

## К вопросу о повышении качества производственно-технологических процессов

А.В. Протасов<sup>1 a</sup>, П.Ю. Вильвер<sup>2 b</sup>

<sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт динамики систем и теории управления Сибирского отделения РАН, ул. Лермонтова 134, Иркутск, Россия

<sup>a</sup>artem\_protasov@mail.ru, <sup>b</sup>wilwer@mail.ru

Статья поступила 15.11.2015, принята 28.12.2015

*Рассмотрен подход к повышению качества производственно-технологических процессов на основе системного анализа. Технология анализа данных процессов предполагает использование программного и аппаратного обеспечения, а также динамического контроля качества. Разработаны методика и средство создания имитационной модели на основе расширенного формализма сетей Петри для исследования сложных динамических систем и обеспечения их безопасной эксплуатации. Для создания, управления и анализа функционирования моделями предложена архитектура используемой системы моделирования. При наличии систематизированной информации о производственных процессах появляется возможность создания аппаратно-программного комплекса (информационной системы). На основе вышесказанного создан программный комплекс для мониторинга параметров технологического оборудования в режиме on-line с целью оперативного принятия управленческих решений по предотвращению отказов сложных технических систем. Разработанный программный комплекс позволяет создавать учебные тренажерные комплексы с модулем поддержки принятия решений для различных технических систем, что способствует повышению безопасности персонала и предотвращению отказов оборудования от воздействия человеческого фактора.*

**Ключевые слова:** имитационная модель; сеть Петри; сложная динамическая система; промышленная безопасность.

## Improving the quality for production and technological processes

A. V. Protasov<sup>1 a</sup>, P. Yu. Vilver<sup>2 b</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk National Research Technical University, ul. Lermontov 83, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of System Dynamics and Control Theory, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Lermontova 134, Irkutsk, Russia

<sup>a</sup>artem\_protasov@mail.ru, <sup>b</sup>wilwer@mail.ru

Received 15.11.2015, accepted 28.12.2015

*The article describes an approach of improving quality production and technological processes on the basis of the system analysis. The technology for process analysis involves the use of software and hardware, as well as dynamic quality control. A technique and simulation have been developed for the model on the basis of the extended formalism of Petri nets to study complex dynamic systems and ensure their safe operation. To create, control and analysis of models' functioning, architecture was offered of modelling system used. While having systematic information about the production processes, there is a possibility to create a hardware-software package (information system). In view of the above said, a software package was developed to monitor the parameters of technological equipment in the on-line mode to take management decisions operatively on preventing failures of complex technical systems. The software package allows creating training simulators with the module of decision support for various technical systems, which contributes to personnel's safety and preventing equipment failures because of human errors.*

**Key words:** simulation model; Petri net; complex dynamic system; industrial safety.

### Введение

Надежность и эффективность технологических процессов нефтехимического комплекса, включая добычу, транспортировку и переработку веществ, во многом определяют качество жизни населения, а также промышленную, экологическую и экономическую безопасность предприятий.

Производство конкурентоспособной продукции требует надлежащего управления качеством на всех этапах ее жизненного цикла, начиная с маркетинговых исследований и подготовки производства, вплоть до выпуска готового изделия и доставки до потребителя.

В условиях современной рыночной экономики нефтеперерабатывающая отрасль переживает серьезные изменения, связанные с ужесточением рыночной конкуренции и возрастающими требованиями со стороны регулирующих органов, а также заинтересованных лиц.

Мировые тенденции в области нормирования и регулирования производства продуктов нефтеперерабатывающей отрасли ориентированы на прогностические механизмы оперативной реакции и усовершенствования, связанные с модернизацией оборудования, изменением условий и режимов эксплуатации. Этому вопросу посвящены труды известных ученых М.М. Гаде-

нина, А.М. Лепихина, Н.А. Махутова, В.М. Труханова и др.

**Постановка и решение задачи.** В связи с вышеказанным актуально создание системы для проектирования, анализа и управления нефтехимическим производством путем измерения в реальном времени технологических режимов критических показателей процессов, влияющих на качество конечного продукта. В рамках этой системы для обеспечения работоспособности оборудования разрабатываются и реализуются упреждающие действия, позволяющие переводить внезапные отказы в категорию прогнозируемых, а также исключить подобные отклонения критических показателей в будущем.

Система требует междисциплинарного осмысления (т. е. комплексного использования механических, физических, математических методов анализа, а также анализа рисков), что позволит обеспечить научно обоснованное, учитывающее факторы риска проектирование, производство и контроль качества. Эти инструменты, используемые как единая система, являются эффективным средством для разработки стратегии снижения рисков отказа оборудования и достижения постоянного усовершенствования процессов производства.

Технология анализа процессов предполагает использование программно и аппаратного обеспечения, а также динамического контроля качества.

Существенными являются необходимость достоверного отражения действительности в рамках модели, а также возможность специалистов с разным уровнем подготовки — как аналитиков, так и производственного персонала — работать с данной моделью. В мировой практике существует ряд хорошо зарекомендовавших себя методик описания процессов, таких как IDEF, ARIS и SwimLanes

Эти методики ориентированы прежде всего на описание систем управления и носят универсальный характер либо привязаны к конкретным компьютерным системам.

Методика описания процессов с помощью модели Hubka — Eder универсальна и применима к любой технической системе для изготовления и производства продукции. Но, несмотря на эту универсальность, ее применение ограничено сферой технологии машиностроения и электротехники.

Рассмотренные методики нацелены прежде всего на моделирование бизнес-процессов и потоков данных и не позволяют, на наш взгляд, в полной мере построить количественные модели и модели производственных процессов.

Для создания математической модели технической системы (ТС) предлагается использовать модифицированную сеть Петри (СП), где определены основные понятия, связанные со структурой и поведением СП, которые используются для создания и управления моделями. Одним из основных свойств СП является их способность отражать динамические характеристики моделей. Использование иерархических сетей Петри с приоритетами позволяет моделировать на различных уровнях СП состояние и функционирование как производственно-

технологического процесса в целом, так и отдельных аппаратов, машин, механизмов и их деталей.

Модель ТС базируется на структурной иерархии исследуемого объекта, например «сложный технологический комплекс – установка – аппарат – деталь». Отношение «часть – целое» между элементами структуры обуславливает причинно-следственные отношения между их состояниями и возникающими событиями. Построение модели основано на декомпозиции ТС в соответствии с функциями, выполняемыми во внешней среде функционирования компонентов ТС и в соответствии с внутренней структурой компонентов. При этом внутренняя среда функционирования компонентов будет одновременно являться внешней средой функционирования его составных частей. Такая ситуация будет повторяться циклически вплоть до требуемого уровня детализации структуры и процессов. В модели отображаются позициями  $P$  элементы ТС. Атрибутами меток, принадлежащих определенным позициям  $P$ , моделируются параметры состояния элементов ТС. Использование атрибутов меток позволяет группировать метки, описывающие один материальный поток, и отражает изменение параметров ТС в пределах как допустимых, так и недопустимых значений, что позволяет сократить количество меток и уменьшить размер модели. События, интерпретируемые переходами  $T$ , определяются функциями, выполняемыми объектами ТС.

Для обеспечения правильности взаимодействия параллельно происходящих процессов модели реализуется следующий механизм синхронизации выполнения переходов:

- первыми выполняются переходы вложенных сетей с наибольшим числом сетей верхнего уровня;
- переходы во вложенных сетях срабатывают в соответствии с заданными приоритетами;
- вторыми выполняются переходы между вложенными сетями в соответствии с функцией;
- выполнение переходов вложенных сетей и переходов между вложенными сетями производится последовательно с выполнением переходов вложенной сети уровня вложенности.

При данном описании сети Петри переход с маркировкой разрешен, если для всех во входных позициях имеются метки такого цвета, который указан в функциях дуг, а значения атрибутов этих меток принадлежат множеству.

Переход запускается удалением всех разрешающих меток из его входных позиций и последующим помещением в каждую из его выходных позиций по одной метке для каждой дуги. Цвет метки и значения атрибутов меток определяются функциями дуг.

Переход с маркировкой может быть выполнен всякий раз, когда он разрешен. В результате выполнения разрешенного перехода образуется новая маркировка.

Моделирование события происходит следующим образом:

- на каждом шаге выполнения метка цвета, находящаяся во входной позиции по отношению к выполняемому переходу, получает новые значения атрибутов оборудования от сервера, и полученные значения присваиваются атрибутам меток;

– при выполнении предусловия перехода, связанного с входной позицией, метка изымается, и происходит коррекция коэффициентов уравнения;

– при выполнении постусловий тип и атрибуты метки изменяются в соответствии с функциями выходных дуг;

– в выходной позиции для выполняющегося перехода создается метка с заданным цветом и атрибутами.

После коррекции коэффициентов уравнения вычисляются атрибуты меток. Их значения не должны выходить за допустимые пределы, заданные для атрибутов меток в данной позиции.

Таким образом, при исследовании моделей ТС, созданных на основе предложенного сетевого формализ-

ма, производится прогнозирование следующего значения атрибута меток еще при предполагаемом выполнении перехода, что позволяет корректировать невыполненное управляющее действие и выполнять его до выхода значения атрибута метки за допустимые пределы.

Для создания, управления и анализа функционирования моделей используется система моделирования определенной архитектуры (рис. 1).

При наличии систематизированной информации о производственных процессах появляется возможность создать аппаратно-программный комплекс (информационную систему).

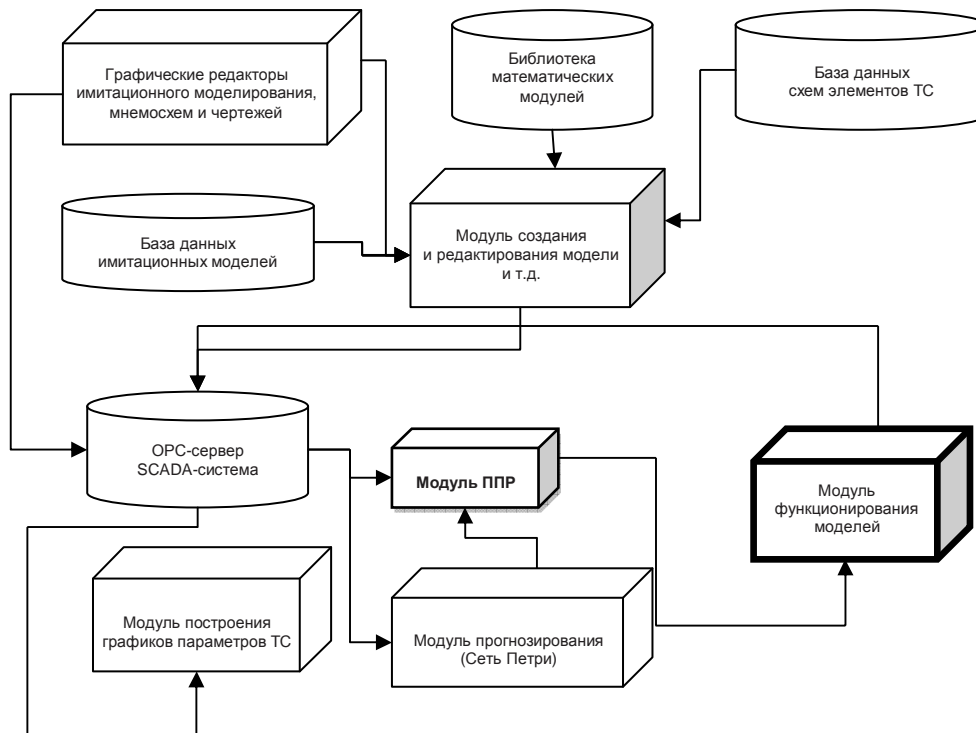


Рис. 1. Архитектура системы моделирования для создания, управления и анализа функционирования моделями

**Методика.** Для создания аппаратно-программного комплекса использована следующая методика.

1. Создание с помощью инструментального средства моделирования структуры модели исследуемой СТС с использованием дискретно-событийного подхода.

а. Модель отражает объекты  $P_k$ , события  $T_k$  и параметры  $A_i$  системы.

а1. Объекты ТС имеют определенные параметры, соответствующие значениям атрибутов  $A_i$  метки  $m_k$ , находящейся в позиции  $P_k$ , которые могут изменяться с течением времени в зависимости от данных, получаемых от OPC-сервера.

а2. События определяются функциями, выполняемыми объектами ТС.

а3. Значения параметров объектов ТС поступают с первичных приборов или контроллеров на OPC-сервер и затем могут быть использованы в модели как значения атрибутов  $A_i$  меток  $m_k$ .

а4. События происходят (или не происходят) в соответствии с условиями, которые определены в модели выражениями входных и выходных дуг «перехода»  $T_i$ .

а5. Все события в модели происходят в соответствии с функционированием системной и вложенных сетей.

б. Модель ТС является иерархической; количество уровней зависит от сложности ТС и поставленной задачи. Разделение СТС на объекты достаточно условно и зависит от постановки задачи. Например, при анализе технологической линии ее объектами могут считаться отдельные установки и станки, транспортные и грузозачные устройства. В свою очередь, станки и грузозачные устройства также могут считаться техническими системами и при оценке их надежности должны быть разделены на элементы — узлы, блоки, которые подразделяются на детали и т. д.

2. На основе статической модели создается модель функционирования ТС.

а. Задается начальное состояние системы.

б. Задаются интервалы номинальных, допустимых и недопустимых значений параметров.

с. Выполняются активные «переходы»  $T_k$ .

3. Производится обмен данными атрибутов  $A_i$  меток и ОРС-сервера во время выполнения «переходов»  $T_k$ . Предыдущие значения атрибутов  $A_i$  сохраняются, количество сохраненных значений определяется настройками модели.

4. Производится прогноз значений параметра  $A_i$  меток и, таким образом, получаем информацию о будущих событиях в модели.

5. При выходе параметра  $A_i$  объекта  $P_k$  ТС за допустимые или регламентируемые границы определяется последовательность произошедших событий.

а. Определяются наименования и значения параметров СТС, изменение которых влияет на значение атрибута  $A_i$  метки  $m_k$  элемента модели ТС.

б. Определяются значения параметров объектов модели ТС, доступные из заданного состояния; выбирается нужное состояние модели.

с. Определяется последовательность событий, приводящих модель ТС в это состояние.

6. При нарушении регламентируемой последовательности событий:

а. определяется условие, необходимое, но не выполненное для возникновения события;

б. определяются условия возникновения нерегулируемого события;

с. определяются параметры объектов системы, значения которых влияют на выполнение данного условия;

д. Действия по п. 5 б, с.

По данной методике были созданы комплексы с модулем поддержки принятия решений для различных сложных технических систем. Один из примеров комплекса показан на рис. 2.

Программный комплекс позволяет:

– автоматически контролировать процессы производства в реальном времени;

– повысить эффективность производственных процессов;

– существенно уменьшить долю несоответствующей продукции;

– накапливать данные и формировать на их основе промышленные базы знаний, позволяющие существенно снизить затраты на проектирование и реализацию процессов, а также разработку новых продуктов.

### Заключение

1. Создана система для проектирования, анализа и управления нефтехимическим производством путем измерения технологических режимов в реальном времени (т. е. во время производства) для обнаружения критических показателей процессов, влияющих на качество конечного продукта.

2. Данный программный комплекс позволяет обучить ответственным и дорогостоящим технологическим операциям до того, как обучаемый оператор столкнется с ними на практике, что способствует сохранению человеческих жизней и оборудования от возможных последствий ошибок персонала.

3. Применение предложенной модели иерархической ситуационно-событийной сети позволяет преодолеть ограничения существующего аппарата при решении задач планирования и оперативного управления сложными техническими системами.

4. Эффективное использование систем принятия решений по управлению рисками возникновения аварийных ситуаций и своевременное обучение персонала дают возможность повысить надежность и безопасность технологических процессов.

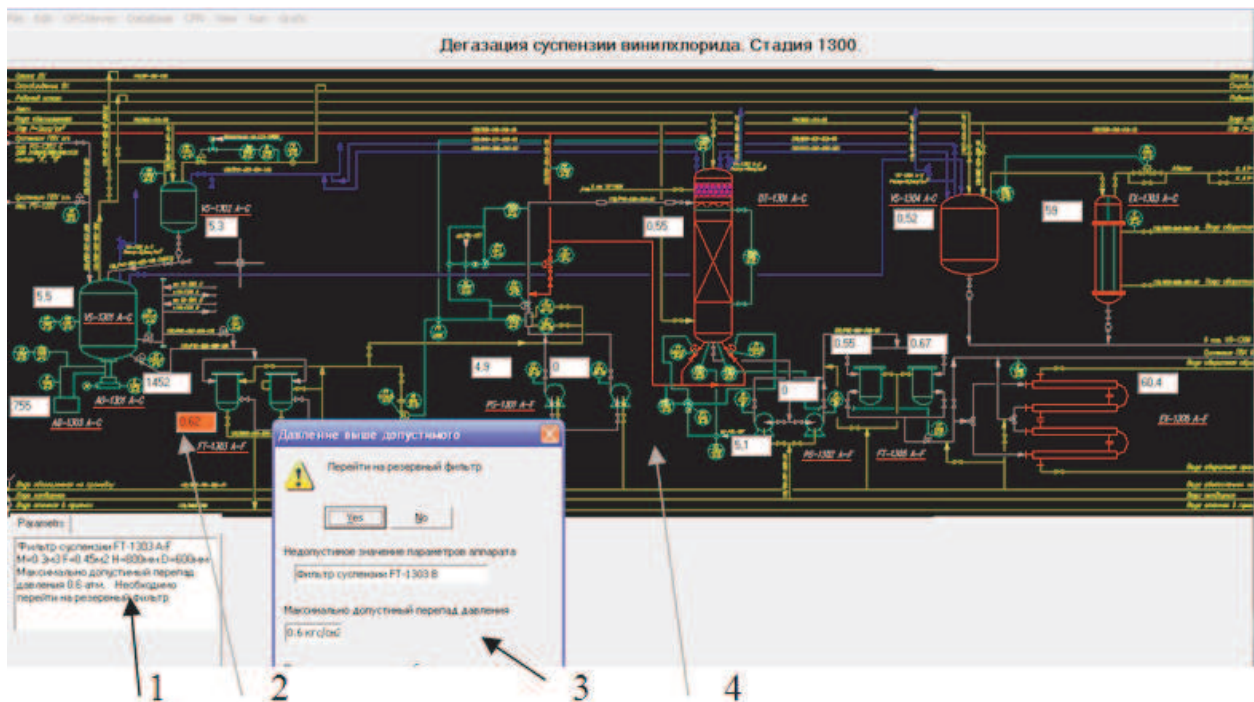


Рис. 2. Программный комплекс дегазации ПВХ: 1 — параметры оборудования; 2 — аварийный сигнал датчика; 3 — сообщение системы ППР; 4 — схема оборудования

*Литература*

1. Махутов Н.А., Фролов К.В., Драгунов Ю.Г., Гаденин М.М. Анализ риска и повышение безопасности водо-водяных энергетических реакторов. М.: Наука, 2009. 449 с.
2. Лепихин А.М., Махутов Н.А., Москвичев В.В., Черняев А.П. Вероятностный риск-анализ конструкций технических систем. Новосибирск: Наука, 2003. 174 с.
3. Труханов В.М. Надежность технических систем. М.: Машиностроение-1, 2008. 585 с.
4. Колышкин В.М., Бергизияров П.К., Богатиков С.А., Сухомлин И.Г. Референтные модели производственно-технологических процессов при создании системы менеджмента качества на основе стандартов семейства ГОСТ Р ИСО 9000-2001. // Технология чистоты. 2005. № 1. С. 18-22.
5. Беляев И.П., Капустян В.М. Системный анализ для разработки и внедрения информационных технологий: метод. пособие. М.: МГСУ, 2007. 224 с.
6. Вильвер П.Ю., Протасов А.В. Имитационное моделирование сложных динамических систем с использованием сетей Петри // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 7. С. 35-39.
7. Протасов А.В. Технология динамической интеграции разнородных параметров в риск-менеджменте предприятия // Вестн. ИрГТУ. Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2013. № 12. С. 353-358.
8. Протасов А.В., Вильвер П.Ю. Интеллектуальная система обучения персонала - основа обеспечения безопасности технологических процессов. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 6. С. 32-36.

*References*

1. Makhutov N.A., Frolov K.V., Dragunov Yu.G., Gadenin M.M. Analysis of risk and increase the safety of water-moderated power reactors. M.: Nauka, 2009. 449 p.
2. Lepikhin A.M., Makhutov N.A., Moskvichev V.V., Chernyaev A.P. Probabilistic risk analysis of constructions of technical systems. Novosibirsk: Nauka, 2003. 174 p.
3. Trukhanov V.M. Reliability of technical systems. M.: Mashinostroenie-1, 2008. 585 p.
4. Kolyshkin V.M., Bergiziyarov P.K., Bogatikov S.A., Sukhomlin I.G. Reference models production and technological processes to create quality management system on standards-based family of GOST R ISO 9000-2001 // Technology of Cleanliness. 2005. № 1. P. 18-22.
5. Belyaev I.P., Kapustyan V.M. System analysis for the development and implementation of information technology: metod. posobie. M.: MGSU, 2007. 224 p.
6. Vil'ver P.Yu., Protasov A.V. Simulation of complex dynamic systems using Petri nets // Mechatronics, automation, control. 2011. № 7. P. 35-39.
7. Protasov A.V. Dynamic integration of technology of heterogeneous parameters in the risk management of the company // Bulletin of Irkutsk State Technical University. Irkutsk: izd-vo IrGTU, 2013. № 12. P. 353-358.
8. Protasov A.V., Vil'ver P.Yu. Intellectual system of personnel training is the basis for providing safety of technological processes // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. № 6. P. 32-36.