

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА ОПЕРАТОРА
КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ В СООТВЕТСТВИИ С
ПРИНЦИПОМ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ****Ан.А. Стопакевич¹, А.А. Стопакевич²**¹Одесская национальная академия связи,
ул. Кузнечная, 14, Одесса, 65029, Украина; e-mail: stopakevich@gmail.com²Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: stopakevich@opu.ua

Важной проблемой, определяющей безопасность функционирования современного автоматизированного производства на основе компьютерно-интегрированных систем управления технологическими установками, является учет психологических аспектов восприятия компьютерных интерфейсов человеком-оператором автоматизированного технологического процесса. Большинство разработанных компьютерных интерфейсов для операторов созданы в соответствии с идеей предоставления максимального количества информации о технологическом процессе. Но, эта идея противоречит основам инженерной психологии, которая акцентирует внимание разработчиков на особенности восприятия информации человеком. С одной стороны, в ситуации стресса, связанного с аварийностью и опасностью производства, оператор не способен проанализировать большой объем информации для принятия верного решения. С другой стороны, длительное наблюдение за мало изменяющимся набором данных о состоянии технологического процесса приводит к деконцентрации внимания оператора, что, в свою очередь, увеличивает вероятность неверного решения в нештатной, аварийной или предаварийной ситуации. Для борьбы с этими явлениями предлагается следовать принципам ситуационной осведомленности при создании компьютерных интерфейсов. Концепция использования указанного принципа при создании ряда интерфейсов компьютерно-интегрированной системы управления ректификационной установкой производства спирта разработана в статье. На основе результатов моделирования необходимой деятельности оператора в аварийных ситуациях разработан многоуровневый графический интерфейс оператора ректификационной установки, который отвечает не только принципам ситуационной осведомленности, но и современным требованиям в области эргономики компьютерных интерфейсов, что позволяет его реализовать в любой SCADA-системе, как с поддержкой сенсорного экрана, так и без такой поддержки.

Ключевые слова: Ситуационная осведомленность, человеко-машинный интерфейс, безопасность технологического процесса.

Введение

Имеющиеся методики и стандарты, регламентирующие различные аспекты разработки интерфейсов компьютерно-интегрированных систем управления (КИСУ) технологическими процессами, в значительной мере устарели не только ввиду значительного прогресса в области возможностей технических средств отображения информации, но и в виду введенных в сферу профессионального рассмотрения современных концепций проблемно-ориентированного подхода к разработке человеко-машинного интерфейса [1] и ситуационной осведомленности оператора [2]. Именно использование этих концепций позволяет качественно и безаварийно вести современные технологические процессы. В то же время, анализ внедренных в системы управления, например, ректификационными установками спиртового производства,

человеко-машинных интерфейсов показывает [3], что их разработка ведется традиционно, без научного обоснования, и, соответственно, получено профессионально неудовлетворительное качество интерфейсов, хотя для непрофессионалов такие интерфейсы выглядят привлекательными.

В качестве прототипа для развития предложенного подхода к решению задачи выбран международный стандарт ANSI/ISA-101.01-2015. На основе адаптированного применения рекомендаций этого стандарта разработан пример современного интерфейса оператора КИСУ ректификационной установки спиртового производства. Отметим, что корректно разработанный интерфейс влечет за собой повышение эксплуатационных характеристик системы управления, отражается на производительности и качестве продукции, влияет на снижение ошибок оператора в ходе управления технологическим процессом и помогает не допустить аварии, особенно на таком взрыво - пожароопасном производстве, как спиртовое.

Упрощенная структурная схема типовой трехколонной установки косвенного действия приведена на рисунке 1. С деталями технологического процесса и его автоматизации можно ознакомиться в работах [4, 8].

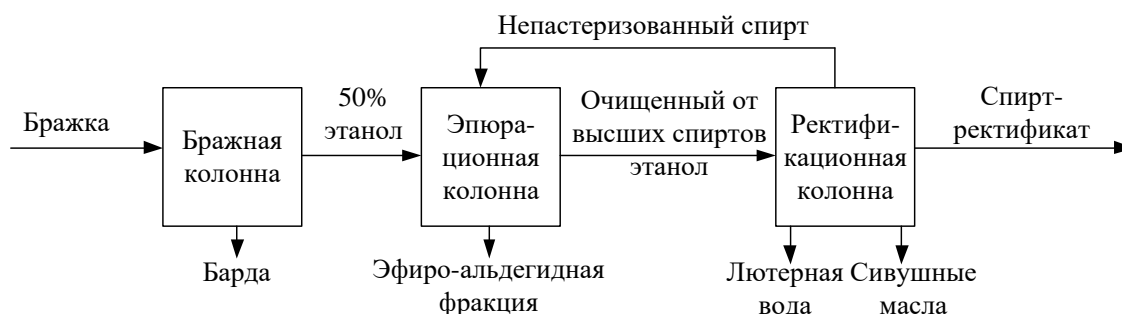


Рис. 1. Принципиальная схема технологической установки

Установка производит спирт-ректификат, соответствующий требованиям ДСТУ по концентрации и составу. В каждую тарельчатую колонну подается пар и происходит тепло- и массообменный процесс. Верхний продукт каждой колонны охлаждается водой.

Основными функциями оператора КИСУ установки являются:

- ведение технологического процесса в соответствии с инструкциями;
- предупреждение и устранение отклонения процесса от заданного режима;
- анализ факторов, влияющих на ход процесса и качество продукции;
- регулировка подачи и ведение учета расходов пара и воды;
- регулировка производительности установки с учетом норм расхода сырья;
- осуществление пуска, вывода установки на режим, остановки установки;
- переключение работающего оборудования на резервное при необходимости;
- контроль состояния оборудования, выявление неполадок и аварий.

Во время работы оператор подвержен ряду отвлекающих факторов. Такими факторами, например, являются посторонняя речь, шумы на производстве, температура и т.п. Оператор может вовремя не заметить аварийную ситуацию потому, что довольно длительное время на его мониторе не изменялась картина. Это приводит к своего рода «торможению» реакции на изменение.

Основная часть

Задачей работы является создание комплекса проблемно-ориентированных интерфейсов оператора КИСУ по модели ситуационной осведомленности Эндсли [2, 5].

Ситуационная осведомленность достигается тогда, когда оператор способен с помощью интерфейса без дополнительных операций оценить прошлое, текущее и будущее (хотя-бы методом экстраполяции) состояние процесса и выполнить предусмотренные операции.

Используя существующие рекомендации, представленные в стандартах ISA 101, ISO 9241, ISO 13407, можно сформулировать следующие принципы построения интерфейсов:

- использование как можно меньшей цветовой палитры;
- цвет должен нести в себе смысловую нагрузку;
- не использовать цветовые градиенты;
- детерминированность и унификация индикации типовых элементов;
- отображение небольшого количества параметров, или их группировка;
- отображение допустимых границ отклонения параметров;
- иерархическая организация экранов.

Критерием эффективности разработки интерфейса является достижение максимальной ситуационной осведомленности оператора [2,5] при наличии функциональных возможностей воздействия на ход технологического процесса в широком спектре предполагаемых ситуаций.

Исходя из анализа инструкции по ведению процесса и моделирования действий оператора сформулируем требования к содержимому экранов каждого уровня (L1, L2, L3) и список задач, которые должен выполнять оператор. Результаты анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Иерархия экранов оператора установки

Тип	Содержимое	Задача
L1 Обзорный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основные показатели производства 2. Объем произведенного спирта ректификата за фиксированные временные промежутки. 3. Состояние основных показателей энергоэффективности. 4. Состояние основных параметров ТП 5. Состояние регуляторов. 6. Тренды производительности установки и концентрации спирта-ректификата. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценить эффективность проведения ТП. 2. Оценить соответствие основных параметров регламенту. 3. Оценить и спрогнозировать динамику производства.
L2 Основной	<ol style="list-style-type: none"> 1. Условное обозначение установки. 2. Температуры и давления в колоннах. 3. Расходы пара, бражки. 4. Тренды концентрации и производительности по этанолу. 5. Температуры воды и пара. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка и прогноз параметров агрегатов. 2. Обобщенный анализ качества регулирования 3. Локализация места превышения параметров.
L3 Детальный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Задания. 2. Параметры регуляторов. 3. Переключатель режима работы. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изменение задания. 2. Переключение режимов работы. 3. Ручное изменение управлений.

Рассмотрим, насколько недавно разработанные интерфейсы, удовлетворяют перечисленным выше принципам на примере обзорного экрана установки.

Как можно увидеть, проанализировав экраны на рисунках 2–3, при разработке х интерфейсов был допущен ряд ошибок:

- на экранах используется избыточное количество цветов, использованы объемные изображения аппаратов, а, следовательно, присутствуют цветовые градиенты;
- цвета не несут смысловой нагрузки, а служат только в качестве декорации;
- вентили, приводы и другие исполнительные механизмы не имеют единой системы индикации;
- отсутствуют аналоговые шкалы или полосы с отображением допустимых норм отклонений, что усложняет для оператора прогнозирование протекания технологического процесса;
- при цифровой индикации параметров оператору необходимо постоянно производить математические и логические операции для сравнения показателя с нормальным, который должен быть извлечен из памяти человека, что утомляет оператора, особенно если параметров много.



Рис. 2. Экран SCADA/HMI Proficy iFIX для БРУ

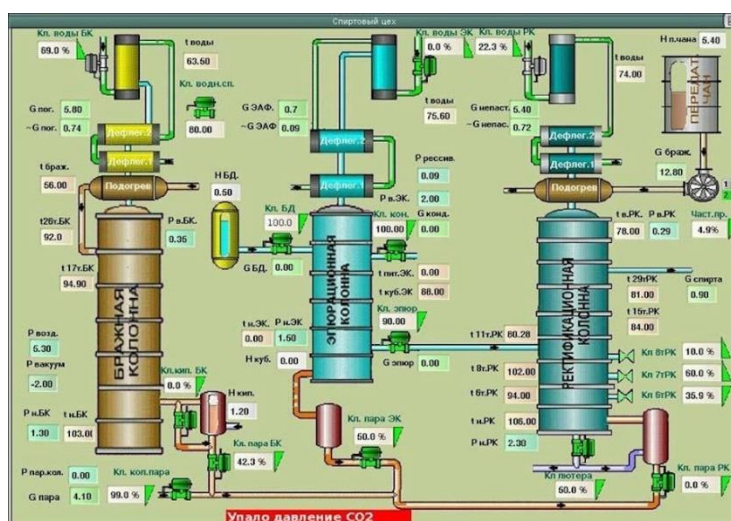


Рис. 3. Экран для ГП «Козловский спиртзавод» [6]

Экран на рисунке 4 лишен ряда недостатков, однако использование объемных фигур по-прежнему усложняет наблюдение за процессом.

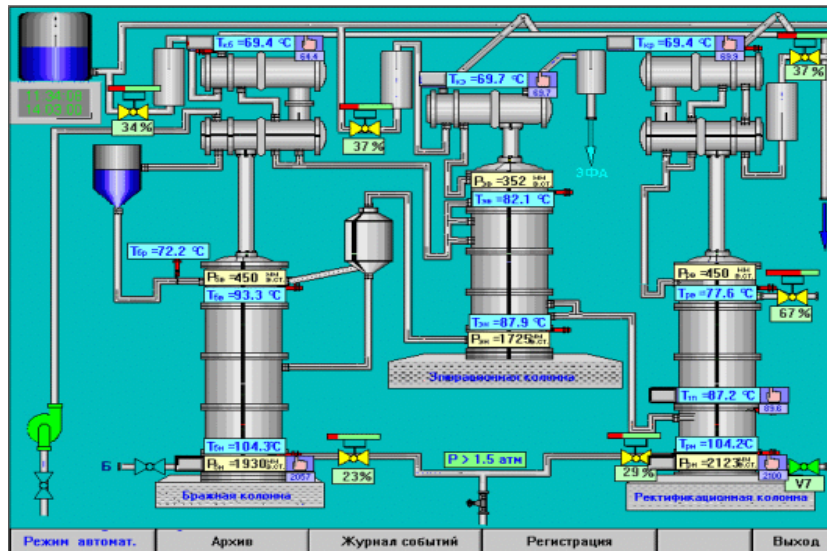


Рис. 4. Экран для спиртового производства ЗАО “РТСофт” [7]

Рассмотренные экраны используют подход, моделирующий размещение приборов на щитах предыдущих поколений АСУТП: рисуется мнемосхема установки и на ней отображаются параметры в цифровом виде. Выбор параметров для отображения является необоснованным, поскольку интерфейс не разрабатывается исходя из предварительного анализа задач оператора, а только из анализа технологического регламента и мнемосхемы. Оператор с помощью цветовой индикации узнает о проблеме уже тогда, когда технологический процесс нарушен. Таким образом, экраны, отображенные на рисунках 2–4, не соответствуют требованиям ситуационной осведомленности.

Согласно ISA 101, все типовые элементы должны быть детерминированы и выдержаны в едином представлении на всех экранах. Исходя из рекомендаций данного стандарта, предложен набор типовых элементов, приведенный на рисунке 5.

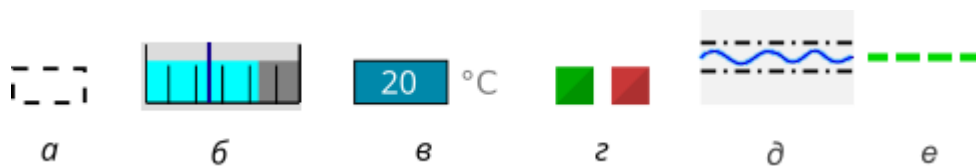


Рис. 5. Типовые элементы интерфейсов: а – группировка; б – аналоговая шкала отклонения; в – цифровое отображение параметра: фон привычный для технолога, единица измерения известна и отображается почти незаметной; г – индикаторы состояния показателя; д – тренд с указанием зон отклонения; е – связь (например, регулятора с вентилем и местом отбора сигнала)

Опираясь на определенный в работе путь решения задачи, были разработаны экраны трех уровней.

Внешний вид экрана первого уровня при технологической ситуации превышения давления в первой колонне изображен на рисунке 6.

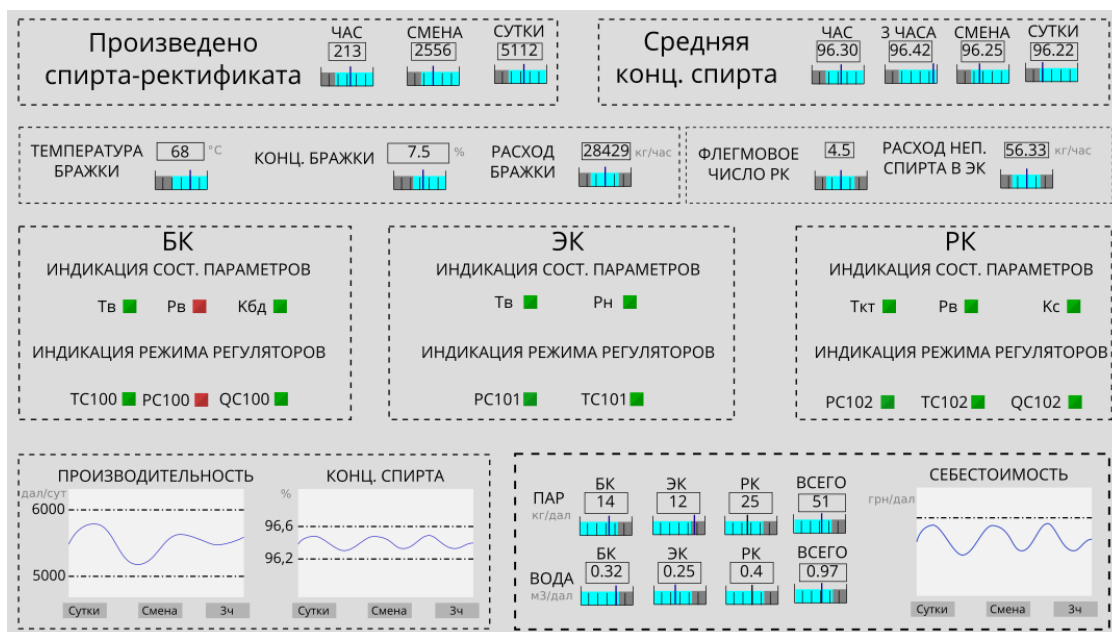


Рис. 6. Экран первого уровня

На экране сразу видны основные показатели производства и их динамика в заданный временной промежуток. Также они приведены в виде трендов. Показатели сырья важны, поскольку их долговременное отклонение приведет к нарушению хода ТП [4,9]. Флегмовое число и расход непастеризованного спирта – прямые показатели эффективности процессов разделения. От расхода пара и воды зависит себестоимость производства, которую целесообразно отображать в виде тренда. В заданном месте (снизу экрана или на отдельном мониторе) должны отображаться сообщения, связанные с возникновением предаварийных и аварийных ситуаций (на экранах условно не показаны). При появлении сообщения оператор должен его подтвердить и переместить внимание на другие экраны.

Первый экран второго уровня, предназначенный для наблюдения при нормальном ходе процесса, изображен на рисунке 7.

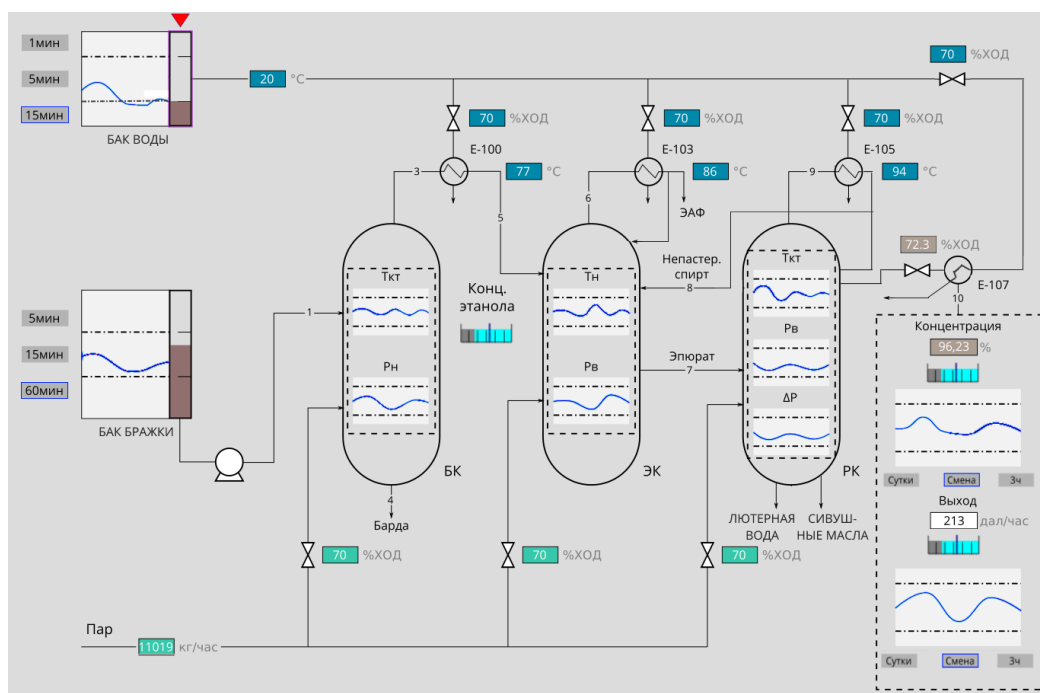


Рис. 7. Основной экран второго уровня

На рисунку показана технологическая ситуация падения уровня воды для охлаждения продуктов колонн в накопительном баке ниже допустимой зоны. Внимание оператора привлекается появляющимся индикатором и сообщением (не показано, появляется снизу экрана). Информации на показанном первичном экране достаточно для нормального наблюдения, но число параметров сведено к минимуму, чтобы не утомлять оператора. Привлечение внимания к нарушению параметров сырья, продукта, работы регуляторов, отказу оборудования и т.п. производится с помощью аварийных сообщений (внизу экрана или на отдельном мониторе) и цветовой сигнализации, привязанной к мнемосхеме (рис. 5г).

На рисунке 8 показан дополнительный экран второго уровня, предназначенный для работы при нестандартных технологических ситуациях. Локализация места нарушения процесса ректификации проводится по двум параметрам: температуре и давлению. Отображение температурного профиля по колоннам, давления верх и низа колонн и основных показателей материального и энергетического баланса установки позволяет локализовать место нарушения. Например, внезапное нарушение температурного профиля при постоянном составе сырья чаще всего говорит о наличии испорченных тарелок; изменение перепада давления – о засорении колонны и т.д. Так, на рисунке показана технологическая ситуация отклонение температурного профиля первой колонны, внимание к которой привлекается предупредительной (желтой) сигнализацией.

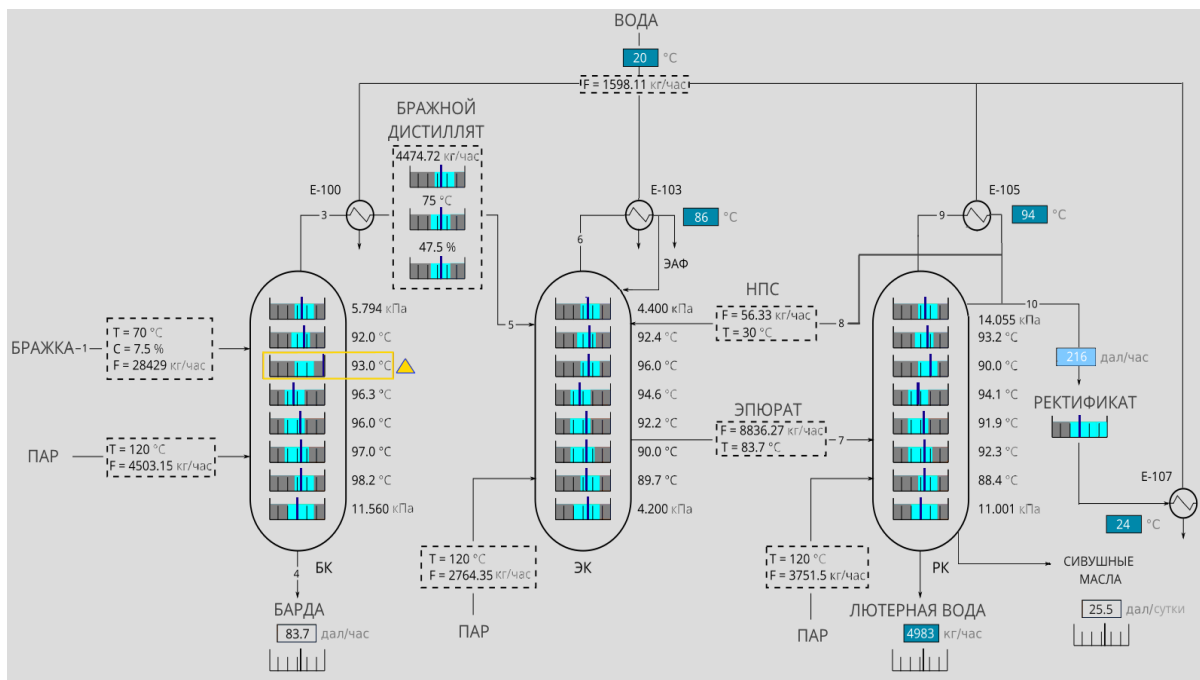


Рис. 8. Дополнительный экран второго уровня

На рисунке 9 показан экран третьего уровня для последней колонны.

Этот экран предназначен для изменения заданий регуляторов (SP) и перевода регуляторов в ручной режим при их ненормальной работе. Ручное управление проводится введением значения процента открытия регулирующего органа (OV) на основании текущего значения управляемой переменной (PV) с помощью стрелок или текстового ввода. В случае текстового ввода и значительного изменения значения OV должно проводиться подтверждение операции с помощью всплывающего диалогового окна. На рисунке отображена технологическая ситуация – регулятор не справился со стабилизацией температуры контрольной тарелки. Оператор отключил регулятор и задал 65% открытия вентиля пара, что вернуло параметр в регламентную зону.

При нарушении работы системы управления ректификационной колонны может произойти захлебывание колонны, потеря спирта с лютерной водой, выход некачественного продукта [6]. Для обеспечения возможности исправить ситуацию после отключения регуляторов для оператора предусмотрена функция открытия и закрытия продуктовых потоков, которые не задействованы при регулировании.

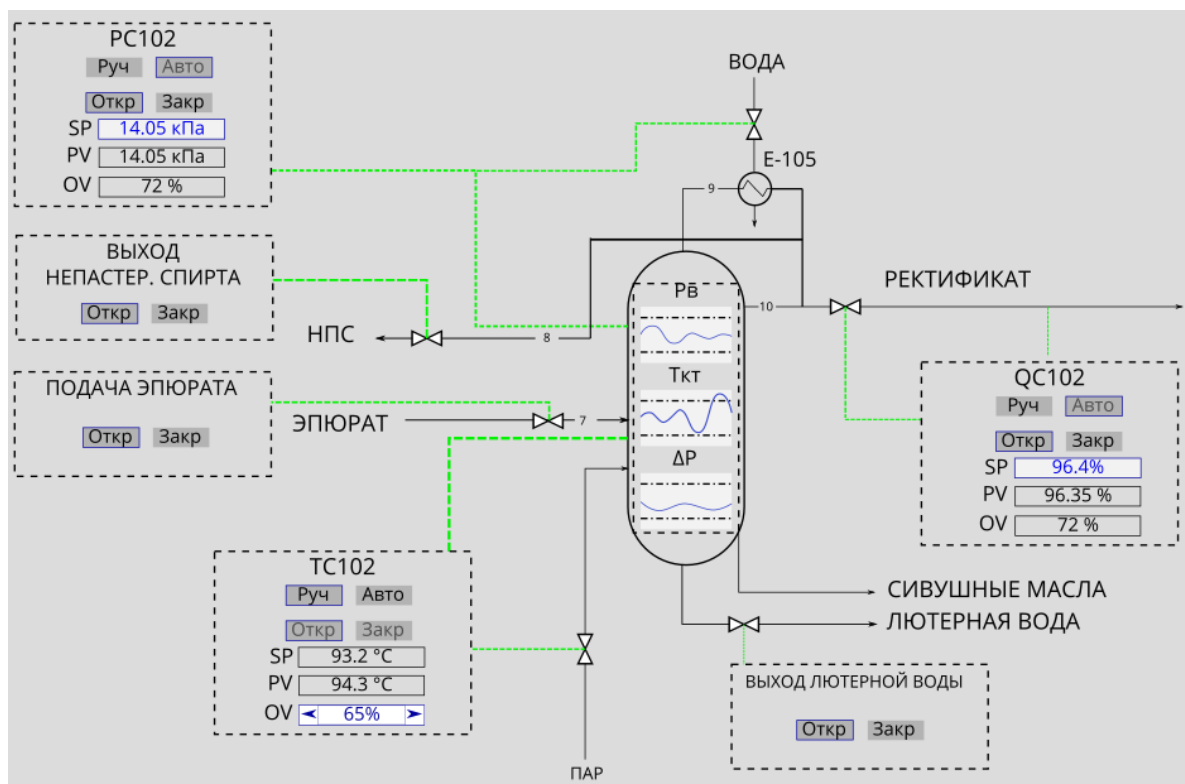


Рис. 9. Экран третьего уровня

Выводы

Разработан подход к созданию интерфейса оператора КИСУ на примере управления ректификационной установкой спиртового производства. Подход основан на использовании концепции ситуационной осведомленности. Разработаны примеры экранов трех уровней человек – машинного интерфейса, которые включают:

- первый уровень, обзорный экран технологической установки;
- второй уровень, первичный экран, который отображает состояние технологического процесса в установке без средств воздействия на ход процесса и предназначен для привлечения внимания оператора к ситуации выхода параметров процесса за регламентные нормы;
 - второй уровень, дополнительный экран, который позволяет точно локализовать проблему, выявленную на первичном экране;
- третий уровень, предназначенный для корректировки хода технологического процесса с помощью изменения заданий регуляторам или ручного управления.

Использование приведенного подхода рекомендуется для разработки современных человеко-машинных интерфейсов в АСУТП различных технологических процессов.

Список літератури

1. Юрчук Л.Ю. Міжнародні нормативні засади людино-машинного інтерфейсу систем управління технологічними процесами. *Summer infocom advanced solutions 2017. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції*, Київ, 2017. С. 66-68.
2. Endsley M. Designing for situation awareness: an approach for user-centered design. USA, NW: CRC Press 2011.
3. Стопакевич А.О. Основи комп'ютерного управління. Одеса: ОНАЗ, 2017. 38 с.
4. Стабников В.Н., Николаев А.П., Мандельштейн М.Л. Ректифікація в пищевой промышленности. Теория процесса, машины, интенсификация. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 232 с.
5. Endsley M.R., Garland D.J. Situation awareness analysis and measurement. Mahwah, NJ: LEA, 2000.
6. АСУ ТП производства спирта для ГП Козловский спиртзавод. URL: www.rts.ua/rus/got/610/0/18/.
7. Кириллов Е.А. Система автоматического управления и регулирования технологическими процессом брагоректификации. *Промышленные контроллеры и АСУ*. 2001. №1. С.17-23.
8. Стопакевич А.А., Тодорцев Ю.К. Анализ современного состояния систем управления брагоректификационной установки спиртового производства. *Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы*. 2009. V.23(2). С. 180-184.
9. Рожнов Е.Д., Каменская Е.П., Обрезкова М.В. Технология отрасли. Производство спирта и ликероводочных изделий. Бийск: Алтайский гос. техн. ун-т, 2013. 162 с.

РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ СТВОРЕННЯ ІНТЕРФЕЙСУ ОПЕРАТОРА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ УСТАНОВКАМИ ВІДПОВІДНО ДО ПРИНЦИПУ СИТУАЦІЙНОЇ ОБІЗНАНОСТІ

А.О. Стопакевич¹, О.А. Стопакевич²

¹Одеська національна академія зв'язку,
вул. Кузнечна, 14, Одеса, 65029, Україна; e-mail: stopakevich@gmail.com

²Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: stopakevich@oru.ua

Важливою проблемою, яка визначає безпеку функціонування сучасного автоматизованого виробництва на основі комп'ютерно-інтегрованих систем управління технологічними установками, є врахування психологічних аспектів сприйняття комп'ютерних інтерфейсів людиною-оператором автоматизованого технологічного процесу. Більшість розроблених комп'ютерних інтерфейсів для операторів створені відповідно до ідеї надання максимальної кількості інформації про технологічний процес. Але, ця ідея суперечить основам інженерної психології, яка акцентує увагу розробників на особливості сприйняття інформації людиною. З одного боку, в ситуації стресу, пов'язаного з аварійністю і небезпекою виробництва, оператор не здатний проаналізувати великий обсяг інформації для прийняття вірного рішення. З іншого боку, тривале спостереження за набором даних про стан технологічного процесу, який мало змінюється, призводить до деконцентрації уваги оператора, що, в свою чергу, збільшує ймовірність неправильного рішення в нештатної, аварійної або передаварійної ситуації. Для боротьби з цими явищами пропонується слідувати принципам ситуаційної обізнаності при створенні комп'ютерних інтерфейсів. Концепція використання зазначеного принципу при створенні ряду інтерфейсів комп'ютерно-інтегрованої системи управління ректифікаційної установкою виробництва спирту розроблена в статті. На основі результатів моделювання необхідної діяльності оператора в аварійних ситуаціях розроблений багаторівневий графічний інтерфейс оператора ректифікаційної установки, який відповідає не тільки принципам ситуаційної обізнаності, а й сучасним вимогам в області ергономіки комп'ютерних інтерфейсів, що дозволяє його реалізувати в будь-якій SCADA-системі, як з підтримкою сенсорного екрану, так і без такої підтримки.

Ключові слова. Ситуаційна обізнаність, людино-машинний інтерфейс, безпека технологічного процесу.

**DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF CREATION OF THE OPERATOR
INTERFACE OF COMPUTER-INTEGRATED CONTROL SYSTEMS OF
TECHNOLOGICAL PLANTS IN ACCORDANCE WITH THE PRINCIPLE OF
SITUATIONAL AWARENESS**

A.O. Stopakevych¹, O.A. Stopakevych²

¹Odessa National Academy of Telecommunications,
14, Kuznechna, Odessa, 65029, Ukraine; e-mail: stopakevich@gmail.com

²Odessa National Polytechnic University,
1, Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: stopakevich@opu.ua

An important problem that determines the safety of the functioning of modern automated plants based on computer-integrated control systems for technological processes is taking into account the psychological aspects of the perception of computer interfaces by a human operator of an automated technological process. Most of the developed computer interfaces for operators are created in accordance with the idea of providing the maximum amount of information about the technological process. But this idea contradicts the foundations of engineering psychology, which focuses the attention of developers on the peculiarities of human perception of information. On the one hand, in a situation of stress associated with accidents and industrial hazards, the operator is not able to analyze a large amount of information to make the right decision. On the other hand, long-term monitoring of a slightly changing set of data on the state of the technological process leads to deconcentration of the operator's attention, which, in turn, increases the probability of a wrong decision in an emergency or pre-emergency situation. To cease these phenomena, it is proposed to follow the principles of situational awareness when creating computer interfaces. The concept of using this principle when creating a number of interfaces of a computer-integrated control system for a rectification plant for alcohol production is developed in the article. Based on the results of simulating the necessary operator activities in emergency situations, a multi-level graphical interface for the operator of the rectification plant has been developed. The interface meets not only the principles of situational awareness, but also modern requirements in the field of ergonomics of computer interfaces, which makes it possible to implement it in any SCADA system, as with support for a sensor screen, and without such support.

Keywords. Situational awareness, human-machine interface, technological process safety.