

УДК 004.94

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ «NESTOR»

Высочина О.С.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A SIMULATION MODEL OF A DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM MANAGEMENT OF THE COMPLEX «NESTOR»

Vysochyna O.

В статье представлена имитационная модель распределенной информационной системы управления комплексом «NESTOR», которая включает систему охлаждения электромагнитных элементов (с использованием водопроводной воды), систему питания электромагнитных элементов и систему индикации. Модель выполнена в рамках концепции метода системной динамики при помощи системы имитационного моделирования Vensim. Рис. 8. Ист. 6.

Ключевые слова: имитационное моделирование, метод системной динамики, потоковая концепция, Vensim.

Постановка проблемы. С 2002 года в Национальном научном центре «Харьковский физико-технический институт» ведутся работы по созданию источника синхротронного излучения нового поколения «NESTOR» (New-generation Electron STORage Ring), основанного на явлении комптоновского рассеяния фотонов на пучке релятивистских электронов. Проект реализуется в рамках международной коллаборации, используя программу НАТО «Sciense for Piece and Security» (grant SfP-977982) [1]. Использование источника нового поколения «NESTOR» позволит в 5-10 раз сократить затраты на генерацию узко направленного пучка рентгеновского излучения высокой монохроматичности, обеспечивая при этом легкую перестройку его длины волны в широких пределах. Рентгеновское излучение с данными характеристиками используется для калибровки измерительных приборов и проведения абсолютных измерений в атомной физике, фотоэлектронной и ионной спектроскопии, применяется в исследованиях в области физики твердого тела и в материаловедении; незаменимо при применении методов рентгеновской эллипсометрии; в биологии и медицине: для изучения динамики протеинов, в спектроскопии биополимеров, методах фототерапии и микрохирургии [2].

Комплекс «NESTOR» представляет собой сложную физическую установку и включает пять основных элементов: линейный ускоритель электронов на 60 МэВ, накопительное кольцо с длиной орбиты 15.4 метра, систему инъекции и транспортировки пучка к кольцу, лазерную

систему, ВЧ-систему с резонатором, а также ряд вспомогательных систем. Комплекс «NESTOR» является большой и сложной физической системой с большим количеством управляемых и управляющих параметров, получаемой информации и обратных связей. Проектирование системы управления и автоматизации научного эксперимента для такого комплекса представляет собой задачу высокого уровня сложности, в особенности из-за неопределенности в требованиях. Последнее связано с тем, что система управления разрабатывается параллельно с разработкой аппаратных средств комплекса. Учитывая сложность установки, ее большую пространственную протяженность, для снятия неопределенности в требованиях к системе управления предложено воспользоваться средствами имитационного моделирования. Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработка имитационной модели распределенной информационной системы управления комплексом «NESTOR» является чрезвычайно **актуальной задачей.**

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время существует три базовых подхода к созданию имитационных моделей: агентный подход, дискретно-событийный подход и непрерывный подход в форме системной динамики по Форрестеру.

Агентный подход используется для исследования децентрализованных систем. В качестве агентов выступают автономные объекты, которые взаимодействуют для выполнения собственных задач. Агенты являются адаптивными, они реагируют на окружение и изменяют поведение, таким образом происходит процесс обучения. Взаимодействие агентов порождает возникновение системных явлений более высокого порядка. Таким образом, агентные имитационные модели дают представление о глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе [3].

Дискретно-событийный подход предполагает абстрагирование от природы

событий и рассматривает только основные события моделируемой системы. Динамика системы представляется как последовательность операций (прибытие, задержка, захват ресурса, разделение) над некими объектами (транзакты, заявки). Данные объекты являются пассивными, они не контролируют свою динамику, однако обладают определёнными атрибутами, влияющими на процесс их обработки и накопления статистической информации. Данный подход используется в тех случаях, когда важна оценка динамики отдельных объектов, а не системы в целом [4].

В рамках системно-динамического подхода моделируемый объект отображается в виде динамической системы, состоящей из накопителей, связанных между собой управляемыми потоками. Количественно каждый накопитель описывается уровнем его содержимого, а каждый поток – темпом (скоростью) перемещения. Темпы перемещения вычисляются на основе информации об уровнях содержимого накопителей. Таким образом, моделируемый объект представляется в виде информационной системы с обратной связью [5]. Системно-динамический подход представляет собой мощный инструмент для исследования динамических процессов, направленный на изучение сложных систем и позволяющий выявить причинно-следственные связи между объектами, именно поэтому данный подход

выбран для разработки имитационной модели распределенной информационной системы управления комплексом «NESTOR». Для реализации модели выбрана система имитационного моделирования Vensim [6].

Целью статьи является разработка и реализация имитационной модели распределенной информационной системы управления комплексом «NESTOR» для установления требований и оптимизации структуры.

Материалы и результаты исследования. Имитационная модель распределенной информационной системы управления комплексом «NESTOR» включает систему охлаждения электромагнитных элементов (с использованием водопроводной воды, с использованием дистиллированной воды), систему питания электромагнитных элементов и систему индикации. В математическом смысле модель представляет собой систему конечно-разностных уравнений, решаемую на основе численного алгоритма интегрирования (по схеме Эйлера) с постоянным шагом и заданными начальными значениями

Система охлаждения источника рентгеновского излучения «NESTOR» представляет собой двухконтурную систему (см. Рис. 1), основными частями которой являются теплообменник 17 и градирня 7.

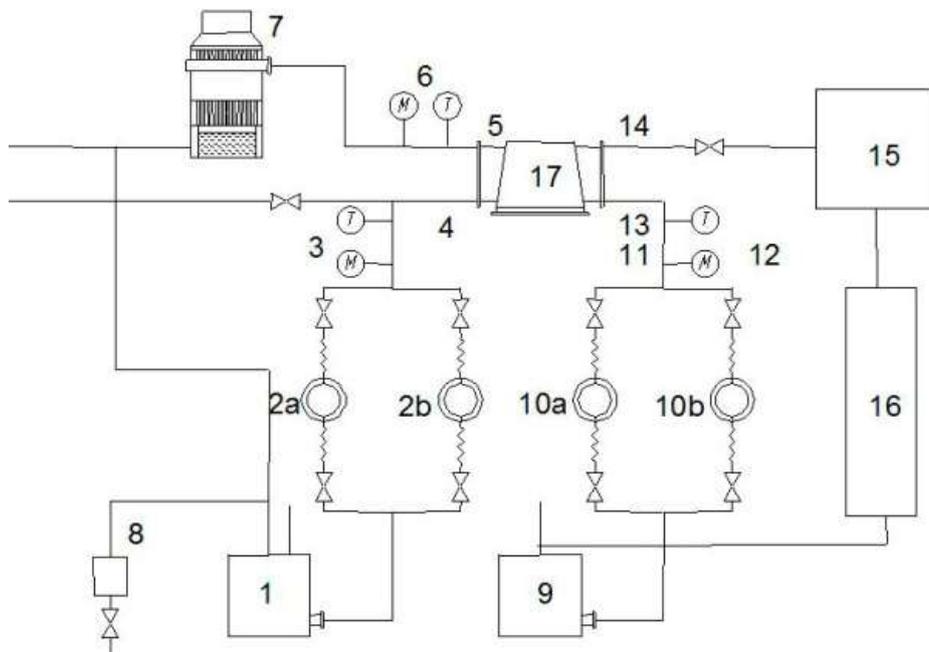


Рис. 1. Схема двухконтурной системы охлаждения комплекса «NESTOR»

В первичном контуре обеспечивается циркуляция водопроводной воды, отбор температуры от воды вторичного контура в теплообменнике и ее охлаждение в градирне 7. Во

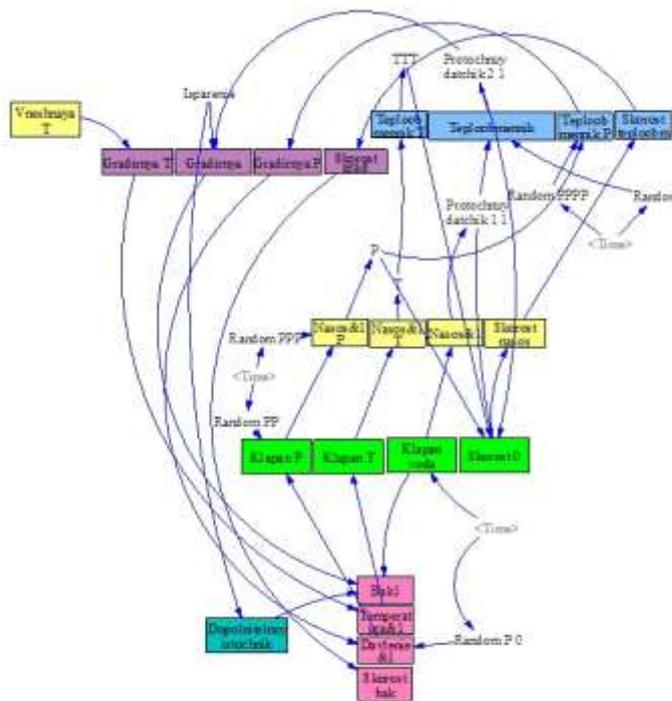
вторичном контуре обеспечивается циркуляция дистиллированной воды через тепловую нагрузку 16 (обмотки охлаждения электромагнитных элементов фокусирующей структуры

накопительного кольца комплекса «NESTOR»).

В первичном контуре водопроводная вода, накопленная в баке 1 при помощи основного насоса 2a или резервного насоса 2b, прокачивается через контур. Датчики температуры и давления 3, 6 контролируют температуру и давление воды до и после теплообменника. В случае несоответствия температуры заданным параметрам, скорость подачи воды в системе увеличивается. В случае понижения давления воды в системе (утечка) система останавливается и установка отключается. Проточные датчики 4, 5 контролируют количество проточной воды и в случае, если количество воды не соответствует

норме, система отключается. В теплообменнике водопроводная вода отбирает температуру воды вторичного контура и затем попадает в градирню, где охлаждается до температуры окружающей среды. После чего, охлажденная вода самотеком попадает обратно в накопительный бак 1. Датчик уровня воды контролирует уровень воды в баке, и в случае необходимости (потери воды за счет утечек или испарения в градирне) дополнительное количество воды поступает из источника 8.

Имитационная модель системы охлаждения электромагнитных элементов с использованием водопроводной воды представлена на Рис. 2.



- (01)Bak1= INTEG (Dopolnitelnyy istochnik-Klapan voda+Gradirnya,2000)
- (04)FINAL TIME = 100
The final time for the simulation.
- (05)Gradirnya=Protochnuy datchik 2 1-Isparenie
- (08)INITIAL TIME = 0
The initial time for the simulation.
- (19)Random=IF THEN ELSE(RANDOM UNIFORM(0 ,1 , 8*Time)>0.0001, 1 , 0)
- (25)Skorost 0=IF THEN ELSE(TTT>40:AND:P=1:AND:Protochnuy datchik 1 1=Protochnuy datchik 2 1, 50 , IF THEN ELSE(P=0, 0 , IF THEN ELSE(Protochnuy datchik 1 1<Protochnuy datchik 2 1 , 0 , 40)))
- (32)Teploobmennik=IF THEN ELSE(Random=1, Protochnuy datchik 1 1 , 0)
- (35)TIME STEP = 0.5
The time step for the simulation.

Рис. 2. Графическое и текстовое представление имитационной модели системы охлаждения электромагнитных элементов с использованием водопроводной воды

Значения уровней в каждый момент времени, кроме начального, вычисляются на основе рекуррентных соотношений и предполагают интегрирование по времени разности входных и выходных темпов (определенных на интервале). Процесс имитации состоит в следующем: на нулевом шаге уровням присваиваются их начальные значения; вычисляются дополнительные переменные и прогнозы темпов (на интервале 0,1); системное время сдвигается на шаг вперед, вычисленные на предыдущем шаге значения темпов подставляются в правые части уравнений уровней, вычисляются новые значения уровней на шаге 1 и т.д. Вычисления заканчиваются, когда системное время принимает значение 100 (шагом

изменения системного времени является 0,5 часа, динамика переменных воспроизводится в течение 100 часов).

Вторичный контур охлаждения реализован по аналогичной схеме за исключением того, что контур является замкнутым и в нем циркулирует дистиллированная вода.

Подсистема с дистиллированной водой усложнена по сравнению с моделью контура водопроводной воды наличием 3 бака, коллекторов, на которые поступает вода, и их влиянием на количество воды во 2 баке (см. Рис. 1). Имитационная модель системы охлаждения электромагнитных элементов с использованием дистиллированной воды представлена на Рис. 3.

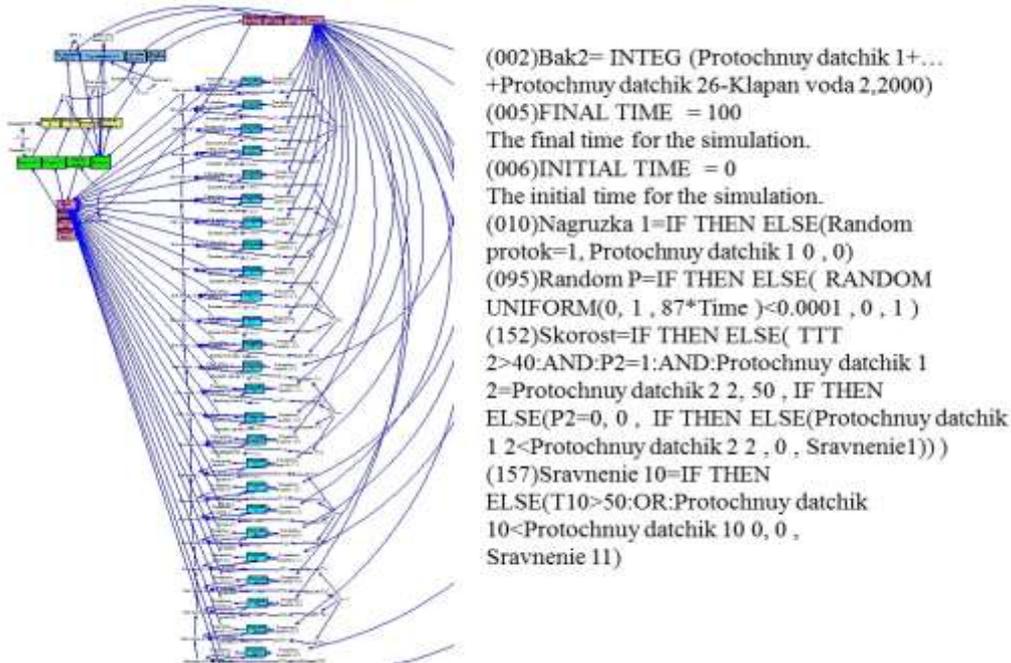


Рис. 3. Графическое и текстовое представление имитационной модели системы охлаждения электромагнитных элементов с использованием дистиллированной воды

Система питания электромагнитных элементов комплекса «NESTOR» представлена на Рис. 4. Магнитное поле поворотных магнитов кольца и квадрупольных линз кольца создается при помощи основных и дополнительных обмоток. Магнитное поле секступольных линз и секступольных линз с октупольной компонентой поля создается независимыми обмотками. Все основные обмотки электромагнитных элементов подключаются последовательно и запитываются от одного источника питания («Источник Питания 0»). В случае поступления аварийного сигнала от «Источника Питания 0» система питания отключается, установка останавливается. Дополнительные обмотки элементов, обмотки

секступольных линз и линз с октупольной компонентой запитываются независимо отдельными источниками питания («Источник Питания 1 - N»). В случае поступления аварийного сигнала от любого источника питания система питания отключается, работа накопительного кольца останавливается. Высокочастотная система (RF) и система инжекции (Inflector) являются отдельными системами, при поступлении аварийного сигнала от любой из систем работа установки останавливается.

Имитационная модель системы питания электромагнитных элементов представлена на Рис. 5

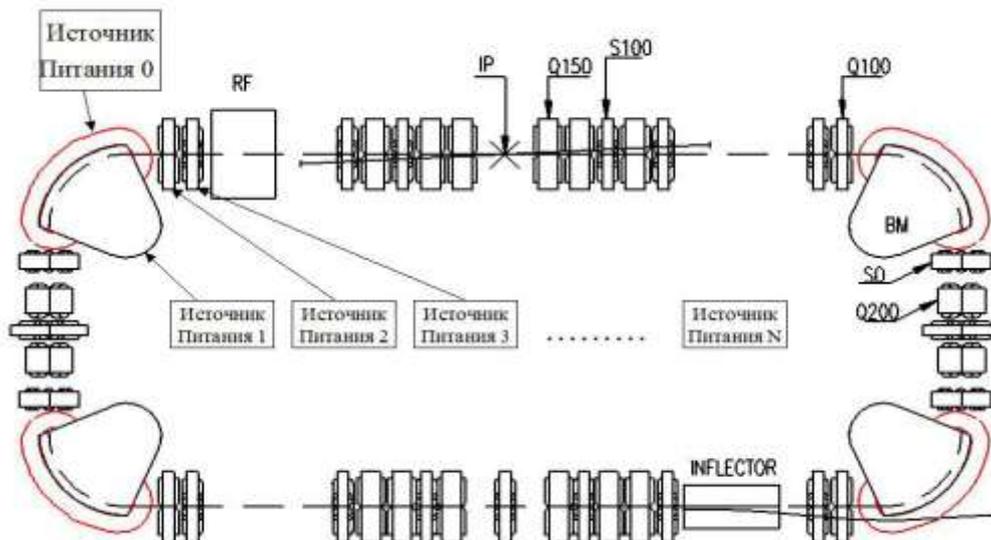


Рис. 4. Схема системы питания электромагнитных элементов комплекса «NESTOR»
 BM – поворотные магниты, Q – квадрупольные линзы, S – секступольные линзы, SO – секступольные линзы с октупольным полем, RF – ВЧ резонатор, INFLECTOR – система инжекции.

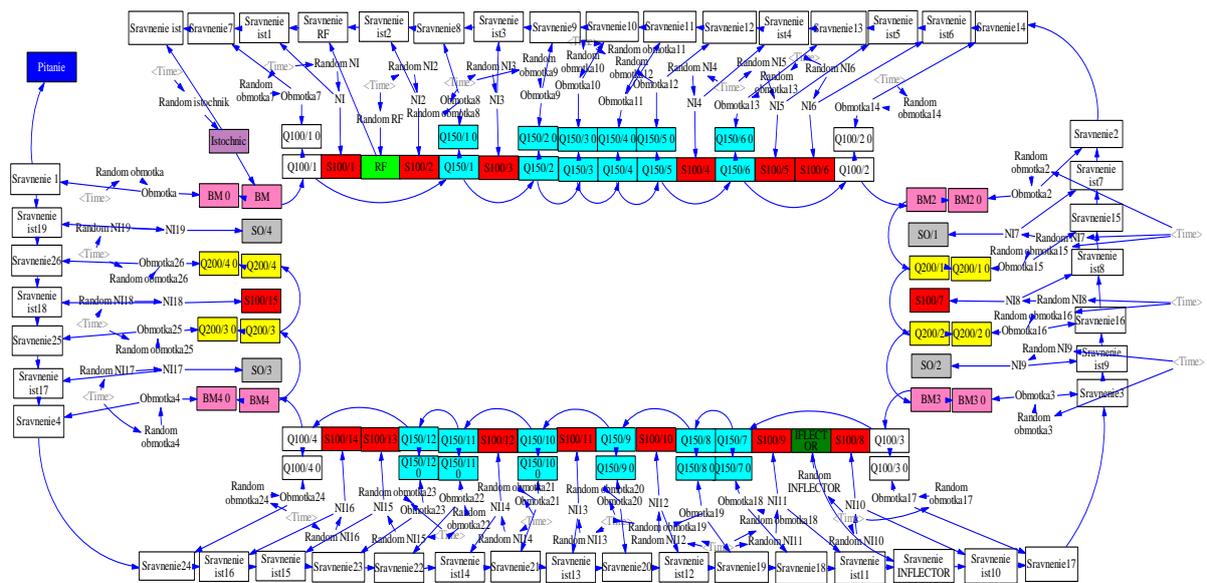


Рис. 5. Имитационная модель системы питания электромагнитных элементов

Система индикации комплекса функционально объединяет разработанные модели систем и дает возможность судить о работоспособности комплекса в целом. На Рис. 6 показана временная диаграмма состояния комплекса «NESTOR» в зависимости от времени. 1 соответствует состоянию системы, в котором она полностью работоспособна, 0 – аварийная

ситуация, комплекс отключается. Из рисунка видно, что в рамках реализованной модели, включающей описание систем охлаждения и питания, а также блочно ВЧ систему и систему инжекции, система работоспособна в течении всех 100 часов с 4 аварийными случаями. После ликвидации аварии система вновь работоспособна.

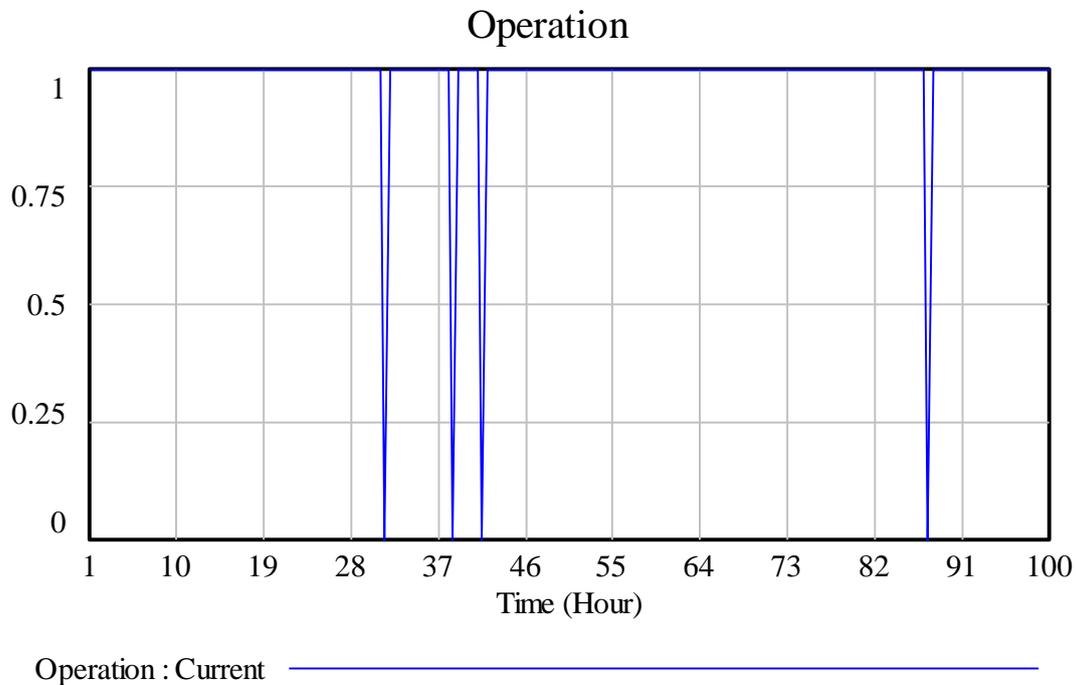


Рис. 6. Временная диаграмма состояния комплекса «NESTOR»

Для оценки адекватности разработанной модели проведено сравнение характеристик, полученных при помощи численных расчетов, с

характеристиками, полученными в результате моделирования (см. Рис.7-8).

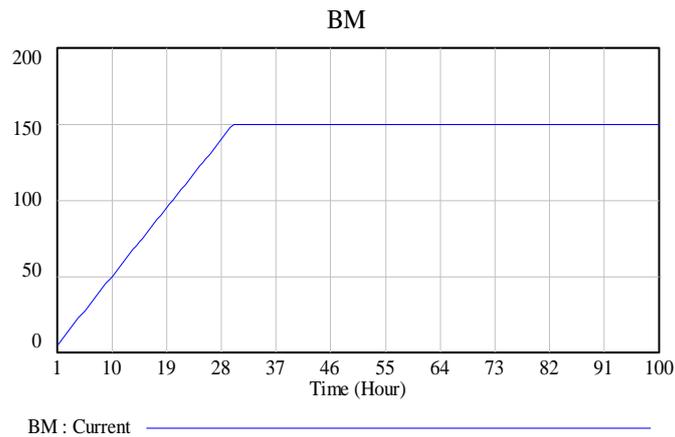


Рис. 7. Изменение тока в обмотках электромагнитных элементов в зависимости от времени (данные, полученные при помощи имитационной модели)

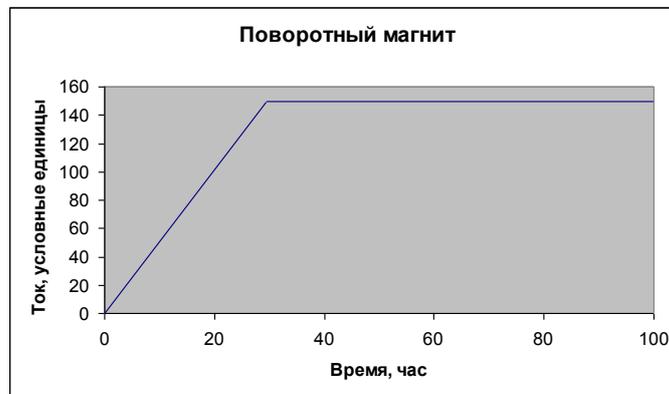


Рис. 8. Изменение тока в обмотках электромагнитных элементов в зависимости от времени (расчетные данные)

Осуществлена проверка экстремальных условий, модель демонстрировала правдоподобное поведение при экстремальных значениях входных переменных, шоковых возмущениях и предельных изменениях параметров. При помощи автокорреляционных функций и спектрального анализа произведена оценка точности воспроизведения поведения, частотные и фазовые отношения между переменными соответствуют данным, а модель генерирует различные типы поведения, наблюдаемые в реальной системе. За счет размыкания петель обратной связи и замены равновесных допущений неравновесными структурами осуществлена проверка аномалий поведения, аномальное поведение модели в результате изменения или исключения допущений не выявлено. Для оценки статистической значимости параметров осуществлена калибровка подсистем посредством тестирования частей модели. Произведена оценка ошибки интегрирования, результаты моделирования не чувствительны к выбору шага или метода численного интегрирования.

На основании полученных результатов сделан вывод о том, что имитационная модель

распределенной информационной системы управления комплексом «NESTOR» является адекватной реальной физической модели, разработанной физиками-разработчиками установки.

Выводы. В рамках системно-динамического подхода при помощи системы моделирования Vensim разработана и программно реализована имитационная модель распределенной информационной системы управления комплексом «NESTOR».

Произведены тестирование, апробация и исследование реализованной модели. На основании анализа полученных результатов сделан вывод о том, что разработанная имитационная модель адекватна разработанной заказчиком физической модели и может быть использована для анализа работы как отдельных систем комплекса, так и всего комплекса в целом. Показано, что в рамках реализованной модели, включающей описание систем охлаждения и питания, а также блочно ВЧ систему и систему инъекции, система работоспособна в течение всех 100 часов с 4 аварийными случаями.

Модель реализована таким образом, что по мере разработки технических заданий на

другие технологические системы комплекса она может быть дополнена. Разработанная модель в настоящее время явилась наиболее эффективным средством установления требований к разрабатываемой системе управления, позволившей ускорить процесс выполнения проекта.

Литература

1. Организация Североатлантического договора [Электронный ресурс] = North Atlantic Treaty Organization : представляет собой крупнейший в мире военно-политический блок, объединяющий большинство стран Европы, США и Канаду. – Электрон. дан. – [199-?]. – Режим доступа: [http://www.nato.int/cps/en/SID-1EFD0341-0BA785CF/natolive/news_91269.htm?selectedLoc](http://www.nato.int/cps/en/SID-1EFD0341-0BA785CF/natolive/news_91269.htm?selectedLocale=ru) ale=ru., свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Bulyak E. A compact X-ray source based on Compton scattering / E. Bulyak, P. Gladkikh. – Nucl. Instr. and Meth. In Phys. Rev. A., 2001. – № 467-468. – P. 88 – 90.

3. Данич В.Н. Моделирование быстрых и лавинообразных процессов / В.Н. Данич. – Луганск: ВНУ, 2010. – № 3 (145). – С. 86 – 101.

4. Дигрис А.В. Дискретно-событийное моделирование / А.В. Дигрис. – Минск : БГУ, 2011. – 201 с.

5. Международное общество системной динамики [Электронный ресурс] = System Dynamics Society : представляет собой профессиональную ассоциацию специалистов в области системной динамики – профессоров ВУЗов, практиков-консультантов и преподавателей со всего мира. – Электрон. дан. – [199-?]. – Режим доступа: <http://www.systemdynamics.org>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. англ.

6. Система имитационного моделирования Vensim [Электронный ресурс] = Vensim Simulation system: представляет собой профессиональную среду разработки для реализации этапов концептуализации, построения модели, имитации, анализа, оптимизации и создания исполняемых модулей моделей сложных динамических систем – Электрон. дан. – [199-?]. – Режим доступа: <http://www.vensim.com>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. Англ.

References

1. Organizacija Severoatlanticheskogo dogovora [Jelektronnyj resurs] = North Atlantic Treaty Organization : predstavljajet soboj krupnejshij v mire voenno-politicheskij blok, ob#edinjajushhij bol'shinstvo stran Evropy, SSHA i Kanadu. – Jelektron. dan. – [199-?]. – Rezhim dostupa: [http://www.nato.int/cps/en/SID-1EFD0341-0BA785CF/natolive/news_91269.htm?selectedLoc](http://www.nato.int/cps/en/SID-1EFD0341-0BA785CF/natolive/news_91269.htm?selectedLocale=ru) ale=ru., svobodnyj – Zagl. s jekrana. – Jaz. rus.

2. Bulyak E. A compact X-ray source based on Compton scattering / E. Bulyak, P. Gladkikh. – Nucl. Instr. and Meth. In Phys. Rev. A., 2001. – № 467-468. – P. 88 – 90.

3. Danich V.N. Modelirovanie bystryh i lavinoobraznyh processov / V.N. Danich. – Lugansk: VNU, 2010. – № 3 (145). – S. 86 – 101.

4. Digris A.V. Diskretno-sobytijnoe modelirovanie / A.V. Digris. – Minsk : BGU, 2011. – 201 s.

5. Mezhdunarodnoe obshhestvo sistemnoj dinamiki [Jelektronnyj resurs] = System Dynamics Society : predstavljajet soboj professional'nuju asociaciju specialistov v oblasti sistemnoj dinamiki – profesorov VUZov, praktikov-konsul'tantov i prepodavatelej so vsego mira. – Jelektron. dan. – [199-?]. – Rezhim dostupa: <http://www.systemdynamics.org>, svobodnyj – Zagl. s jekrana. – Jaz. angl.

6. Sistema imitacionnogo modelirovanija Vensim [Jelektronnyj resurs] = Vensim Simulation system: predstavljajet soboj professional'nuju sredu razrabotki dlja realizacii jetapov konceptualizacii, postroenija modeli, imitacii, analiza, optimizacii i sozdanija ispolnjaemyh modulej modelej slozhnyh dinamicheskikh sistem – Jelektron. dan. – [199-?]. – Rezhim dostupa: <http://www.vensim.com>, svobodnyj – Zagl. s jekrana. – Jaz. Angl

Височина О.С.

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОМПЛЕКСОМ «NESTOR»

У статті представлено імітаційну модель розподіленої інформаційної системи управління комплексом «NESTOR», яка включає систему охолодження електромагнітних елементів (з використанням водопровідної води, з використанням дистильованої води), систему живлення електромагнітних елементів і систему індикації. Модель виконано в рамках концепції методу системної динаміки за допомогою системи імітаційного моделювання Vensim. Рис. 8. Дж. 6.

Ключові слова: імітаційне моделювання, метод системної динаміки, потокова концепція, Vensim.

Vysochyna O.S.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A SIMULATION MODEL OF A DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM MANAGEMENT OF THE COMPLEX «NESTOR»

The article presents a simulation model of the distributed information system complex «NESTOR», which includes a system for cooling electromagnetic elements (with tap water, with distilled water), the electromagnetic power system elements and display system. The model is made in the framework of the concept of system dynamics method using simulation system Vensim. Pic. 8. Ref.6.

Keywords: method of system dynamics, simulation, streaming concept, Vensim.

Высочина Олеся Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля.

Рецензент: Осенин Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля.