

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В.А. Назин (ЗАО "Хоневелл")

Приводится описание автоматизированных систем обучения (АСО) оперативного персонала технологических установок. АСО основаны на базах знаний о причинно-следственных связях в процессе и принадлежат к классу интеллектуализированных систем, поскольку учитывают когнитивную структуру операторской деятельности. Анализируются преимущества нового подхода к обучению и факторов успешного внедрения АСО.

Практики, отвечающие за профессиональную подготовку оперативного персонала установок химико-технологических производств, скорее всего следующим образом сформулируют основные проблемы, тормозящие качественное обучение работников.

1. *Дефицит средств обучения, основанных на реальной информации о ТП.*

Предлагаемые разработчиками системы оперируют декларативными знаниями и часто используют типовые представления о ТП. Однако операторам необходимы процедурные знания и, наряду с пониманием общих принципов технологии, специфика конкретных установок.

В последние десятилетия на предприятиях все более широко представлены компьютерные тренажеры для обучения операторов, ориентированные на решение именно этих задач. Однако тренажерные системы все еще достаточно дороги и, несмотря на бурный рост их числа, еще не скоро достигнут всех производств, персонал которых нуждается в профессиональной подготовке.

Кроме того, (и практики чувствуют это лучше других) без предварительной (так называемой "предтренажерной") подготовки использование тренажеров малоэффективно.

2. *Дефицит средств обучения, учитывающих структуру необходимых операторам навыков и сохраняющих при этом мотивацию реальной деятельности.*

Операторам нужно не отстраненное понимание ТП, а умение обнаруживать отклонения процесса от нормы, диагностировать их причины, планировать и осуществлять корректирующие действия.

Для эффективного ведения процесса оператору важно уметь быстро и уверенно оперировать причинно-следственными связями между разнообразными изменениями обстановки (отказами) и отклонениями наблюдаемого состояния ТП от нормы (симптомами). Выработка у персонала такого умения — очень непростая задача, требующая специальных методик обучения. Начальник цеха одного из крупнейших российских предприятий поделился с автором своим мнением на этот счет: "Оператора очень сложно заставить думать".

Кроме того, чтобы обучение было продуктивным, в него необходимо внести мотивационные элементы, поддерживающие интерес обучаемых и ориентирующие их на эффективное решение проблем.

3. *Отсутствие средств накопления и актуализации данных о нештатных, предаварийных и аварийных ситуациях.*

"Страшный" сон специалистов по промышленной безопасности — повторение однажды случившейся аварии, поскольку в их распоряжении нет эффективных инструментов, которые позволили бы удержать в памяти работников симптомы и способы устранения последствий нарушений.

Вот мнение только одного из признанных специалистов в этой области: "Несмотря на то, что было опубликовано множество книг и статей о безопасности ведения ТП, аварии на предприятиях продолжают возникать, и операторы ТП продолжают совершать те же ошибки. Главная причина этого состоит в том, что у компаний нет механизма передачи накопленных знаний следующему поколению работников. Новым работникам приходится набираться опыта, совершая те же ошибки, что совершались ранее" [1].

Даже в современных компьютерных тренажерах разрешить эту проблему непросто из-за недостатка соответствующих методик обучения. В результате вероятность "наступить на те же грабли" очень высока.

Что же можно предпринять, чтобы, по крайней мере, смягчить отмеченные выше дефициты и поднять методы подготовки персонала на качественно иной уровень? Рассмотрим подход к решению этой задачи, используемый ЗАО "Хоневелл".

Линейка автоматизированных систем обучения

ЗАО "Хоневелл" предлагает три автоматизированные системы обучения (АСО): предназначенные для выработки у операторов базовых навыков управления ТП (система АФОН), умения определять причины нарушения хода ТП (система ДИАГНОСТ) и действовать согласно Планам локализации и ликвидации аварийных ситуаций (система ПЛАС+).

Общие принципы, на которых основаны АСО:

- используют реальные знания о конкретных ТП (базы данных и знаний);
- выполняются на основе регламентных данных о ТП, могут пополняться знаниями экспертов и результатами моделирования;
- легко расширяются и модифицируются конечным пользователем;
- обеспечивают два режима — тренировку и экзамен;
- не допускают привыкания к заданиям за счет случайного "подмешивания" случайных элементов задачи;
- обеспечивают обратную связь в обучении (поддерживаются оценка действий обучаемого, протоколы экзаменов, базы данных обучаемых);

- поддерживают сетевой режим обучения, позволяющий инструкторам эффективно работать с несколькими обучаемыми;

- имеют простой интерфейс, доступный начинающему пользователю ПК.

Обучение базовым навыкам управления (АСО АФОН)

АСО АФОН (Автоматизированное Формирование Операторских Навыков) представляет собой компьютерную систему обучения двум базовым операторским навыкам — прогнозированию последствий отказов и поиску причин нарушения режима. При входе в систему обучаемый должен выбрать свое имя в имеющемся перечне или зарегистрироваться, если он использует АФОН впервые. Затем нужно выбрать технологическую установку (если их несколько), блок установки, режим обучения (тренировка или экзамен) и одну из двух вышеупомянутых методик.

На рис. 1 представлен основной кадр АСО АФОН в режиме тренировки по методике "Что произойдет, если...". В ней система генерирует отказ (случайным образом из всех отказов выбранного блока), сообщает его обучаемому и отображает перечень некоторых параметров ТП (расход, температура, давление, уровень и т.п.).

Для каждого параметра Обучаемый должен указать один из пяти вариантов поведения ("сильно уменьшился", "уменьшился", "не изменился", "увеличился" или "сильно увеличился") в предположении, что имел место заданный отказ (на рис. 1 видно, например, как выбранные обучаемым значения отклонений параметров закрасились черным). В качестве подсказки обучаемый может обратиться к технологической схеме блока и/или текстовому описанию процесса. Соответствующие кнопки расположены в нижней части кадра. После того, как обучаемый составит свой вариант ответа и нажмет на кнопку "Готово", АСО АФОН покажет правильный ответ и выдаст ему оценку.

В методике "Генерация возможных причин нарушения режима" ситуация обучения как бы переворачивается. Система выбирает один или несколько симптомов, а обучаемый должен указать в перечне отказов те, которые приводят к указанному набору симптомов.

В ситуации, показанной на рис. 2, зафиксировано два симптома: уровень бензина в емкости Е-3 — "уменьшился" и расход бензина из Е-3 в Е-6 — "уменьшился"; обучаемый пометил черным квадратом один из отказов,

который по его мнению может привести к одновременному наступлению обоих симптомов.

В дополнение к этому в режиме экзамена инструктор заранее задает число экзаменационных задач, а все действия обучаемого и оценки системы заносятся в протокол, который впоследствии можно просмотреть, распечатать или экспортировать в текстовый файл.

Система оценивания действий обучаемого устроена очень просто. В первой методике каждый указанный обучаемым симптом в зависимости от его правильности оценивается по пятибалльной шкале. Среднее этих оценок дает общую оценку за упражнение. Во второй методике оценка построена на суммировании штрафов за пропущенные и за ошибочно выбранные отказы. Инструктор имеет доступ к настройкам системы оценивания и при необходимости может внести в нее изменения.

Конфигурирование АСО АФОН производится с помощью специального модуля и доступно конечному пользователю. Для введения нового отказа достаточно определить его симптомы, то есть значения связанных с ним технологических параметров, выраженных в вышеупомянутой качественной шкале. Источником этой базы знаний могут быть теоретические представления о ТП, регламентная документация, опыт эксперта-пользователя (в том числе известные ему симптомы нарушений в аналогичных ТП), а также результаты моделирования работы процесса. В этой связи подчеркнем особую эффективность использования АФОН (как и всей линейки АСО) вместе с компьютерными тренажерами для обучения операторов.

Конфигурирование АСО АФОН производится с помощью специального модуля и доступно конечному пользователю. Для введения нового отказа достаточно определить его симптомы, то есть значения связанных с ним технологических параметров, выраженных в вышеупомянутой качественной шкале. Источником этой базы знаний могут быть теоретические представления о ТП, регламентная документация, опыт эксперта-пользователя (в том числе известные ему симптомы нарушений в аналогичных ТП), а также результаты моделирования работы процесса. В этой связи подчеркнем особую эффективность использования АФОН (как и всей линейки АСО) вместе с компьютерными тренажерами для обучения операторов.

Обучение диагностике (АСО ДИАГНОСТ) [2]

В АСО АФОН обучение построено на "статических" заданиях по принципу "задача -> ответ обучаемого -> правильный ответ -> оценка". В АСО ДИАГНОСТ с

обучаемым ведется некоторая пошаговая "игра", определенным образом имитирующая реальную диагностическую деятельность оператора. Игра реализуется на заранее определенном подмножестве отказов и параметров процесса. Для каждого блока технологической установки инструктор может сформировать сколько угодно много таких игр.

На основном кадре АСО ДИАГНОСТ (рис. 3) представлены перечни отказов и параметров, составляющих единичную игру.

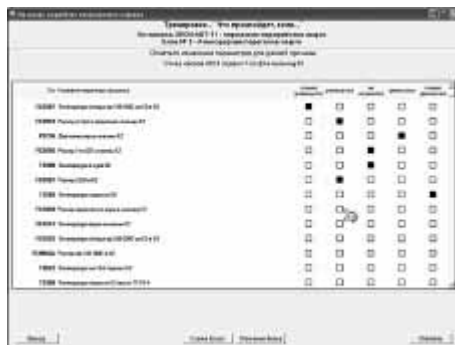


Рис. 1. Рабочий кадр АСО АФОН. Методика "Что произойдет, если..."



Рис. 2. Рабочий кадр АСО АФОН. Методика "Генерация возможных причин нарушения режима"



Рис. 3. Рабочий кадр АСО ДИАГНОСТ

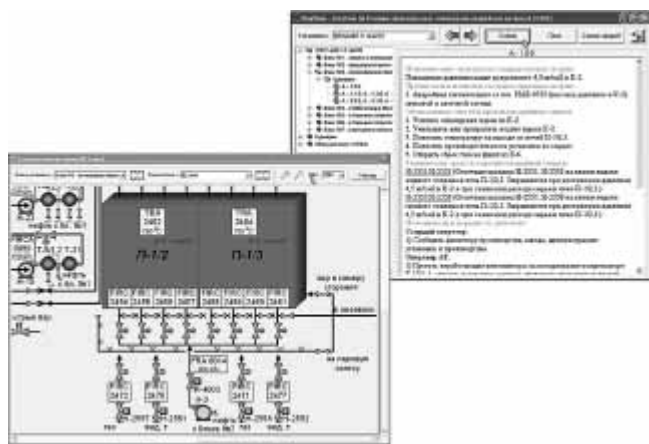


Рис. 4. Рабочий кадр подсистемы PlasView и окно просмотра схем

В начале каждого розыгрыша (а любую единичную игру можно разыгрывать множество раз) ДИАГНОСТ случайным образом выбирает один из отказов, но не сообщает о своем выборе обучаемому. Последний информируется лишь об одном из симптомов выбранного отказа (на рис. 3, например, — это увеличение ТС0274 температуры верха колонны К-2), причем этот симптом ("первый вброс") также выбирается случайно. Задача обучаемого — определить, какой именно отказ выбран системой.

Обучаемый может совершать два вида действий, каждый из которых "стоит" некоторое число условных единиц времени (временной штраф). Можно выбрать один из отказов (в правом перечне) и проверить, действительно ли он был загадан системой (такое действие стоит "дорого"). Обучаемый также может выбрать один из параметров процесса (в левом перечне) и выяснить его "значение", то есть запросить дополнительную симптоматику (это действие стоит "дешевле"). Задача обучаемого — определить загаданный отказ, получив при этом минимальное число штрафных баллов.

Обучаемый вправе решить, что уже первый вброс объясняется лишь одним отказом из имеющихся в игре. Тогда он выбирает этот отказ, нажимает кнопку "Проверка причины" и, если именно этот отказ и был загадан, розыгрыш заканчивается быстрой победой обучаемого. Однако, если был загадан другой отказ, то обучаемый получает довольно существенный штраф.

Чаще всего, первому вбросу может соответствовать целый ряд отказов. Такая ситуация, например возникла в розыгрыше, изображенном на рис. 3. К повышению температуры верха ректификационной колонны К-2 могут приводить и отказ насоса острого орошения, и прекращение конденсации паров с верха колонны из-за отказа холодильников; наконец, сам датчик температуры может отказать, показывая завышенное значение. На рисунке показано, что обучаемый для удобства пометил эти отказы маркером. Очевидно, что обучаемому "выгоднее" запросить дополнительную симптоматику. Каждый такой запрос дает небольшое прибавление к суммарному штрафу,

но может существенно уменьшить число возможных отказов и таким образом приблизить к решению задачи. На рис. 3 показано, как обучаемый выделил параметр "температура паров из К2 после Т17/1-4" в перечне и приготовился сделать запрос его поведения.

Возникает ключевой вопрос — какой параметр лучше запросить? Множество отказов, непротиворечащих симптоматике, имеющейся на данном шаге игры, будем далее называть неопределенностью. Согласно известной минимаксной стратегии, лучшим запросом будет тот, который при любом возможном исходе ("сильно уменьшился", "уменьшился", и т.д.) лучше остальных снижает неопределенность. Оценка по этой стратегии заложена в системе ДИАГНОСТ, которая может на каждом шаге обучаемого давать комментарий — насколько его запрос уменьшил неопределенность и какие запросы являются лучшими на данной стадии игры. Такая поддержка обеспечивает обратную связь от системы к обучаемому.

Помимо минимаксной стратегии в систему заложена поддержка по стратегии проверки истинности гипотез. Она подразумевает, что обучаемый выбирает некоторый отказ в качестве гипотезы и делает запрос, стремясь ее подтвердить или опровергнуть наискорейшим образом.

После того, как обучаемый указывает правильный отказ, розыгрыш завершается и система сопоставляет набранные штрафные баллы с теми баллами, которые обучаемый набрал бы, действуя оптимально (по разным стратегиям), и вычисляет оценку за проведенный розыгрыш. Отметим, что реальное время, которое обучаемый затрачивает на игру, не влияет на оценку, хотя и протоколируется в режиме экзамена. На той же игре (на том же наборе отказов и параметров) можно проводить другие розыгрыши с другими случайными выбранными отказами и случайными первыми вбросами. Для обучаемого это будут новые задачи, даже если отказы будут повторяться. Таким образом, даже при ограниченном числе отказов (несколько единиц) и параметров (несколько десятков) число оригинальных розыгрышей единичной игры может быть велико, что защищает обучаемого от привыкания.

Действия обучаемого в АСО ДИАГНОСТ содержат в себе основные когнитивные элементы реальной диагностической деятельности, но с одним существенным различием. Дефицит времени в реальной диагностике подменен здесь дефицитом информации в обучении. Однако с точки зрения ограничений, накладываемых на действия оператора, эти дефициты схожи.

В работе оператору всегда доступна любая информация со щита или с консолей распределенной системы управления. Но если возникает отказ, у него есть очень небольшое время, чтобы по имеющимся наблюдениям параметров процесса определить отказ. Известно, что возможности человека удерживать в оперативной памяти и перерабатывать большие объемы информации весьма ограничены, поэтому оператор вынужден выбирать, на какую информацию из всей имеющейся, прежде всего, обратить внимание. При обучении в системе

ДИАГНОСТ оператор не испытывает дефицита времени, но не обладает сразу всей информацией о процессе и должен выбирать, какой ход сделать, чтобы как можно лучше продвинуться к решению задачи. Такая мотивационная основа позволяет удерживать внимание и интерес обучаемого к работе с системой, а также заставляет его искать лучшие решения диагностической задачи.

В основе АСО АФОН и ДИАГНОСТ лежит общая база знаний. Сразу же после введения в базу нового отказа он будет участвовать в упражнениях АСО АФОН и может включаться инструктором в игры АСО ДИАГНОСТ. Таким образом, АСО помогают сохранить в памяти обучаемых информацию о реальных нештатных и аварийных ситуациях, происходивших как на данном, так и на других предприятиях.

Обучение Планам локализации и ликвидации аварийных ситуаций (АСО ПЛАС+)

Каждая потенциально опасная промышленная установка снабжена Планом локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС). Этот документ основывается на сценариях возникновения аварийных ситуаций, поэтапном анализе их развития, на анализе действий производственного персонала и аварийно-спасательных служб по локализации и ликвидации аварийных ситуаций. Сердце ПЛАС — "оперативная часть", в которой дается краткая характеристика опасности объекта (технологической установки и ее отдельных блоков), сценарии аварийных ситуаций с описанием их предпосылок и признаков, способов и средств противоаварийной защиты и требуемых действий персонала.

В соответствии с нормативными предписаниями в цехах, на участках, в отделениях, на установках в каждой оперативной смене на регулярной основе должны проводиться учебно-тренировочные занятия по ПЛАС. Знания ПЛАС периодически проверяются квалификационной (экзаменационной) комиссией предприятия согласно графику перед допуском работников к самостоятельной работе, а также во время учебных тревог и учебно-тренировочных занятий. Однако по общему мнению специалистов, ответственных за подготовку персонала, традиционные методы изучения ПЛАС малоэффективны, поскольку основаны на прямом "заучивании" содержащихся в нем текстов.

Принципиально другой подход использован в АСО ПЛАС+, состоящей из четырех следующих подсистем: PlasView — электронный учебник ПЛАС; PlasTest — модуль обучения и тестирования знаний оперативной части; PlasOption — модуль настройки параметров оценивания знаний; PlasEdit — редактор ПЛАС.

Подсистема PlasView представляет собой электронный учебник по ПЛАС, построенный по гиперссылочному принципу. Он позволяет в удобном, структурированном виде просматривать тексты

ПЛАС (описание установки, процедуры нормального и аварийного останова, характеристики опасности блоков и сценарии аварийных ситуаций) и относящийся к нему иллюстративный материал (технологические схемы, планы размещения оборудования, блок-схемы развития аварий). На рис. 4 представлен пример рабочего кадра подсистемы со сценарием аварийной ситуации и кадром просмотра схем.

Подсистема PlasTest предназначена для самопроверки (в режиме тренировки) и проверки (в режиме экзамена) знаний оперативной части ПЛАС и является основным модулем АСО ПЛАС+. Задача обучаемого — сконструировать предложенный ему сценарий, то есть выбрать признаки аварии, способы защиты, технические средства и требуемые действия из предлагаемых перечней, содержащих как все правильные, так и некоторые неправильные элементы (при этом неверные ответы могут быть элементами других сценариев, а могут специально создаваться с целью затруднить обучаемому задачу выбора.) Иначе говоря, обучаемый должен не заучивать сценарии наизусть, а составлять их. На рис. 5 представлен рабочий кадр подсистемы PlasTest, на котором видно как обучаемый составляет

перечень действий в левой части экрана, выбирая нужные варианты действий для различных исполнителей из перечня в правой части экрана.

После того, как обучаемый подготовил свой вариант ответа по любому из четырех разделов сценария, он нажимает кнопку "Готово", и система показывает правильный ответ, а также указывает на допущенные ошибки — неверные и недостающие элементы. Для

разделов "Способы защиты" и "Порядок действий" важен еще правильный порядок элементов, за нарушение которого обучаемый также штрафуются.

В режиме тренировки Обучаемый самостоятельно выбирает сценарии, возвращается к предыдущим разделам и в любой момент прервать занятие. В режиме экзамена инструктором выбирается установка и технологический блок, а система PlasTest сама случайным образом определяет сценарий. При этом обучаемый не может завершить работу, не сконструировав последовательно все разделы заданного сценария.

PlasOption — модуль настройки параметров оценивания. Подсистема PlasTest выводит итоговую оценку за экзамен на основании общего числа штрафных баллов, полученных экзаменуемым за неверные ответы, за недостающие правильные ответы и за нарушение правильной последовательности способов защиты и действий. С помощью модуля PlasOption можно задавать штрафы за каждый из этих трех "промахов", а также определить итоговую пятибалльную оценку по числу набранных штрафных баллов. В разделе "Исполнители и порядок их действий", как правило,



Рис. 5. Рабочий кадр подсистемы PlasTest

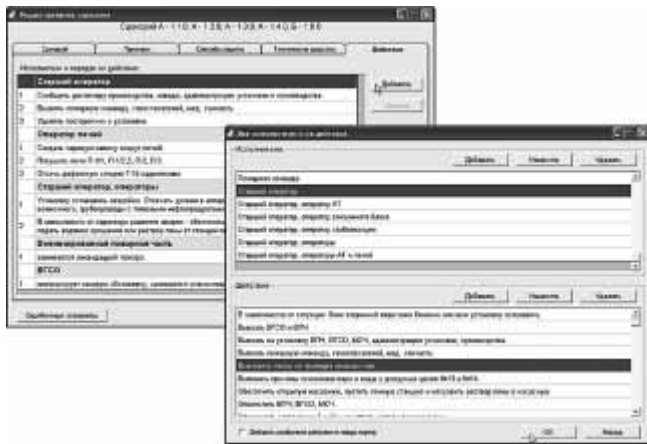


Рис. 6. Кадры "Редактирование сценария" подсистемы PlasEdit (раздел "Действия") и кадр "Все исполнители и их действия" (общая база для всех сценариев)

подробно расписаны действия всего оперативного персонала. Однако не все обучаемые обязаны знать полный перечень действий. В модуле PlasOption предусмотрена возможность определить для каждой должности обучаемых требования к знаниям действий различных исполнителей ПЛАС.

Подсистема PlasEdit – текстовый редактор, предназначенный для создания и редактирования оперативной части ПЛАС. С его помощью можно как "набирать" сценарии заново, так и использовать при вводе уже существующие в электронном виде тексты ПЛАС или их фрагменты. Итоговый документ может быть распечатан в формате, соответствующем требованиям Ростехнадзора. Преимущество системы PlasEdit состоит в том, что она снабжена специальными средствами редактирования, ориентированными специально на ПЛАС и отсутствующими в других текстовых редакторах.

Создание сценариев оперативной части происходит следующим образом. Для каждого из разделов сценария составляется перечень фрагментов текста, соответствующий их содержанию. Однако эти фрагменты вводятся не непосредственно в сценарий, а в отдельную базу элементов, общую для всех сценариев установок. В сценарии же вводятся ссылки на нужные элементы из указанной базы. На рис. 6 изображен процесс заполнения раздела "Исполнители и порядок их действия" (кадр "Редактирование сценария"). В перечень добавляется еще одно действие для старшего оператора из кадра "Все исполнители и их действия".

Такой подход удобен, по меньшей мере, по двум причинам. Во-первых, поскольку часто в разных сценариях элементы повторяются, то их текст не нужно вводить заново, а достаточно выбрать из общей базы. Во-вторых, если возникает необходимость изменить какой-либо элемент (например, если в текст закралась опечатка), нет нужды редактировать его в каждом сценарии, где он присутствует, а достаточно изменить текст в общей базе.

Практический опыт использования АСО

За последние несколько лет АСО нашли достаточно широкое распространение. В составе тренажерных комплексов или отдельно системы установлены уже на 16 крупных технологических площадках российского нефтехимического комплекса и за рубежом. География внедрений от г. Бургаса (Болгария) до г. Комсомольска-на-Амуре.

Столь же широко и разнообразие ТП, для которых созданы и внедрены АСО. Это практически все установки нефтеперерабатывающего производства: первичная переработки нефти, гидроочистка, каталитический риформинг, каталитический крекинг, висбрекинг, масляные процессы. Имеется также опыт разработки систем для нефтехимии.

Существует два принципиальных подхода к реализации проекта АСО. В первом все работы "под ключ" выполняет производитель. Преимущества здесь в использовании наработанных приемов и технических средств конфигурирования систем. Однако поскольку источником информации всех АСО по большей части (а в случае ПЛАС+ – полностью) является предприятие-заказчик, такой подход может быть оправдан только организационно (если у предприятия недостаточно собственного ресурса). К тому же при любом подходе при конфигурировании АСО производитель утверждает базу знаний, то есть является ключевым участником проекта.

Не случайно в этой связи, что в большинстве проектов только первая часть работ (для одной или двух установок) выполняется производителем, а оставшаяся – самим заказчиком. Удобство и простота инженерного интерфейса АСО позволяет конечному пользователю самостоятельно выполнять такие работы и сопровождать системы после их внедрения.

Опыт показывает, что ключевыми условиями успешного внедрения и эффективного использования АСО являются качество баз знаний и подготовка инструкторов-преподавателей. Если второе – ответственность производителя (курс обучения инструктированию и сопровождению систем является обязательной частью всех АСО-проектов), то первое – результат совместной работы производителя и заказчика. ЗАО "Хоневелл" располагает проверенной методикой разработки, гарантирующей высокое качество систем.

В заключение отметим патентную чистоту АСО: все предлагаемые системы являются эксклюзивными продуктами, защищенными авторским правом.

Список литературы

1. *Nimto I.* It's Time to Consider Human Factors in Alarm // Chemical Engineering Progress, November 2002.
2. *Дозорцев В.М.* ДИАГНОСТ: автоматизированная система тренинга эффективных стратегий принятия операторских решений // Автоматизация в промышленности. 2003. №7.

Назин Владимир Александрович – старший инженер отдела систем оптимизации ТП и компьютерного обучения подразделения ЗАО "Хоневелл". Контактный телефон (495) 334-87-71.