

УДК 004.94; 621.9

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ
ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

М.Н. Краснянский, Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин

*Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического
оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ»; kras@tambov.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: информационно-аналитический регламент; информационные системы; многоассортиментные химические производства; надежность функционирования; проектирование технических систем.

Аннотация: Рассмотрены подходы к обеспечению надежности функционирования технических систем многоассортиментных производств. Введено понятие информационно-аналитического регламента как информационной основы для описания действующей системы. Предложены направления снижения влияния человеческого фактора на надежность функционирования системы.

Современный уровень развития производственных технологий формирует высокие требования к надежности функционирования технических систем. Каждая непредвиденная остановка выпуска продукции по причине выхода из строя единицы технологического оборудования (ТО) приводит к значительным материальным потерям вследствие недовыпуска продукции, нарушения ритмичности производства, потери дорогостоящего сырья, необходимости проведения ремонтных работ. При этом доля «человеческого фактора», как первопричины аварийной ситуации, возросла с 20 % в 60-х годах XX века до 80 % в настоящее время. Специфика технических систем многоассортиментных химических производств (ТС МХП), использующих в производстве пожаро- и взрывоопасные, токсичные, высококоррозионные вещества, делает особенно актуальным предотвращение возникновения внештатных ситуаций, развитие которых в короткий промежуток времени может привести к серьезным авариям, экологическим катастрофам и человеческим жертвам.

На современном уровне развития информационных технологий и средств автоматизации технологического процесса добиться безаварийной ритмичной работы химико-технологических производств возможно лишь при реализации единого системного подхода к разработке информационных систем прогнозирования и обеспечения надежности функционирования ТС на всех этапах их жизненного цикла. Разработка и применение единого информационного пространства, удов-

летворяющего требованиям CALS-технологий, позволяет повысить эффективность и надежность работы всех служб, задействованных на различных этапах жизненного цикла ТС. Разработка математических, аналитических, процедурных и функциональных моделей проектируемых объектов и производственных процессов дает возможность описать всю технологию создания и функционирования технических систем, а также обеспечить совместимость отдельных этапов жизненного цикла по всем материальным и информационным потокам.

Рассмотрим предлагаемую методологию проектирования информационных систем прогнозирования и обеспечения требуемого уровня надежности функционирования ТС МХП на основных этапах жизненного цикла.

Для определения базовых компонентов информационной системы прогнозирования и обеспечения надежности функционирования технической системы будем опираться на возможность и преимущества CALS-технологий. Первоначально рассмотрим структуру информационных потоков жизненного цикла ТС МХП (рис. 1). Предлагается выделить три основных этапа – проектирование, монтаж и эксплуатация, с последующей реконструкцией или утилизацией системы.

Необходимо отметить, что рассматриваемый класс ТС относится к эргатическим системам, а, следовательно, необходим учет влияния человеческого фактора на процесс функционирования ТС и выпуск продукции. Надежность функционирования ТС МХП прогнозируется и закладывается на этапе проектирования при выборе аппаратного оформления технической системы и обеспечивается в процессе монтажа и последующей продолжительной эксплуатации системы. Именно поэтому в настоящей работе рассматриваются два ключевых этапа, с точки зрения надежности функционирования ТС, – проектирование и эксплуатация. При этом предполагается, что монтаж осуществляется в соответствии с требованиями проектно-конструкторской документации и нормативами на проведение работ. Тогда структуру информационных потоков этапов проектирования и эксплуатации можно представить следующим образом (рис. 2 и 3).

В ходе решения задач проектирования ТС МХП исходная информация **D**, сосредоточенная в техническом задании в виде ассортимента и плановых объемов производства; технологических регламентов выпуска продуктов; парка ТО предприятия и оборудования, планируемого к приобретению; показателей надежности функционирования оборудования (интенсивности отказов и восстановления, диагностируемые параметры и др.), преобразуется в информационно-аналитический регламент **R** технической системы. Понятие информационно-аналитического регламента (**ИАР**) вводится для централизованного описания информации о создаваемой ТС с целью ее дальнейшего использования при решении задач последующих этапов жизненного цикла системы. Информационно-аналитический регламент представляет собой информационный комплекс, содержащий модули описания следующих характеристик ТС МХП:

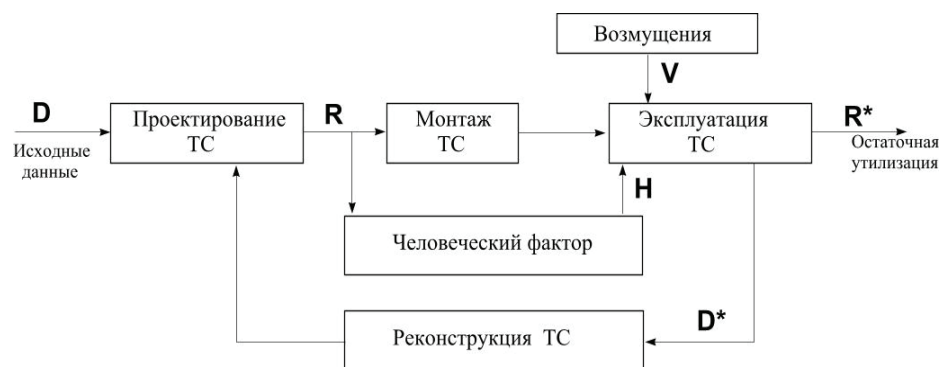


Рис. 1. Структура информационных потоков жизненного цикла ТС МХП

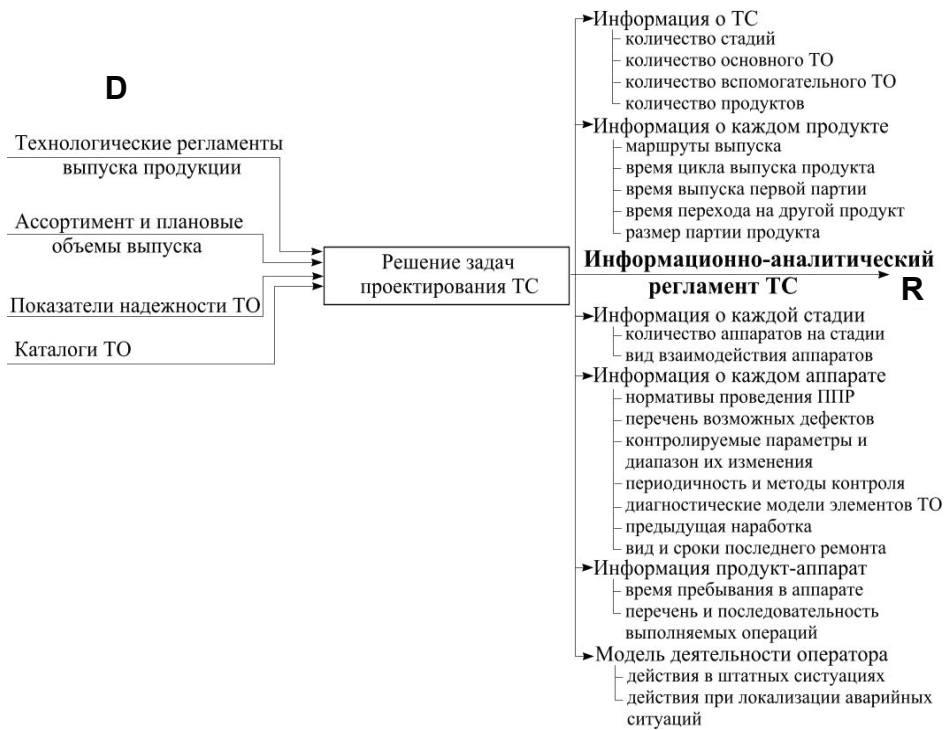


Рис. 2. Структура информационных потоков этапа проектирования ТС МХП

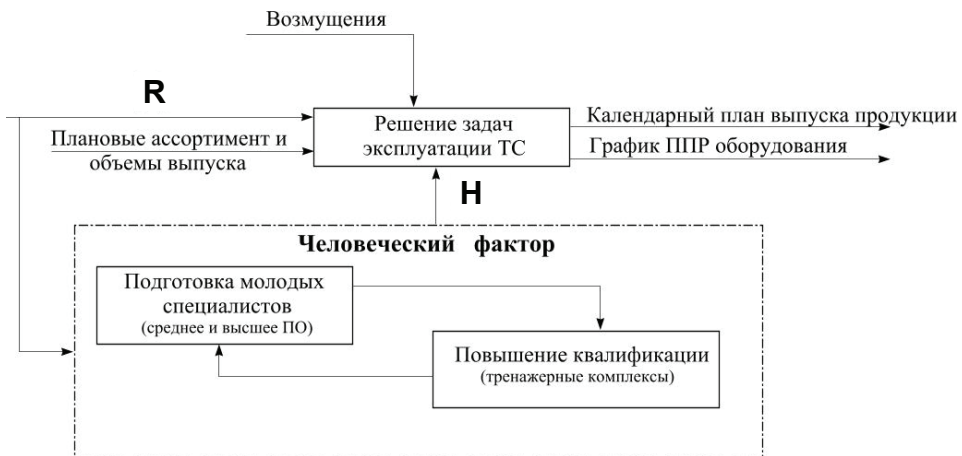


Рис. 3. Структура информационных потоков этапа эксплуатации ТС МХП

– общая информация о ТС – включает описание стадий системы, аппаратов на каждой стадии (как основное ТО, так и вспомогательное), возможного ассортимента выпускаемой продукции;

– информация о каждом продукте – включает возможные маршруты выпуска продукта, временные характеристики (время цикла, время выпуска первой партии, время перехода с выпуска одного продукта на другой), размер партии продукта;

– информация о каждой стадии – описывает количество ТО на каждой стадии и возможные виды взаимодействия (например, для параллельно работающих аппаратов – возможность обработки партий как синхронно, так и со сдвигом);

– информация о каждом аппарате системы – включает описание аппарата (тип аппарата, наличие внутренних устройств, определяющий размер, тип перемешивающего устройства, наличие рубашки и др.), ремонтные характеристики (нормативные значения периодов проведения планово-предупредительных ремонтов (**ППР**), трудозатраты на ремонт, продолжительности ремонтов, а также текущая наработка аппарата, вид и сроки проведения последнего ремонта), характеристики диагностирования (перечень возможных дефектов, методов и средств их контроля и устранения, диагностические модели отдельных узлов и элементов);

– информация продукт–аппарат, которая формируется в соответствии с возможными маршрутами выпуска продукта и включает информацию о времени пребывания продукта в аппарате каждой стадии, последовательность и длительности выполняемых операций;

– модель деятельности оператора – включает процедурные модели деятельности обслуживающего персонала при выпуске каждого продукта, а также в случае возникновения нештатных и аварийных ситуаций.

Для определения объектов, входящих в состав ТС МХП, а также связей между ними рассмотрим информационно-логическую модель ее функционирования. Представим ТС МХП Ψ как совокупность упорядоченной последовательности технологических процессов производства J_Ψ одного или нескольких целевых продуктов и множества аппаратурных стадий A_Ψ , объединенной системой материальных M , энергетических E и информационных I связей, необходимых и достаточных для производства ассортимента выпускаемой продукции P_Ψ под управлением человеческого фактора H

$$\Psi = \{J_\Psi, A_\Psi, P_\Psi, M, E, I, H\}.$$

Множество технологических процессов, реализуемых ТС, является упорядоченным и образовано как объединение упорядоченных множеств технологических процессов выпуска каждого продукта – $J_\Psi = J_1 \cup J_2 \cup \dots \cup J_p \cup \dots \cup J_P$. Последовательность выпуска продуктов может меняться в зависимости от конкретного планового задания на производство в течение определенного планируемого периода.

Технология выпуска отдельного продукта J_p на ТС МХП может быть представлена в виде графа $G_{J_p}(V, D)$, где V – множество вершин, соответствующих подмножеству аппаратурных стадий A_Ψ , задействованных в выпуске данного продукта; D – множество дуг, определяющих маршрут движения продукта по ТС. При этом каждой вершине графа $G_{J_p}(V, D)$ ставится в соответствие матрица длительностей технологических операций $O_{J_p}^v$, проводимых в данном аппарате при реализации технологического процесса J_p . Дуга графа $G_{J_p}(V, D)$ определяет маршрут, вид транспорта и время, необходимое для передачи продукта из одного аппарата в другой.

Технологические операции $O_{J_p}^v$, которые могут быть реализованы последовательно или совместно в одном или нескольких параллельно работающих аппаратах, представляют собой стадию ТС МХП.

Введение понятия информационно-аналитического регламента продиктовано современным уровнем развития информационных и коммуникационных техноло-

гий на производстве, внедрением передовых систем автоматизации технологического процесса и управления выпуском продукции и предприятием в целом, что требует четкого однозначного описания всех входящих в его состав технических систем. Поэтому комплексное решение задач управления выпуском продукции становится возможным только в результате взаимодействия интегрированных автоматизированных информационных систем, образующих единую информационную систему промышленного предприятия. Информационно-аналитический регламент представляет собой информационную основу описания действующей ТС, сосредоточив основной объем исходной информации для решения различных задач этапа эксплуатации (см. рис. 3), а также, при необходимости, и последующей реконструкции ТС МХП.

В ходе эксплуатации ТС МХП для каждого планируемого периода дополнительно поступают данные об ассортименте и объемах выпуска продукции в течение определенного интервала времени. В ходе решения задач этапа эксплуатации ТС МХП формируется календарный план выпуска продукции и график ППР технологического оборудования. При этом необходимо учитывать наличие возмущений, вызванных внешней средой и аварийными выходами из строя технологического оборудования, что приводит к многократному решению задач в течение планируемого периода. Кроме того, необходимо учитывать влияние человеческого фактора **H** на надежность работы системы.

Снижение негативного влияния обслуживающего персонала на надежность производственного процесса возможно, прежде всего, через реализацию непрерывной подготовки специалистов как во время базового обучения, так и при последующем повышении квалификации. Наличие в ИАР информации о надежности оборудования, ремонтных и диагностических характеристиках моделях, деятельности оператора в различных условиях позволяют успешно ставить и решать задачи, возникающие на этапе эксплуатации ТС МХП.

На основании представленных структур информационных потоков жизненного цикла ТС МХП рассмотрим взаимодействие задач прогнозирования и обеспечения надежности их функционирования (рис. 4). Создаваемая техническая система находится в постоянном информационном и материальном взаимодействии с окружающей средой. Поэтому исходными данными для разработки проекта ТС МХП являются прогнозируемые значения ассортимента выпускаемой продукции и возможной емкости рынков сбыта, которые в последующем используются для формирования задания по выпуску продукции на конкретный планируемый период. При решении задачи проектирования маркетинговые службы предприятий пытаются сделать долгосрочный прогноз с учетом тенденций развития экономики, смежных отраслей промышленности, развития передовых технологий. Это необходимо для выбора перспективных направлений развития предприятия и получения гарантий того, что выпускаемая продукция будет востребована на рынке, а ее производство будет экономически выгодным.

На основании полученного прогноза и имеющихся технологических регламентов производства продукции заданного ассортимента на этапе проектирования ТС главной задачей является расчет аппаратурного оформления технической системы, заключающийся в определении размеров партий выпускаемых продуктов и расписания циклов работы аппаратов с целью выбора определяющих размеров и числа аппаратов каждой стадии системы [1]. При решении данной задачи формируется структура ТС, а, следовательно, закладывается надежность ее функционирования при последующей эксплуатации. Поэтому при решении задачи выбора аппаратурного оформления необходимо прогнозировать надежность ТС на основании показателей надежности входящего в ее состав ТО, а также стремиться к

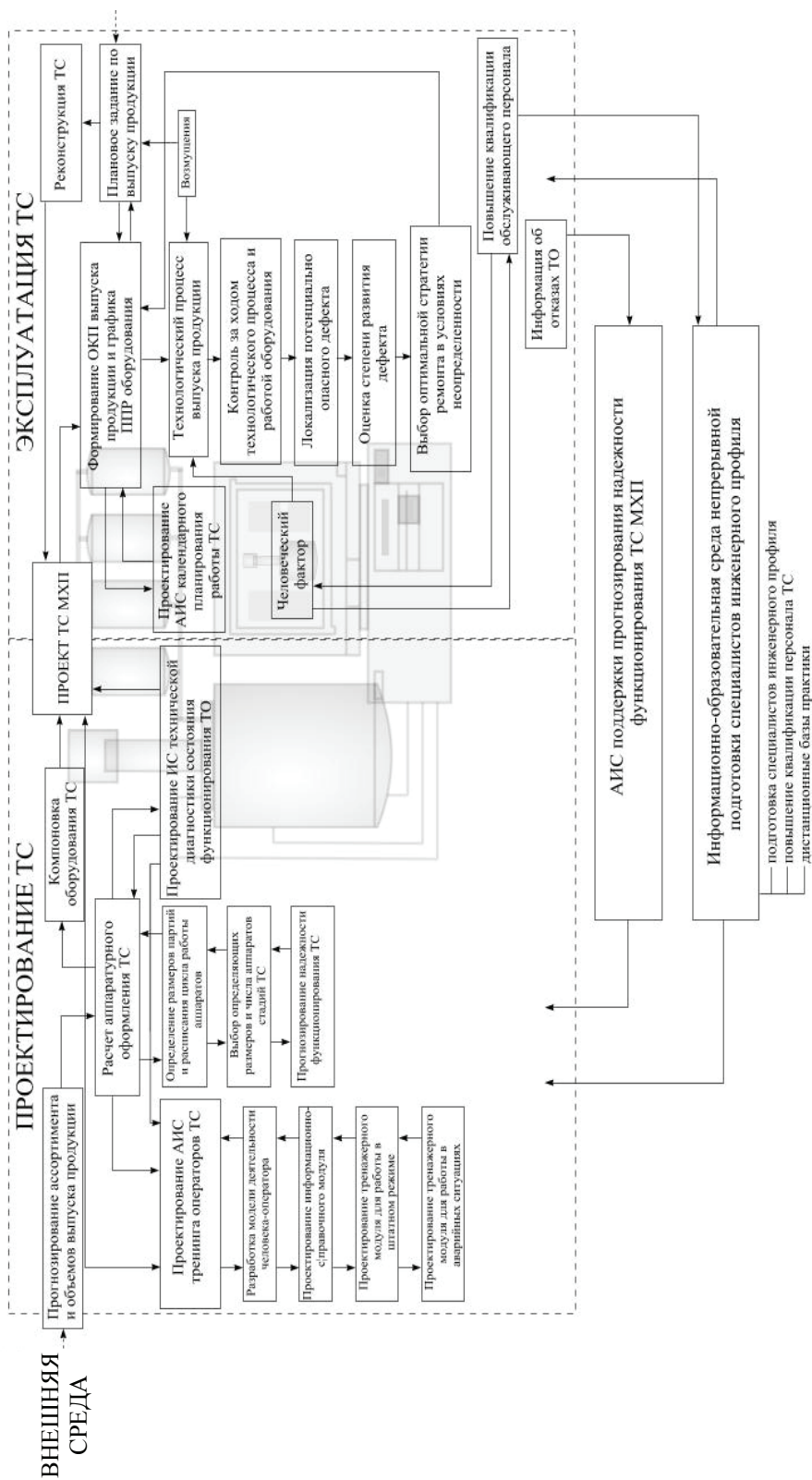


Рис. 4. Задачи прогнозирования и обеспечения надежности функционирования ТС МХП

повышению прогнозируемой эффективности функционирования системы в целом. Одна из главных проблем, которая возникает при этом, – это отсутствие или малая достоверность информации о показателях надежности аппаратов и их элементов при работе в заданных условиях. Для решения этой проблемы предлагается создать автоматизированную информационную систему поддержки прогнозирования надежности функционирования ТС с возможностью сбора и анализа показателей надежности ТО на основе опыта реальной эксплуатации на различных предприятиях как в России, так и за ее пределами. Работа автоматизированных информационных систем (АИС) должна осуществляться в дистанционном режиме, опираясь на имеющиеся технологии и сервисы сети Интернет. В работе данной информационной системы заинтересованы как проектные организации, так и конечные пользователи их продукции – промышленные предприятия, для которых надежная эксплуатация ТС является важнейшим фактором повышения эффективности производства и снижения издержек. Именно они должны стать основными источниками информации о надежности работы ТО и его элементов в различных условиях реальной эксплуатации.

Кроме того, уже на этапе проектирования для успешного диагностирования состояний функционирования ТС и предупреждения появления и развития аварийных ситуаций необходимо предусматривать возможность сбора, хранения и анализа информации по различным показателям, определяющим состояние оборудования и ход выполнения технологического процесса. Поэтому помимо обеспечения необходимой контрольно-измерительной аппаратурой и средствами сбора информации, необходимо предусматривать создание информационной системы технической диагностики состояния ТО. Данная система, опираясь на базы экспертных знаний и моделей диагностирования различных элементов ТО, позволит осуществлять оперативный анализ состояния оборудования и динамики его развития для предупреждения аварийных ситуаций и выбора оптимальной стратегии проведения ремонтных работ при эксплуатации ТС [2].

Для снижения негативного влияния человеческого фактора на надежность работы ТС предлагается уже на этапе проектирования системы комплектовать создаваемые проекты автоматизированными информационными системами тренинга операторов ТС. На основе разработанных моделей деятельности человека-оператора в различных условиях эксплуатации ТС необходимо создавать тренажерные модули, которые позволят оператору приобрести необходимые знания и практические навыки управления системой как в штатных режимах эксплуатации, так и при возникновении аварийных ситуаций [3]. Наличие тренажерного, информационно-справочного модулей и модуля тестирования позволит осуществить не только подготовку оператора, но и проверить уровень полученных теоретических знаний и практических навыков для допуска к работе.

Таким образом, в результате решения задач расчета аппаратурного оформления ТС, компоновки ТО и трассировки трубопроводов формируется проект ТС МХП, основой информационного обеспечения которого является ИАР ТС. Проведенные на этапе проектирования расчеты и прогнозы показателей надежности работы ТС, а также разработанные АИС должны обеспечить заданный уровень надежности системы на этапе ее эксплуатации при выполнении требований проектно-конструкторской документации и квалифицированном обслуживании оборудования.

Поэтому одним из основных факторов обеспечения надежности работы ТО на этапе эксплуатации является контроль состояния оборудования и своевременное проведение ППР. Данная задача решается совместно с задачей оптимального

календарного планирования выпуска продукции, так как последовательность и объем выпуска продуктов определяют значение наработки каждой единицы ТО, а, следовательно, и нормативные значения сроков проведения ППР [4]. Возможность переноса сроков проведения ремонтных работ в границах определенной окрестности, а также ограниченность количества ремонтного персонала позволяют осуществлять поиск оптимального распределения ремонтных работ в условиях существующего календарного плана выпуска продукции.

Кроме того, наличие возмущений в виде непредвиденных выходов из строя ТО требует постоянного контроля над технологическим процессом и работой оборудования. Данные, полученные от АСУ ТП и обработанные информационной системой технической диагностики состояния ТО, дают возможность локализовать потенциально опасный дефект на ранних стадиях, оценить степень опасности, динамику его развития, и выбрать оптимальную стратегию проведения ремонта. Необходимо учитывать, что в связи с нехваткой информации и неполной ее достоверностью, принятие решения осуществляется в условиях неопределенности.

Таким образом, построение календарного плана выпуска продукции с учетом проведения ремонтных работ осуществляется на базе АИС календарного планирования работы ТС МХП. Исходные данные о структуре ТС, маршрутах выпуска продуктов, длительностях операций и т.п. поступают из ИАР ТС. Оперативное состояние ТС оценивается на основе данных, полученных от систем автоматизированного управления технологическим процессом, оперативного управления предприятием и технической диагностики состояния ТО.

Проблему влияния человеческого фактора на надежность ТС в процессе эксплуатации предлагается решать путем организации непрерывной подготовки специалистов инженерного профиля и повышения квалификации в процессе их трудовой деятельности. Создание информационно-образовательной среды, объединяющей потенциал ведущих университетов и научно-исследовательских институтов, современные учебно-методические разработки, уникальное лабораторное оборудование и ресурсы промышленных предприятий, позволит значительно повысить качество подготовки специалистов и преодолеть оторванность высшей школы от реальных промышленных производств [5]. Проектирование информационно-образовательной среды должно опираться на современные информационные и коммуникационные технологии, активное использование возможностей сети Интернет.

Автоматизированная информационная система тренинга операторов ТС позволяет организовать на высоком уровне подготовку, тренинг и тестирование обслуживающего персонала. Кроме того, применение виртуальных тренажеров при подготовке студентов инженерного профиля в рамках дисциплин специализации и производственной практики поможет получить практические навыки работы с промышленными техническими системами, что особенно актуально для пожаро-, взрывоопасных и токсичных производств.

Разработка методологии создания автоматизированных систем проектирования, эксплуатации и реконструкции ТС МХП является одним из основных направлений деятельности научной школы «Теория и методы автоматизированного проектирования производств химического и машиностроительного профиля», созданной в ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» (ТГТУ) под руководством Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, д-ра техн. наук, профессора Евгения Николаевича Малыгина. За последние годы по данной тематике выполнен целый ряд НИР по заказам Министерства образования и науки РФ, ОАО «Пигмент», ОАО «Завод Тамбовполимермаш» и других предприятий г. Тамбова.

Список литературы

1. Карпушкин, С.В. Система выбора аппаратурного оформления многоассортиментных химических производств / С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко, М.Н. Краснянский // Информац. технологии. – 2004. – № 10. – С. 14–19.
2. Малыгин, Е.Н. Обеспечение надежности функционирования многоассортиментных химических производств / Е.Н. Малыгин, М.Н. Краснянский, В.А. Ахмедов // Хим. пром-сть. – 2002. – № 6. – С. 33–39.
3. Карпушкин, С.В. Применение виртуальных тренажеров для обучения студентов химико-технологического профиля и повышения квалификации персонала химических предприятий / С.В. Карпушкин, М.Н. Краснянский, Ю.В. Чаукин // Открытое образование. – 2005. – № 6. – С. 51–54, 96.
4. Малыгин, Е.Н. Календарное планирование работы многоассортиментных производств / Е.Н. Малыгин, Т.А. Фролова, М.Н. Краснянский // Теорет. основы хим. технологии. – 1998. – Т 32, № 5. – С. 568–576.
5. Новые информационные технологии в открытом инженерном образовании / Малыгин Е.Н. [и др.]. – М. : Машиностроение-1, 2003. – 124 с.

Methodology of Forecasting and Maintenance of Technical Systems Reliability for Multi-Assortment Chemical Production

M.N. Krasnyanskiy, E.N. Malygin, S.V. Karpushkin

*Department “Automated Designing of Production Equipment”,
TSTU; kras@tambov.ru*

Key words and phrases: information analytical regulations; information systems; multi-assortment chemical production; reliability of functioning; designing of technical systems.

Abstract: The paper studies the approaches to providing reliability of technical systems for multi-assortment production. The notion of information analytical regulation as information basis for the description of the existing system is introduced. The directions for decrease in human factor impact on system reliability are proposed.

Methodologie der Prognostizierung und der Sicherstellung des Funktionierens der technischen Systeme der vielsortimenten chemischen Produktionen

Zusammenfassung: Im Artikel sind die Standpunkte zur Sicherstellung des Funktionierens der technischen Systeme der vielsortimenten Produktionen betrachtet. Es ist den Begriff der informationsanalytischen Geschäftsordnung als die Informationsgrundlage für die Beschreibung des funktionierenden Systems eingeführt. Es sind die Richtungen der Senkung des Einflusses des menschlichen Faktors auf die Sicherheit des Systemfunktionierens vorgeschlagen.

Méthodologie de la prévision et de l'assurance de la sécurité du fonctionnement des systèmes techniques des productions chimiques à plusieurs assortiments

Résumé: Dans cet ouvrage sont examinées les approches vers l'assurance de la sécurité du fonctionnement des systèmes techniques des productions à plusieurs assortiments. Est introduite la notion du règlement informatique et analytique comme fondement informatique pour la description du système qui fonctionne. Sont proposées les orientations de la diminution de l'influence du facteur humain sur la sécurité du fonctionnement du système.

Авторы: *Краснянский Михаил Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; *Малыгин Евгений Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химическая инженерия», ГОУ ВПО «ТГТУ».
