

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ ENVICON ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖИДКОГО ГЕЛИЯ

И. К. БУТКЕВИЧ<sup>1</sup>, Е. А. РЫДНИК<sup>2</sup>, В. М. ШПАКОВ<sup>3♦</sup>

<sup>1</sup>Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, <sup>2</sup>ООО «Вертикаль», <sup>3</sup>Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

<sup>1</sup>ИФП, ул. Косыгина, д. 2, Москва, 119334; <sup>2</sup>«Вертикаль», пл. Мациевича, д. 4, кв.67,

<sup>3</sup>Санкт-Петербург, 197348; СПИИРАН, 14-я линия ВО, д. 39, Санкт-Петербург, 199178

<sup>1</sup><butkevich@kapitza.ras.ru>, <sup>2</sup><ridnik@omni.spb.ru>, <sup>3</sup><vlad@iiias.spb.su>

---

УДК 681.3.06

Буткевич И. К., Рыдник Е. А., Шпаков В. М. **Использование среды EnviCon для моделирования производства жидкого гелия** // Труды СПИИРАН. Вып. 5. — СПб.: Наука, 2007.

**Аннотация.** Приводится описание имитационной модели автоматизированной промышленной установки для производства жидкого гелия. Установка является сложной динамической системой, поведение которой определяется большой совокупностью взаимосвязанных гибридных процессов. Рассматриваются возможности компьютерной среды EnviCon по разработке моделей аналогичных систем. Обсуждаются возможные направления использования подобных имитационных моделей. — Библ. 4 назв.

UDC 681.3.06

Butkevich I. K., Rydник E. A., Shpakov V. M. **Using environment EnviCon for liquid helium production simulation** // SPIIRAS Proceedings. Issue 5. — SPb.: Nauka, 2007.

**Abstract.** A description of a simulation model of an industrial automated installation for liquid helium production is given. The installation is a complex dynamic system behavior of which is defined with a large collection of interacting hybrid processes. The environment EnviCon potentialities for similar models development are considered. Possible directions of such simulation models usage are discussed. — Bibl. 4 items.

---

В [1] приведено описание разработанного в СПИИРАН исследовательского прототипа среды имитационного моделирования структурированных совокупностей гибридных процессов, имеющей условное название «HyDySS» (Hybrid Dynamic System Simulator). Развитие этой среды проводилось в направлении расширения ее возможностей моделирования и исследования многоуровневых адаптивных систем управления. В частности, в ее состав был включен механизм и соответствующий интерфейс формирования нечетко-логических законов управления, получили развитие средства управления структурой многомодельного комплекса. Новая версия среды получила условное название EnviCon (Environment for Control). Апробация компьютерной среды EnviCon проводилась путем разработки имитационной модели промышленной установки по производству жидкого гелия ОГ-100. Разработка модели оживителя гелия ОГ-100 выполнена в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы РАН совместно с Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации РАН и ООО «Вертикаль».

Мнемоническая схема модели установки (копия экранной формы) приведена на рис. 1. На схеме представлено основное оборудование и арматура (2 турбо детандера, компрессоры, ресивер, газгольдер, теплообменники, емкости, дроссель, вентили и клапаны). Указаны текущие значения давлений, температур и уровней.

---

♦ Данная работа была частично поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 05-08-18111-а).

Включи контур PB4

Пуск    Останов

Режим  
 Ручной  
 Автомат

- Контур
- ЭКа2 (Уа1)
  - ЭКГ (УГ)
  - ЗК (УГ)
  - Бп (P1)
  - Дроссель
  - PB1 (T2-T1)
  - ЭКа1 (РА)
  - ГКм(Рм)
  - РВм1(n1)
  - РВм2(n2)
  - РВв (Тм)
  - ЭП (Тм)
  - PB4(У1)
  - ЭК3(УГ)

**Аварии**

- $n > n_{max}$
- МН выкл.
- К выкл.
- $P1 < P1_{min}$
- $P_{m1,2} < min$
- $УГ < УГ_{min}$

**Авар. ситуации**

- $P7 < P7_{min}$
- $P1 > P1_{max}$
- $Уа1 < Уа1_{min}$
- $У1 = У1_{max}$
- $(P1-P2) > Max$
- $P5 > P5_{max}$
- $T6 < T6_{min}$

Дроссель  
 Др (P5n)     Др (Т6)    PB3 Авт

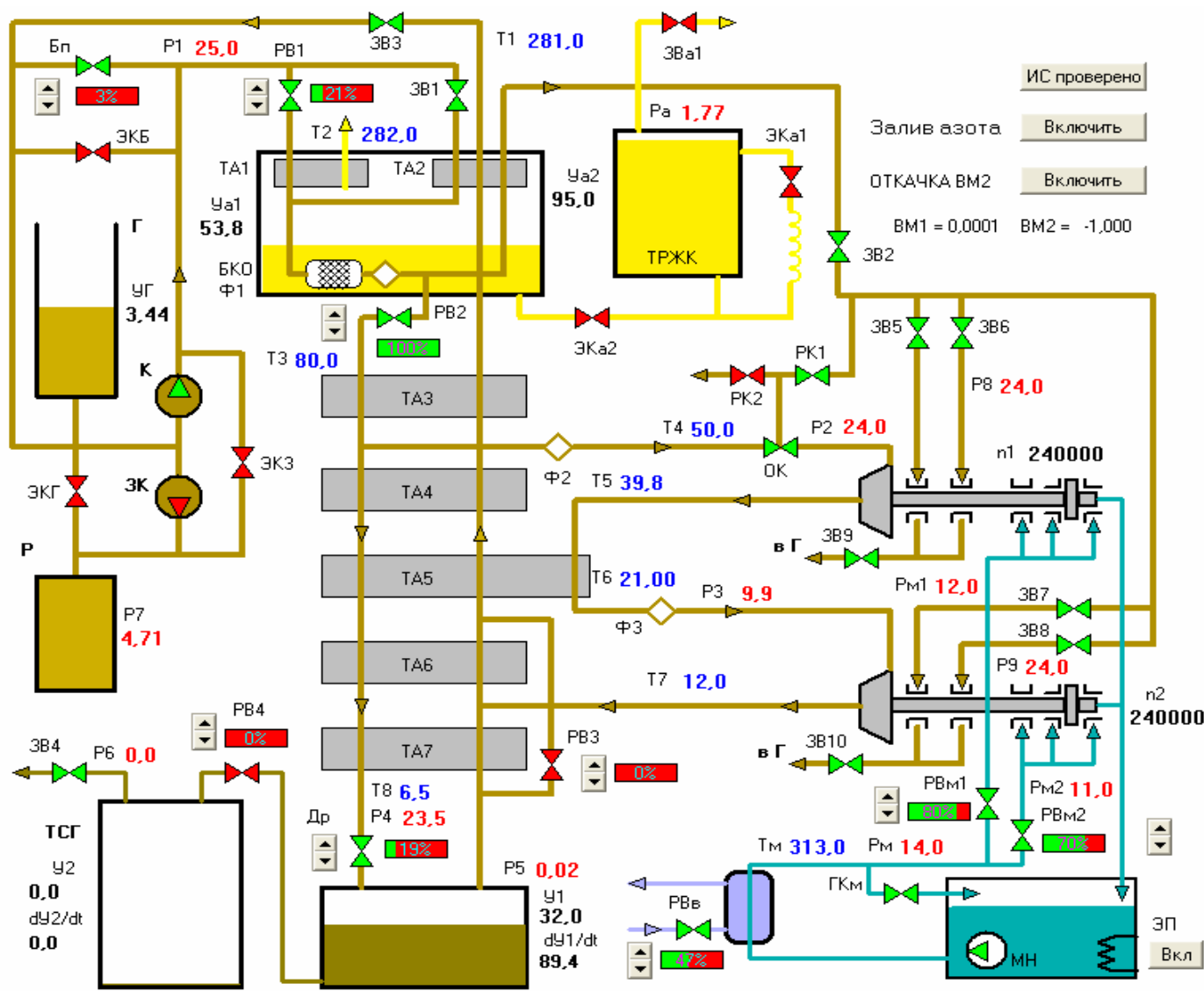


Рис. 1. Мнемосхема модели установки ОГ-100.

Приведенные на схеме обозначения и наименования соответствуют использованным в описании установки ОГ-100. В левой части схемы приведены основные органы управления установкой. Имеются кнопки пуска и остановки, включения / выключения автоматических контуров стабилизации, кнопки выбора режима управления. В правом верхнем углу схемы расположены кнопки включения (выключения) подсистем откачки вакуума и заполнения азотной ванны. В модели реализован режим установки исходного состояния и два режима управления технологическим процессом, ручной и автоматический. В автоматическом режиме после пуска управление установкой производится полностью автоматически: включаются и выключаются контура регулирования и необходимое оборудование, закрываются и открываются вентили и клапаны. В ручном режиме управляющие воздействия формируются путем внешних воздействий (щелчков мыши) на соответствующих устройствах или их органах управления. Таким способом производится запуск и останов машин, включение, реверс и выключение приводов вентиля и контуров регулирования, открытие и закрытие клапанов. В ручном режиме предусмотрена информационная поддержка действий оператора. Если режим поддержки включен, то при возникновении ситуации, требующей действий оператора, в окне инструкций появляется текстовое сообщение о необходимом действии. Окно инструкций расположено в левом верхнем углу схемы.

Модель оживителя в реальном или модельном времени определяет и визуализирует изменения всех параметров установки и состояний машин и аппаратуры на всех стадиях ее операционного цикла: запуска, захлаживания, оживления, слива жидкого гелия и планового останова установки. Реализована возможность моделирования возникновения и обработки нештатных ситуаций. Возможные нештатные ситуации разделены на два класса: аварии и аварийные ситуации. Это сделано потому, что алгоритмы обработки ситуаций из разных классов существенно отличаются друг от друга. Списки параметров, характеризующих нештатные ситуации, представлены в окнах с названиями «Аварии» и «Аварийные ситуации». При возникновении аварийной ситуации осуществляется алгоритм плановой остановки. В автоматическом режиме этот алгоритм реализуется автоматически. В ручном режиме в этом случае формируются инструкции оператору, и алгоритм реализуется по его командам. При возникновении аварии всегда автоматически запускается алгоритм аварийной остановки.

Как можно видеть из схемы и приведенного краткого описания установки ее функционирование определяется совокупностью взаимодействующих процессов различной динамики: непрерывных, дискретно-событийных и гибридных. Модель оживителя была разработана и функционирует в компьютерной среде EnviCon, ориентированной на моделирование и поддержку проектирования сложных адаптивных систем управления. В данной среде используется подход аналогичный подходу, описанному в [2]. Этот подход основан на представлении текущего дискретного и непрерывного состояний процессов с помощью логического и вещественного векторов состояний и формировании транзитивных отношений между текущим и следующим состояниями процессов. Такое представление процессов позволяет реализовать ситуационный подход формирования исполняемых спецификаций совокупностей взаимодействующих процессов различной динамики.

Для вычисления транзитивных отношений используются транзитивные вычислительные модели процессов [3]. Эти модели непосредственно определяют переход (transition) процесса из его текущего состояния в следующее. С

помощью этих моделей одиночный процесс представляется в виде последовательности состояний, а совокупность процессов — в виде последовательности (траектории) ситуаций. Транзитивные модели дискретно-событийных процессов реализуются с помощью продукционных правил относительно их состояний. Для представления непрерывных процессов в среде EnviCon используются алгоритмы вычисления транзитивных отношений для элементарных динамических звеньев и основных законов управления [4]. Сложные непрерывные процессы реализуются путем последовательного и параллельного соединения элементарных процессов. Зависимость дискретно-событийных процессов от непрерывных осуществляется за счет включения в условные части продукционных правил помимо дискретных состояний предикатов от состояний непрерывных процессов. Конъюнкция логических переменных, представляющих дискретные состояния, и предикатов от непрерывных состояний определяет значение некоторой локальной логико-динамической ситуации. Условные части продукционных правил содержат задания ситуаций, а исполнительные части — имена переменных, представляющих дискретные состояния, с указанием значений, которые они принимают в случае срабатывания правила. Таким образом, база таких правил позволяет специфицировать процесс трансформации ситуаций.

Реализация влияния логико-динамических ситуаций на непрерывные процессы в среде производится с помощью правил аналогичных продукционным правилам. В условных частях этих правил формируются выражения для локальных ситуаций. В случае срабатывания правила, т.е. возникновения специфицируемой им ситуации, производится запуск алгоритмов вычисления транзитивных отношений для соответствующего непрерывного процесса. Таким образом, в среде EnviCon структура модели задается с помощью логического и вещественного векторов состояния, а процессы специфицируются с помощью продукционных правил, предикатов от непрерывных состояний и правил запуска алгоритмов вычисления транзитивных отношений для непрерывных состояний. В совокупности указанные средства обеспечивают достаточно широкие возможности для формализации знаний о логике и динамике поведения систем.

Среда EnviCon позволяет создавать иерархически структурированные комплексы взаимосвязанных моделей. Описываемая модель оживителя гелия состоит из головной модели, в составе которой находятся 4 подмодели. Головная модель представляет внешний пульт реальной установки, на котором формируются внешние команды и уставки системы управления. Одна из подмоделей предназначена для моделирования объекта управления, три остальные — для моделирования различных режимов работы системы управления: ручного и автоматического, а также управления процессом установки исходного состояния. Головная модель и модель объекта всегда находятся в активном состоянии (их базы правил непрерывно сканируются исполняющей процедурой), а каждая из остальных — только тогда, когда установлен соответствующий режим. За счет такой структуризации упрощается формирование модели и повышается быстродействие исполняющей процедуры и, следовательно, точность моделирования.

Среда EnviCon имеет два основных режима функционирования — режим спецификации модели и режим моделирования. В режиме спецификации пользователь имеет возможность с помощью функционально ориентированных редакторов создавать и модифицировать вектора состояния и базы трансформационных правил модели. При этом все изменения сразу непосредственно вносятся в структуры данных модели, так что в любой момент может быть запущен

процесс моделирования. Это обеспечивает удобство разработки и валидации модели, а также — проведение модельных экспериментов. Процесс моделирования может быть остановлен по команде пользователя или при возникновении отмеченных им ситуаций.

Области применения имитационных моделей, создаваемых в среде Envi-Cop, достаточно разнообразны. Это объясняется, в первую очередь, тем, что процессы в модели с точностью до масштабов подобны процессам в реальной системе. Помимо этого, имеют также значение широкие выразительные возможности средств спецификации модели и удобство управления процессом моделирования. В ходе разработки модели сложной системы формализуются знания экспертов в различных предметных областях. Например, в приведенной модели оживителя гелия сосредоточены знания экспертов по термодинамике, газодинамике, по теории и практике автоматического управления.

Подобные имитационные модели могут быть использованы уже на этапе разработки технического задания на сложную динамическую систему, например, для согласования технических требований, однозначного их толкования и проверки на непротиворечивость. На этапе проектирования модельные эксперименты могут служить основой структурного и параметрического синтеза системы. На этапе эксплуатации системы модель может быть использована для обоснования внесения изменений и дополнений в систему. Модель сложной системы может найти применение для распространения знаний, накопленных в ней в ходе ее создания. На основе использования имитационных моделей описанного типа могут быть построены обучающие системы, реализующие эффективные обучающие методики. Модели могут также служить основой построения тренажерных комплексов.

## Литература

1. *Шпаков В. М.* Прототип среды моделирования структурированных совокупностей взаимодействующих процессов // Сборник докладов конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика», Санкт-Петербург, 19 – 21 октября 2005. т. 2. С. 292–295.
2. *Шпаков В. М.* Ситуационные спецификации имитационных моделей гибридных реактивных систем // Труды СПИИРАН. Вып. 1, т. 2. СПб.: СПИИРАН, 2002. С. 212–222.
3. *Шпаков В. М.* Транзитивная модель процессов и её использование для имитационного моделирования динамических систем // Сборник докладов конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика», Санкт-Петербург, 19 – 21 октября 2005. т. 1. С. 288–292.
4. *Шпаков В. М.* Спецификация знаний динамики на основе транзитивной модели непрерывных процессов // Труды СПИИРАН. Вып. 3, т. 1. СПб.: Наука, 2006. С. 191–197.