biblioatom.ru/text/kudryashov_beria-i-sovetskie-ucheny_2013/go,0;
- Харитонов В. В. Энергетика. Техничко-экономические основы: Учебное пособие. — М.: МИФИ, 2007: <https://cloud.mail.ru/public/4AV4/2ZbZtb32n>;
- Наумов В. И. Физические основы безопасности ядерных реакторов. Учебное пособие. 2-е изд., М.: НИЯУ МИФИ. 2013: <https://cloud.mail.ru/public/4AV4/2ZbZtb32n>;
- Семенов В. К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. Учебное пособие. ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет». 2009: <https://cloud.mail.ru/public/4AV4/2ZbZtb32n>.

Учебные курсы на онлайн платформах «Открытое образование» и Stepik:

-
- Проект реактора ВВЭР: https://openedu.ru/course/mephi/mephi_wwer;
 - Основы энергетических ядерных технологий https://openedu.ru/course/mephi/mephi_energynucleartech;
 - Ядерная физика-просто: <https://stepik.org/course/72608>;
 - Язык программирования C++. Часть 1. Процедурное программирование: https://openedu.ru/course/mephi/mephi_pro;
 - Практикум по программированию: <https://stepik.org/course/56240>;
 - Введение в программирование (C++): <https://stepik.org/course/363>;
 - Дифференциальные уравнения: <https://openedu.ru/course/ITMOUniversity/DIFEQ>.