

УДК 681.53

С.Н. ФИРСОВ¹, А.В. ЧУМАЧЕНКО², И.В. КОРСИЧЕНКО²¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*² *НПП «ХАРТРОН-АРКОС», Украина*

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ЙОДОВ, ЗОЛЕЙ И ИНЕРТНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ

Рассматриваются особенности построения процесса регулирования для автоматизированной системы мониторинга объемной активности йодов, золь и инертных радиоактивных газов. Осуществлен анализ представленных на рынке Украины автоматизированных систем радиационного контроля с точки зрения радиационного контроля газовых сред и поддержания необходимого расхода в этих системах. Проведен анализ структуры и определены коэффициенты пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) - регулятора для автоматизированной системы радиационного контроля исходя из критерия минимального времени переходного процесса. Приведены результирующие области устойчивости для различных наборов коэффициентов ПИД-регулятора.

Ключевые слова: автоматизированная система радиационного контроля, ПИД-регулятор, радиационная безопасность, регулирование, расход газовых сред.

Введение

В связи с событиями, произошедшими на АЭС Фукусима-1, в некоторых странах возникло направление закрытия атомных станций. В других же – активно занялись их строительством (Россия, США), в максимальной степени акцентировав внимание на обеспечение радиационной безопасности. В обоих случаях возникает необходимость в современных системах радиационного контроля (РК). Автоматизированные системы (АС) РК служат для предупреждения или сведения к минимуму вероятности возникновения аварий и ухудшения радиационной обстановки в помещениях контролируемых объектов и вокруг них.

В связи с актуальностью данной тематики, специалистами НПП «Хартрон-Аркос» была начата разработка современной системы контроля и мониторинга объемной активности выбросов йодов, золь и инертных радиоактивных газов.

Повышение радиационной безопасности АЭС в разрабатываемой системе обеспечивается за счет:

- применения современных технических средств измерения радиационных параметров, обработки и представления информации;
- соответствующего построения системы, позволяющего достигать высокой объективности, непрерывности, оперативности и полноты контроля;
- обеспечения непрерывной диагностики состояния технических средств и технологического оборудования во время эксплуатации системы.

На данный момент на рынке Украины представлены различные системы радиационного контроля: разработки Mirion Technologies, НПП «Доза», ООО «Вестрон». Наиболее трудоемкой, слабоизученной и в то же время наиболее опасной является часть, касающаяся радиационного контроля газовых сред. Проанализируем вышеуказанные системы с данной точки зрения, а также рассмотрим механизм контролируемого поддержания необходимого расхода газовых сред в этих системах.

1. Анализ существующих систем

1.1. Разработка Mirion Technologies

Функциональное назначение монитора PING206S – осуществлять непрерывные измерения активности аэрозолей, йода и благородных газов в выбросах в вентиляционные трубы АЭС [1].

Конструктивно монитор PING206S собран на стальном шасси и представляет единую механическую конструкцию.

Базовый монитор включает в себя следующие главные элементы:

- блок детектирования аэрозолей (ABPM201);
- блок детектирования йода (IM201);
- блок детектирования благородных газов (NGM204);
- модуль локального дисплея (LDU). Показывает измеряемые данные и состояние системы тревоги, осуществляет дополнительные функции дисплея и сигнализации и т.д.;

- модуль электрических соединений (EU) для распределения питания и управления насосом;

- шунтирующие клапаны для отключения любого детектора во время калибровки или обслуживания;

- насосный узел для подачи измеряемого потока к детектирующим модулям.

В мониторе, без отдельного пробоотборника золь и йода, насос размещен на выходе монитора и обеспечивает прохождение забираемого воздуха через детектирующие модули. На рис. 1 представлена пневмосхема рассматриваемой установки PING206S.

Забираемый воздух сначала проходит через модуль контроля аэрозолей, далее модуль измерения йода и наконец модуль регистрации благородных газов. Монитор может быть отсечен от газовой магистрали клапанами V1 и V12.

Каждый детектирующий модуль может быть изолирован от магистрали с помощью соответствующих переходных клапанов.

Скорость потока можно настроить, используя главный клапан настройки V11 для обеспечения скорости потока в 35 л/мин в каждом измерительном канале. Но так как он настроен на заводе-производителе, то не рекомендуется вносить изменения в его настройки.

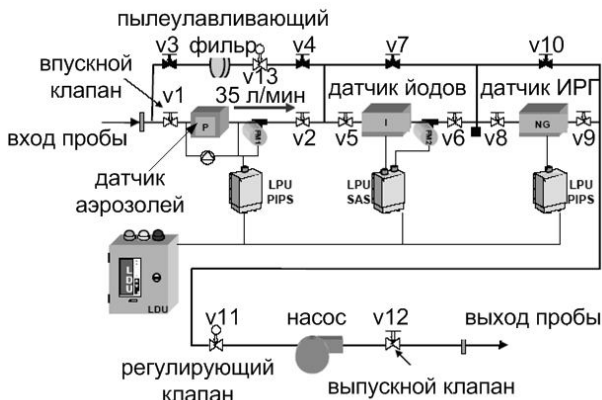


Рис. 1. Диаграмма прохождения потока

Таким образом, видим, что автоматической подстройки скорости потока при загрязнении пылеулавливающих фильтров, деградации насосов, отказах некоторых детекторов, засорении или отказе отсечных клапанов V1-V12 (рис. 1) не предусмотрено.

1.2. Разработка ООО «Вестрон»

Системы радиационного контроля на базе платформы Вулкан/Вулкан-М предназначены для внедрения на новых энергоблоках или для замены работающих на энергоблоках АЭС технических

средств с внедрением автоматизированного управления пробоотбором и специальных расчетов радиационного контроля [2]. Конструктивное исполнение аппаратуры – шкафы или столы в тумбовом исполнении в различных модификациях. В СРК на базе платформы "Вулкан" реализован графический человеко-машинный интерфейс, индивидуальная и групповая сигнализация по технологическим параметрам, поддержка оператора специальными расчетами. Автоматизированы пробоотбор, управление запорно-регулирующей арматурой и калибровкой устройств детектирования.

Все процессы в данной СРК контролируются на периферийной процессорной станции, в том числе – и пробоотбор. Из-за отсутствия индивидуально-насосного блока и наличия только двух рабочих газодувок, общих на всю систему, процесс регулирования газовых сред, несмотря на автоматизацию, продолжителен по времени при недостаточной надежности.

1.3. Разработка НПП «Доза»

СРК, разработанная НПП «Доза» носит название «Пеликан» и представляет собой комплекс объединенных в информационную сеть самостоятельных измерительных устройств для измерения различных величин. Ее назначение - автоматический непрерывный радиационный контроль помещений радиационно-опасных объектов и прилегающих к ним территорий, автоматический непрерывный радиационный контроль технологического оборудования с целью выявления нарушений целостности защитных барьеров, фильтров вентсистем, неисправности оборудования и др. [3].

Центральным элементом СРК «Пеликан» является система контроля газоаerosольных выбросов СКГAB-1.

Система СКГAB обеспечивает:

- вычисление как текущих, так и за заданный отчетный период значений выбросов бета-излучающих газов, альфа- и бета-излучающих аэрозолей с учетом вклада продуктов распада радона и торона, суммы йодов: I-131, I-132, I-133, I-135, йода раздельно по изотопам: I-131, I-132, I-133, I-135.
- контроль расхода, температуры и влажности газового потока.
- передачу данных в каналы связи;
- наблюдение за текущими измеренными значениями;
- архивирование измеренных значений;
- контроль работоспособности измерительных каналов.

Элементом, с помощью которого реализован пробоотбор, является стойка насосная СН-2.

Технические средства стойки СН-2 обеспечивают:

- прием анализируемого газа из системы пробоотбора;
- разделение примесей газа на целевые компоненты;
- подвод требуемых фракций газа на установки УДА-1АБ, УДГ-1Б, УДИ-1Б;
- контроль общего расхода газа через установки;
- автоматический и ручной выбор инициирующих прокачку насосов при уменьшении расхода ниже заданного уровня;
- возврат газа после анализа в систему вентиляции.

Скорость потока настроена на заводе-производителе, возможна только ручная регулировка.

2. Постановка задачи

На основе вышеизложенных реализаций систем-аналогов можно сделать вывод о том, что модульной структуры для каждого канала не просматривается ни в одной из рассмотренных систем. Для модульного построения системы есть только некоторые необходимые элементы. Непрерывное регулирование расхода представлено только в разработке ООО «Вестрон», но и оно обладает определенными недостатками, связанными с наличием только двух газодувок для всех пробоотборных линий.

Все это приводит к потере достоверности измерений датчиков радиационного контроля, так как измерение считается информативным только при заданном расходе.

На основе сравнительного анализа можно сделать вывод о необходимости разработки такой системы радиационного контроля, в которой будет реализован индивидуальный процесс регулирования расхода для каждого канала измерения.

Данная проблема индивидуального регулирования решается в разработанной в НПП «Хартрон-Аркос» автоматизированной системе мониторинга объемной активности йодов, золь и инертных радиоактивных газов (АСМ ОА). Пневмосхема разработки представлена на рис. 2.

В связи с этим было принято решение автоматизировать процесс пробоотбора путем внедрения расходомера и регулятора (см. рис. 2), которые позволят поддерживать постоянное значение расхода. Для исследования данного вопроса создана исследовательская установка, представленная на рис. 3.

Разрабатываемая АСМ ОА реализует следующие функции:

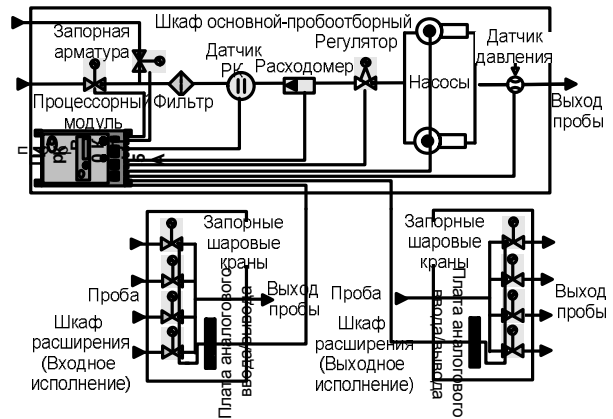


Рис. 2. Схема канала измерения АСМ ОА газовой среды



Рис. 3. Компоновка шкафа контроллера

- сбор и обработка информации, поступающей от датчиков и исполнительных механизмов;

- сравнение текущих значений контролируемых параметров с заданными пороговыми уровнями и выработку сигналов их превышения;

- выдача сигналов о превышении пороговых уровней на устройства световой и звуковой сигнализации;

- организация режимов проверки работоспособности устройства детектирования (УД), технологического оборудования пробоотбора и вычислительных средств;

- предоставление оператору средств управления и настройки режимами работы АСМ ОА при помощи человеко-машинного интерфейса;

- отображение контролируемых параметров;

- выполнение специальных вычислений;

- управление режимами работы АСМ ОА.

АСМ ОА обеспечивает радиационный контроль АЭС, и наряду с другими системами радиаци-

онного контроля является элементом глубоко эшелонированной защиты, основанной на применении последовательности барьеров на пути выхода радиоактивных веществ в окружающую среду.

АСМ ОА по каждому каналу измерения состоит из (см. рис.3):

- устройства детектирования;
- датчиков технологических параметров (расход, давление и т.д.);
- запорно–регулирующей арматуры и блоков питания;
- газодувок;
- локального процессорного модуля (сбор и первичная обработка информации с датчиков, выдача управляющих воздействий на УД, выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы);
- локального модуля для формирования световой/звуковой сигнализации, отображения измеренной информации и коррекции настроечных коэффициентов алгоритмов управления технологическим оборудованием и измерения значений с датчиков размещаемого в помещениях, предназначенных для установки технических средств контроля объемной активности выбросов йодов, золь и инертных радиоактивных газов;

– резервированных модулей связи и передачи информации в смежные системы;

– локальной сети связи “интеллектуальных” датчиков и удаленных устройств ввода/вывода с локальным процессорным модулем (и локальным модулем сигнализации);

– переносного ПК с реализацией функции отображения текущей и архивной информации, формирования диагностической информации, а также с возможностью настройки и коррекции алгоритмов управления, считывания и передачи информации.

Для реализации регулирования в АСМ ОА принято решение использовать пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) - регулятор. Предварительно были рассмотрены структуры ПИД-регуляторов, наиболее часто использующихся при регулировании для объектов атомной энергетики и осуществлен анализ применимости данных ПИД-регуляторов для решения задачи регулирования расходом газовой среды АСМ ОА. За основу разработки принят классический ПИД-регулятор, структура которого описана ниже.

3. Классический ПИД-регулятор

Простейшая система автоматического регулирования с обратной связью показана на рис. 4. В ней блок R называют регулятором (от слова Regulator), P – объектом регулирования (от слова Process),

г – управляющим воздействием или уставкой (reference), e – сигналом рассогласования или ошибки (error), u – выходной величиной регулятора, y – регулируемой величиной.

Если выходная переменная u регулятора описывается выражением

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (1)$$

где t – время;

K – пропорциональный коэффициент;

T_i – постоянная интегрирования;

T_d – постоянная дифференцирования;

то такой регулятор называют ПИД-регулятором [4].

В частном случае пропорциональная, интегральная или дифференциальная компоненты могут отсутствовать и такие упрощенные регуляторы называют П, И или ПД регуляторами.

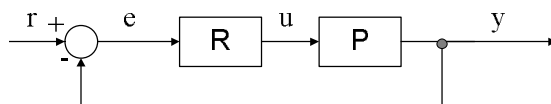


Рис. 4. ПИД-регулятор в системе с обратной связью

Используя преобразование Лапласа при нулевых начальных условиях $u(0)=0$, выражение (1) можно представить в операторной форме [4]:

$$u(s) = \left(K + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) e(s). \quad (2)$$

Передаточная функция ПИД-регулятора имеет вид [5]:

$$R(s) = K + \frac{1}{T_i s} + T_d s = K \left(1 + \frac{1}{KT_i s} + \frac{T_d}{K} s \right). \quad (3)$$

На систему автоматического регулирования могут воздействовать внешние возмущения $d=d(s)$ и шум измерений $n=n(s)$ (рис. 5).

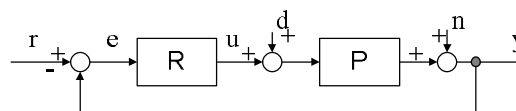


Рис. 5. ПИД-регулятор в системе с шумом n и внешними возмущениями d

Внешние возмущения обычно распределены пространственно по объекту, однако для упрощения анализа их моделируют сосредоточенным источником $d(s)$, приложенным к входу или источником $d(s)P(s)$, приложенным к выходу объекта. Источник шума $n(s)$ моделирует погрешность измерений выходной переменной y, погрешность датчика, а также помехи, воздействующие на канал передачи сигнала с выхода системы на ее вход.

С учетом возмущающих воздействий и шума уравнение системы автоматического управления примет вид:

$$y(s) = \frac{P(s)R(s)}{1 + P(s)R(s)}r(s) + \frac{1}{1 + P(s)R(s)}n(s) + \frac{P(s)}{1 + P(s)R(s)}d(s). \quad (4)$$

Для того чтобы достичь высокого качества регулирования, необходимо настроить регулятор, то есть подобрать пропорциональный (P_p), интегральный (P_i) и дифференциальный (P_d), коэффициенты ПИД-регулятора.

Все аналитические (формульные) методы настройки регуляторов основаны на аппроксимации динамики объекта моделью первого или второго порядка с задержкой. Причиной этого является невозможность аналитического решения систем уравнений, которое необходимо при использовании моделей более высокого порядка.

Расчет параметров по формулам не может дать оптимальной настройки регулятора, поскольку аналитически полученные результаты основываются на сильно упрощенных моделях объекта. Кроме того, модели используют параметры, идентифицированные с некоторой погрешностью. Поэтому в качестве метода поиска коэффициентов был выбран «поиск по сетке» (для каждой точки внутри области устойчивости определяется время переходного процесса с последующим определением глобального минимума) с построением области устойчивости, исходя из критерия минимального времени переходного процесса, т.к. в системе при постоянном переключении запорной арматуры необходимо за кратчайший промежуток времени установить требуемый для датчиков радиационного контроля расход.

При поиске коэффициентов учитывались правила, используемые для ручной настройки. Они получены из теоретического анализа и численных экспериментов. Они сводятся к следующему [6]:

- увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;
- с уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;
- увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие.

На контроллере АСМ ОА на языке C++ запрограммирован классический ПИД-регулятор с использованием интегрированной среды разработки Sun Studio и СУБД фирмы Oracle, функционирующих под управлением ОС Red Hat Linux.

В процессе проведения испытаний был прове-

ден поиск по сетке с шагом $h_1 = 0,25$ по пропорциональной составляющей, шагом $h_2 = 0,5$ по дифференциальной составляющей и шагом $h_3 = 0,01$ по интегральной составляющей. Процесс считался установившимся, если значение расхода составляло 35 л/мин с доверительным интервалом в 5%.

В итоге были получены результаты, приведенные в табл. 1 – 3. Так как было введено ограничение – процесс не должен занимать более 200 с, то значение 201 в таблице результатов означает время неустойчивого режима.

Таблица 1

Значение времени переходного процесса при дифференциальной составляющей $P_d = -2$

$P_i \backslash P_p$	-0,02	-0,01	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
-0,25	201	201	201	201	201	201	201	201
0,25	201	201	201	194	201	113	201	201
0,5	201	201	201	201	201	201	201	201
0,75	201	170	60	193	171	201	201	201
1	201	201	173	147	182	201	201	201
1,25	201	90	90	193	201	201	201	201
1,50	201	201	105	201	201	201	201	201
1,75	201	201	201	201	201	201	201	201
2	201	201	201	201	201	201	201	201
2,25	201	201	201	201	196	201	201	201
2,5	201	201	201	201	201	201	201	201

Таблица 2

Значение времени переходного процесса при дифференциальной составляющей $P_d = -1,5$

$P_i \backslash P_p$	-0,02	-0,01	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
-0,25	201	201	201	201	201	201	201	201
0,25	201	201	201	201	190	201	201	201
0,5	201	201	201	201	201	201	201	201
0,75	201	201	201	201	201	201	201	201
1	201	132	118	201	200	191	201	201
1,25	201	189	128	56	131	201	201	201
1,50	201	201	139	201	162	201	201	201
1,75	201	201	103	201	201	201	201	201
2	201	201	201	201	201	201	201	201
2,25	201	201	201	201	201	201	201	201
2,5	201	201	201	201	201	201	201	201

При дальнейшем увеличении дифференциальной составляющей время переходного процесса увеличивалось. Также было замечено, что наименьшее время наблюдается при интегральной составляющей $P_i = 0$. Результаты для нулевой интегральной составляющей представлены на рис. 6, 7.

Таким образом, определены настройки ПИД-регулятора ($P_p = 0,65$; $P_i = 0$; $P_d = -1,8$) с минимальным временем переходного процесса – 38 с.

Таблица 3

Значение времени переходного процесса при дифференциальной составляющей $P_d = -0,5$

P_i P_p	-0,02	-0,01	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
-0,25	201	201	201	201	201	201	201	201
0,25	201	201	201	201	201	201	201	201
0,5	201	201	201	201	189	201	201	201
0,75	201	201	201	185	201	201	201	201
1	201	74	106	116	201	201	201	74
1,25	201	144	186	164	201	201	201	144
1,50	201	201	201	201	201	201	201	201
1,75	201	201	201	201	201	201	201	201
2	201	201	201	201	201	201	201	201
2,25	201	201	201	201	186	201	201	201
2,5	201	201	201	201	201	201	201	201

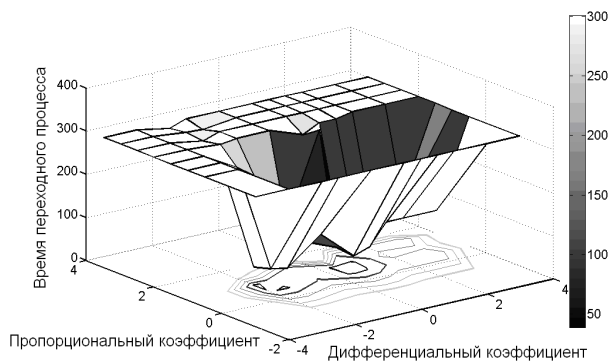


Рис. 6. Трехмерная область устойчивости

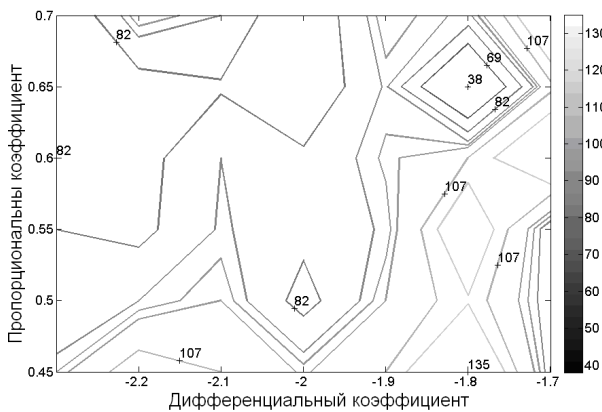


Рис. 7. Проекция области устойчивости на плоскость

Графики зависимости расхода и положения регулятора от времени для данных настроек приведены на рис. 8, 9.

Выводы

В результате проведенного анализа существующих на рынке автоматизированных систем радиационного контроля с точки зрения управления

расходом газовых сред установлено, что в разработках Mirion Technologies и НПП «Доза» управление расходом не реализовано, а в разработке ООО «Вестрон» - реализовано, но обладает рядом недостатков.

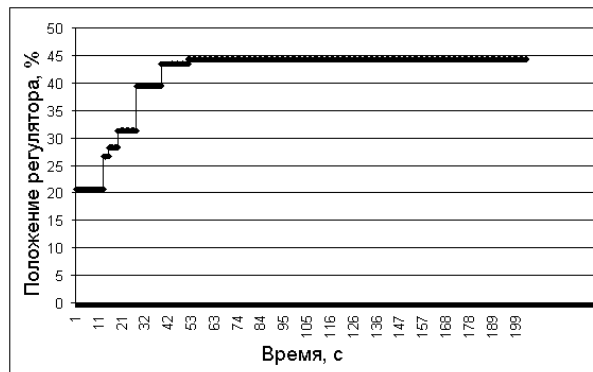


Рис. 8. График зависимости положения регулятора от времени

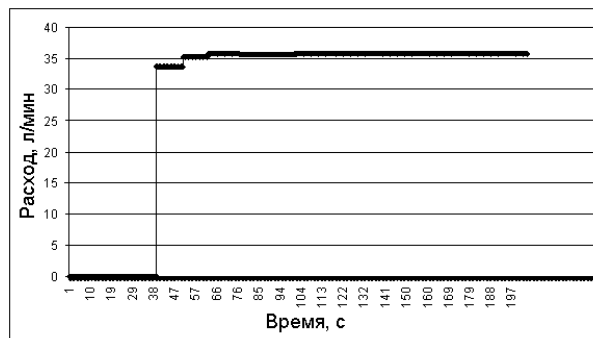


Рис. 9. График зависимости расхода от времени

Разработанная НПП «Хартрон-Аркос» система контроля и мониторинга объемной активности выбросов йодов, золь и инертных радиоактивных газов является наиболее перспективной в сравнении с существующими на данный момент аналогичными системами производства фирм НПП «Доза», ООО Вестрон» и MGP Instruments.

Спроектированная система может осуществлять пробоотбор с большого количества помещений (до 16), является модульной, что позволяет быстро производить ее пуско-наладку и ремонт.

Для системы синтезирован регулятор расхода газовых сред, обеспечивающий минимальное время переходного процесса [7]. Исследуемая установка показала хорошие характеристики и можно говорить о внедрении опытных образцов на объектах атомной энергетики.

Литература

1. Mirion Technologies Radiation Detection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mirion.com>. – 20.12.2011 г.

2. ВЕСТРОН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.westron.kharkov.ua>. – 20.12.2011 г.

3. Оборудование радиационного контроля ООО НПП "Доза" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.doza.ru>. – 20.12.2011 г.

4. Денисенко, В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Часть 1 [Текст] / В.В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 4. – С. 66 – 74.

5. Денисенко, В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Часть 2 [Текст] / В.В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. – 2007. – № 1. – С. 78 – 88.

6. Lee, W.S. IMC–PID controllers and generalized PID controllers for first–order plus dead–time processes [Text] / W.S. Lee, J. Shi // Modified 7th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. – Dec. 2002. – P. 898 – 903.

7. Фирсов, С.Н. Синтез ПИД-регулятора расхода газовых сред системы радиационного контроля [Текст] / С.Н. Фирсов, А.В. Чумаченко, И.В. Корсиченко // «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» ІКТМ'2011: тези доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції 22–25 листопада 2011 р. – Х., 2011. – Т. 2. – С. 14.

Поступила в редакцию 23.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой авиационных приборов и измерений Н.Д. Кошевой, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ПРОЦЕСУ РЕГУЛЮВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄМНОЇ АКТИВНОСТІ ЙОДІВ, ЗОЛІВ ТА ІНЕРТНИХ РАДІОАКТИВНИХ ГАЗІВ

С.М. Фірсов, О.В. Чумаченко, І.В. Корсиченко

Розглядаються особливості побудови процесу регулювання для автоматизованої системи моніторингу об'ємної активності йодів, золів та інертних радіоактивних газів. Здійснено аналіз представлених на ринку України автоматизованих систем радіаційного контролю з точки зору радіаційного контролю газових середовищ і підтриманні необхідного розходу в цих системах. Проведено аналіз структури та визначено коефіцієнти ПІД-регулятору для автоматизованої системи радіаційного контролю виходячи з критерію мінімального часу перехідного процесу. Приведено результуючі області стійкості для різних наборів коефіцієнтів ПІД-регулятору

Ключові слова: автоматизована система радіаційного контролю, ПІД-регулятор, радіаційна безпека, регулювання, розхід газових середовищ.

FEATURES OF CONTROL PROCESS DESIGN FOR THE AUTOMATED SYSTEM OF MONITORING OF VOLUMETRIC ACTIVITY OF IODINE, PARTICULATE AND NOBLE GASES

S.N. Firsov, A.V. Chumachenko, I.V. Korsichenko

Features of control process design for the automated system of monitoring of volumetric activity of iodine, particulate and noble gases are considered. The analysis of radiation monitoring systems presented on the market of Ukraine from the point of view of radiating control of gas environments and maintenance of the necessary gas flow rate in these systems is carried out. The analysis of structure is carried out and coefficients of the PID-control for the automated radiation monitoring systems due to criterion of minimal time of transient are defined. Resultants of stability region for various sets of coefficient of the PID-control are resulted.

Keywords: gas flow rate, PID-control, radiation monitoring system, radiation safety, regulation.

Фирсов Сергей Николаевич – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. систем управления летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Чумаченко Алексей Валентинович – канд. техн. наук, доцент, начальник отд. 13060, НПП «ХАРТРОН-АРКОС», Харьков, Украина.

Корсиченко Инна Владимировна – инженер отд. 13060, НПП «ХАРТРОН-АРКОС», Харьков, Украина, e-mail: korsch@rambler.ru.