

УДК 621.24

## ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ

Хафизов Ф.Ш., Шевченко Д.И., Кудрявцев А.А.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа  
e-mail: atp\_mail@inbox.ru*

**Аннотация.** В статье описывается концепция разработки и построения тренажерных комплексов, предназначенных для обучения операторов и диспетчеров транспорта нефти. Рассматривается рабочее места оператора и выполняемые им функции с точки зрения восприятия им информации, таким образом делаются выводы о подходе к системам обучения и представления информации. Выдвинуты требования, которым должен отвечать современный тренажерный комплекс.

**Ключевые слова:** трубопроводный транспорт, обучающие системы, тренажеры, математическая модель, оператор, восприятие информации

Ежегодно на ликвидацию последствий различного рода аварий и катастроф расходуется в нашей стране от 1,5 до 3 % ВВП, а мировой ежегодный ущерб составляет около 150 млрд. долларов. Причем, для предотвращения угроз, необходимо рассматривать не только технологический и информационный аспекты, но и человеческий фактор. Анализ состояния аварийности на опасных производственных объектах вообще показывает, что причины более чем 70 % аварий обусловлены человеческим фактором, причем значительное их число обусловлено отсутствием достаточной квалификации в обслуживании и эксплуатации опасных объектов [1].

Таблица 1. Статистика аварий на опасных производствах

№	ПРИЧИНА АВАРИИ	ПРОЦЕНТ ОТ ОБЩЕГО ЧИСЛА
1	Несовершенство технологий	13 %
2	Неудовлетворительное состояние оборудования, зданий и сооружений	16 %
3	Низкий уровень знаний	11 %
4	Умышленное отключение (маскирование) защит	2 %
5	Нарушение производственной дисциплины	15 %
6	Неэффективность производственного контроля	13 %
7	Неправильная организация работ	13 %
8	Нарушение технологий	17 %

Проблема недостатка квалифицированных кадров усугубляется общей демографической обстановкой. По прогнозу Росстата, сокращение численности населения в трудоспособном возрасте в 2007 - 2025 гг. составит 16,2 млн. человек. При этом уровень общей образовательной подготовки непрерывно снижается.

Средства автоматизации, широко внедряемые в последние годы, позволяют потенциально уменьшить риск возникновения аварий и значительно локализовать последствия нештатных ситуаций. Однако эта техника предъявляет повышенные требования к уровню квалификации персонала, как обслуживающего агрегаты, датчики, контроллеры и средства связи, так и персонала, грамотно использующего всю поступающую на диспетчерский пункт информацию.

Таким образом, наиболее емким по своим резервам и в то же время сложностям стратегическим фактором промышленной и пожарной безопасности нефтегазовой отрасли становится его персонал. Это мнение разделяют многие ведущие специалисты российской и зарубежной нефтегазовой отрасли (см. рис. 1).

27. Выберите, пожалуйста, три наиболее важные проблемы, стоящие сегодня перед компаниями нефтегазового сектора, ведущими деятельность в России:



29. Консолидированная выручка моей компании в мировом масштабе составляет:

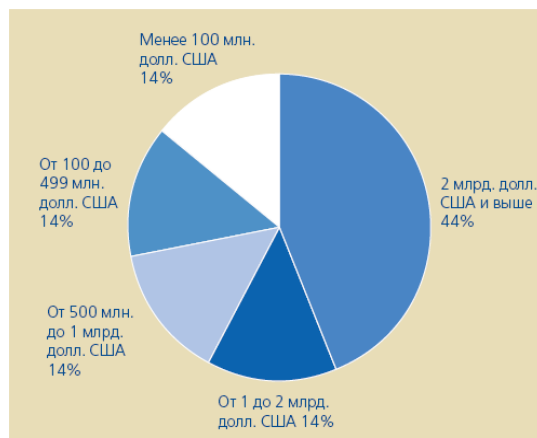


Рис. 1. Результаты опроса ведущих специалистов нефтегазовых компаний, ведущих работу в России, Deloitte, 2008

На создании конкурентоспособного кадрового потенциала ТЭК, безусловно, отразится и тот факт, что истощение месторождений и их последующий вывод из эксплуатации будут снижать доходы федерального бюджета с 23,6 % ВВП в 2007 г. до 12,9 % – в 2023 г., то есть нефтегазовый сектор – главный источник формирования бюджета – в будущем будет расти темпами ниже роста экономики. Так, по оценкам Минфина РФ, реальный прирост ВВП за 15 лет составит 2,7 раза, а для добычи газа – 28 % и нефти – 7 %.

Кроме того, особенности труда в нефтегазовой отрасли, усложняющиеся смещением наиболее перспективных по запасам месторождений далеко в районы

Крайнего Севера и шельфовую зону, а отсюда и дальнейшее возрастание негативной роли экстремальных природно-климатических условий, заметно повлияют на многих потенциальных работников в их желании приложить свой талант и умение в этом сегменте ТЭКа [2].

Следовательно, профессиональное обучение и переподготовка кадров будут производиться при существенном дефиците ресурсов. Одним из возможных решений является интенсификация процесса обучения с использованием всех возможностей современных технологий. Резервы тут огромные.

Исследование современных методов обучения показывает [3], что традиционные подходы к проведению занятий на курсах подготовки и переподготовки малоэффективны по сравнению с практикой. Например, согласно исследованиям Национальной тренинговой лаборатории США, протестировавшей большие группы учащихся спустя 2 недели после занятий разных типов, в памяти фиксируется лишь часть из полученных знаний (см. рис. 2).



Рис. 2. «Пирамида обучения» согласно исследованиям National Training Laboratories, Bethel, Maine

Именно поэтому особую ценность приобретают более опытные специалисты, т.к. у них за плечами годы действительно эффективного обучения на рабочем месте.

Однако у такого подхода к обучению, т.е. у малоэффективной подготовки и эффективной практики на рабочем месте, имеется большой недостаток – невозможность эффективно готовить специалистов к работе в нестандартных, «нештатных» и аварийных ситуациях, т.к. никто не будет рисковать сложным технологическим оборудованием ради обучения. Оборудование стареет, все чаще приводит к штатным ситуациям, а новая техника становится все сложнее и просто опытом ее не освоить. Как показывает практика, данный недостаток можно исправить

путем использования в обучении тренажеров, имитирующих технологические процессы, включая нештатные и аварийные. По этой причине в наши дни во всем мире использование тренажеров при подготовке специалистов опасных производств становится стандартом (например правила ПБ 09-540-03, API OPERATOR QUALIFICATION: PIPELINER TRAINING & ASSESSMENT PROGRAM и т.д.).

Однако увеличение бюджетов на технические средства обучения и внедрение тренажеров не означает само по себе решения проблемы интенсификации процесса обучения. Не всегда понятно, в каком направлении должны быть направлены инвестиции с точки зрения функциональности разрабатываемых обучающих систем. В настоящее время большинством специалистов признан тот факт, что использование тренажеров при обучении специалистов является безусловно полезным. В публикациях приводятся оценки, что шесть - восемь недель компьютерного тренинга эквивалентны одному году обучения на реальном объекте; компьютерные тренажеры могут окупиться за полгода и т.д. Однако строгих методик оценки эффективности на этапе проектирования тренажеров для подготовки специалистов объектов трубопроводного транспорта нефти и целесообразности тех или иных функций тренинга пока нет. Не учитывается и ограниченность ресурсов на тренинги по времени и финансам. Поэтому в области ТЭК разработка дорогостоящих тренажеров оценивается руководителями пока с большой осторожностью.

Современная обучающая система должна иметь выраженную целевую направленность и одновременно гибкость, отвечать всем требованиям учебного процесса и обеспечивать получение обучаемыми конкретных знаний и навыков. Для выполнения данного условия прежде всего необходимо перевести абстрактные общие требования в форму конкретных тренингов. Как один из вариантов решения указанной проблемы, в качестве основы современной обучающей системы предлагается так называемый «Комплексный генератор аварийных событий» (ГАС). Составляющий элемент ГАС – «Генератор тренингов», позволяет сформировать оптимальное множество тренингов, обеспечивающее максимальную эффективность, т.е. максимальное снижение количества и удельного веса ошибок персонала и их влияния на общий уровень промышленной безопасности при ограничении ресурсов на общее время проведения тренингов и финансовые затраты.

Концепция исполнения данного модуля базируется на использовании инструментария так называемого «дерева отказов» [4]. Основными элементами для построения являются внутренние события системы (внезапные отказы, постепенное изменение параметра до сигнального уровня), внешние события (указания на смену режима, внешние воздействия) и действия самого обучаемого (правильные и своевременные или нет).

Построение системы тренингов начинается с построения многоуровневого дерева отказов для каждого типа значимых событий – от смены штатных режимов

до локализации аварийных ситуаций (Этап «Построение множества карт тренингов»). Отметим, что генератор событий реализуется в виде программного модуля, и разработка карт тренинга может производиться как разработчиками, так и преподавателями. На рис. 3 показан общий вид карты тренинга с множеством возможных исходных ситуаций, наступающих событий, весовых коэффициентов и логических элементов. Цветом подчеркивается различный тип событий – независимые от действий обучаемого, закладываемые в алгоритм карты тренинга (например события, срабатывающие в определенное время и в определенном порядке), и зависимые события, итог которых зависит от правильности действий обучаемого в пределах выделенного лимита времени.

Каждой ветке «дерева» (графа) может быть присвоен весовой коэффициент (например, вероятность наступления события), позволяющий распределить оценку общего ущерба (штрафной функции) от возможного наступления итогового события или риска по веткам и, соответственно, по отдельным действиям обучаемого.

После этапа построения карт тренинга проводится этап обучения «Генератора событий». Тестовая группа обучаемых, прошедших предварительное теоретическое обучение, проходит тренинги и итоги этой работы фиксируются на графике (см. рис. 4).

Пусть формализованная цель занятия (тренинга) вида  $X_i$  – это предотвращение происшествий (итоговых событий) вида  $Y_i$  при тренинге группы  $M$  операторов, впоследствии работающих на  $N$  объектах. Соотнесем выбранную интегральную оценку, например, оценку предотвращенного ущерба  $S_i$  от происшествия вида  $Y_i$  со стоимостью обучения  $L_i$ . Оценка предотвращенного ущерба  $S_i$  может быть произведена, например, методом экспертных оценок. Для оценки  $S_i$  средняя величина ущерба от происшествия вида  $Y_i$  умножается на количество объектов  $N$ , а стоимость обучения  $L_i$  представляет собой стоимость «простоя» обучаемого плюс средняя стоимость учебного процесса без учета технических средств плюс стоимость использования учебных технических средств. Оценки  $S_i$  и  $L_i$ , отнесенные ко времени обучения  $T_{cp}$ , превращаются в удельные величины.

Общая эффективность процесса обучения при таком подходе приобретает вполне объективную оценку как разница между удельным предотвращенным ущербом и удельной стоимостью обучения. Эффективность учебного процесса отличается неоднородностью по времени. Генератор событий производит взвешенную оценку длительности курса и удельной оценки ущерба, при которой общая оценка ущерба распределяется (взвешивается) согласно графику вида, показанного на рис. 6, и равномерно снижается вплоть до нуля при максимальной продолжительности курсов, когда самый отстающий обучаемый прекращает допускать ошибки (см. рис. 5). Дальше обучать не имеет смысла и средства расходуются впустую. При этом оптимальная продолжительность курса  $T_{opt}$  может быть оценена как время, при котором удельный ущерб равняется удельной стоимости обучения.



Рис. 3. Карта тренинга

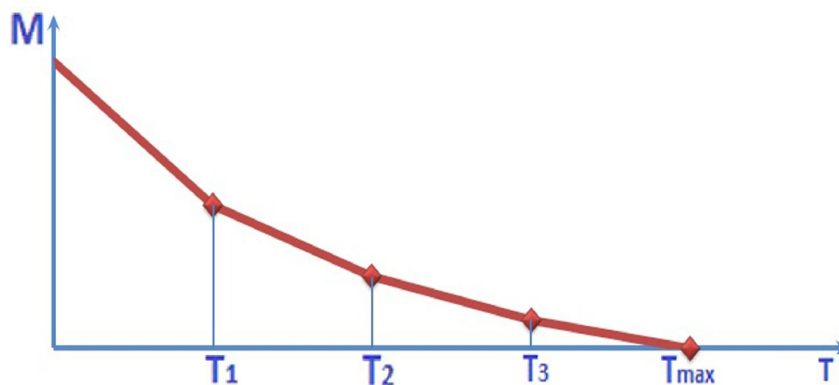


Рис. 4. Среднее количество наступлений итогового события в тренинге вида M

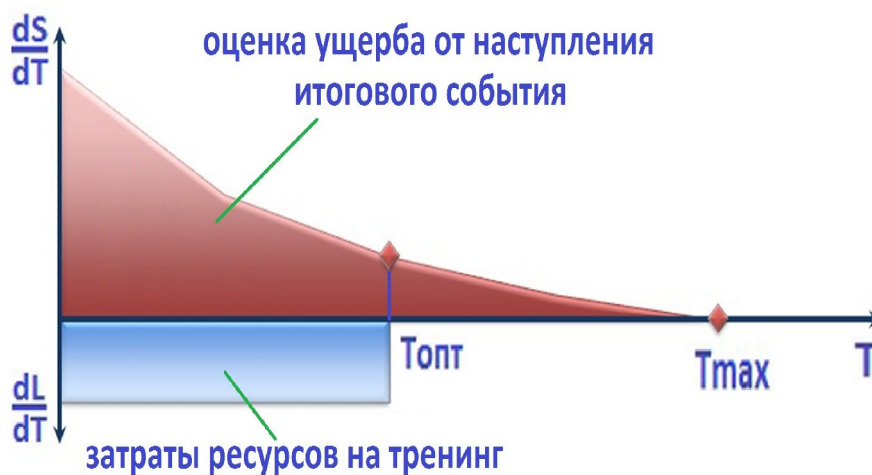


Рис. 5. Модель оценки эффективности занятия

Отметим, что эффективность конкретного тренинга зависит прежде всего от времени  $T_{opt}$ , так как оценка предотвращенного ущерба (как некая функция штрафа) является исходной информацией и коррекции не подлежит, и площадь «красного треугольника» на рис. 7 остается неизменной, при этом значение удельного ущерба  $dS/dT$  при  $T = T_{max}$  равно нулю, а при  $T = 0$  значение  $dS/dT$  фактически является функцией от  $T_{max}$ . Построим методику распределения учебного времени и средств, оптимальную по предложенному критерию эффективности. Построим интервальные оценки для всего множества  $i$  возможных видов занятий, включая теоретические занятия, практику и тренинги, оценивая возможный предотвращенный ущерб и удельную стоимость занятий, по методике, описанной выше. Разбив данные множества на временные отрезки, получаем множество некоторых численных величин. Введем понятие селектора максимума как алгоритма, последовательно на каждом шаге  $j$  отбирающий из всего множества графиков пару  $S_{y\partial i}$  ( $dS/dT$  для точки  $T$ ) и  $L_{y\partial i}$  ( $dL/dT$  для точки  $T$ ) с наибольшей величиной соотношения  $S_{y\partial i}/L_{y\partial i}$ , начиная с максимальной величины. Добавив эту пару к оптимальному множеству за номером  $j$  и изъяв ее из общего множества графиков, повторяем процедуру для шага  $j+1$  вплоть до полного исчерпания множества интегральных оценок.

Получаем оптимальное множество для всех видов занятий  $X_i$  (см. рис. 6). Итоговое время занятий на таком графике, очевидно, является суммой всех  $T_{opt}$  для всех графиков вида, показанного на рис. 5. Теперь приступаем к процедуре ограничения справа этого множества по критерию максимально допустимой длительности учебных курсов  $T$  или по максимально допустимой общей стоимости обучения.

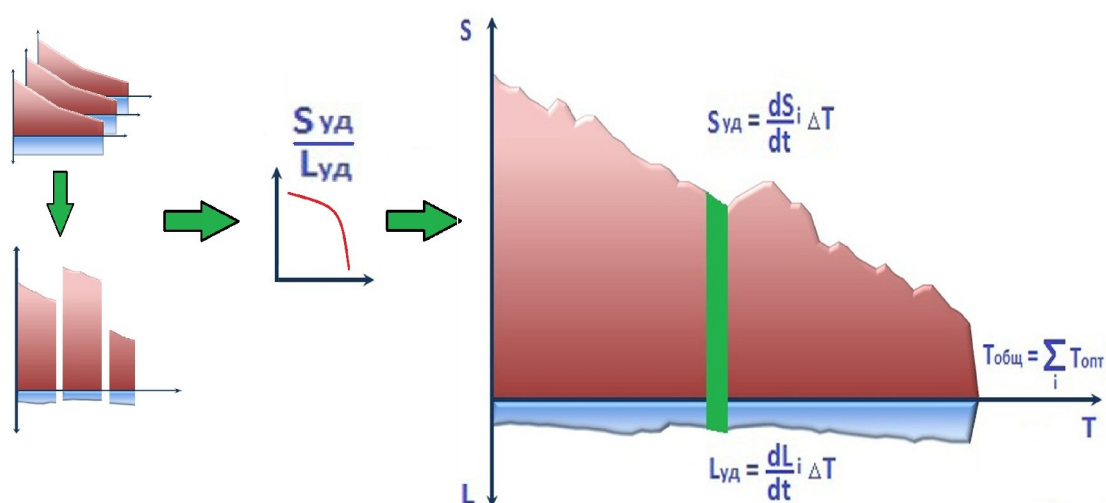


Рис. 6. Оптимальное множество для оценки эффективности занятий

В результате получается подробный план, в котором описано общее количество часов занятий каждого вида  $X_i$ . При построении практических планов, если по какому-то виду занятий количество часов меньше  $T_{min}$ , то необходимо либо убрать эти часы вообще, либо иным образом скорректировать планы за счет допустимого сокращения часов занятий другого вида. Имея такие оптимальные планы, можно оценивать эффективность использования тех или иных технических средств и тренажеров, а также целесообразность их реконструкции и разработки новых средств. Если в совокупности оптимальных планов общее количество часов с использованием этих средств мало, значит средство используется неэффективно. Так же можно самым общим образом оценить необходимость гипотетической реконструкции существующих или разработки новых технических средств обучения.



Рис. 7. Принцип работы ГАС

При практической реализации ГАС были выработаны следующие рекомендации к процессу построения оптимального множества тренингов:

1. Агрегирование видов отказов. Развертывание сценариев «дерева отказов» с детализацией аварийных событий, приведет к увеличению числа тренингов до многих тысяч и времени отработки до тысяч часов, причем при прохождении последнего тренинга обучаемый уже забудет про первый.

2. Концепция «дерева отказов» подразумевает присваивание ветвям некоторой вероятности возникновения событий. Анализ происшествий на объектах трубопроводного транспорта нефти показывает, что разнообразие причин конкретных отказов и редкая, а порой и уникальная цепочка развития событий не позволяет корректно ставить вопрос о расчете априорной вероятности из-за недостаточности статистических данных. Более правильным является придание ветвям некоторых весовых коэффициентов, оценки которых производятся по методу экспертных оценок. Так же метод экспертных оценок следует использовать при априорной оценке ущерба (функции штрафа) от того или иного события.

3. Оценка финансовых ресурсов на проведение тренингов должна учитывать не только стоимость тренажеров, но и стоимостную составляющую самой инфраструктуры процесса обучения (здания, помещения, территория, электро-

энергия, отопление, административные работники, преподавательский состав и т. д), а также стоимость отрыва от производства с сохранением заработной платы групп обучаемых. При этом становится очевидной ошибочность экономии на тренажерах.

4. Оценка времени тренингов должна производиться на основе эмпирических данных по результатам анализа тренингов групп обучаемых.

5. Предварительный профессиональный отбор и тренинг профессионально значимых качеств, важность которых показана в ряде работ [5], являются критически важными мероприятиями, так как прямо влияют на длительность тренинга  $T_{max}$ , стоимость и, следовательно, количество тренингов, которые можно провести в ограниченный отрезок времени. Следовательно, в рамках концепции использования ГАС, это непосредственно влияет на общий уровень промышленной безопасности.

6. Возможности кадрового отбора ограничены проблемой фактического дефицита кадров и их общего уровня образованности. Единственным решением является интенсификация процесса обучения с использованием всех возможностей современных технологий. В рамках предлагаемой концепции экспериментально показано, что серьезным ресурсом сокращения времени тренинга  $T_{max}$ , а следовательно и повышения эффективности всего курса обучения, является степень реализации в реальном тренажерном комплексе элементов концепции интегрированной обучающей системы.

В рамках предлагаемой концепции экспериментально показано, что серьезным ресурсом сокращения времени тренинга  $T_{max}$ , а следовательно и повышения эффективности всего курса обучения, является степень реализации в реальном тренажерном комплексе элементов концепции интегрированной обучающей системы, концепция которой подробно описана в [6].

Рассмотрим примеры реализации комплексной обучающей системы более подробно. Интегрированная обучающая система для подготовки специалистов трубопроводного транспорта нефти, внедренная в Самарском государственном техническом университете, объединяет на базе единой математической модели действующие макеты технологических объектов (в том числе объектов КИПиА, энергетики, пожарных и вспомогательных систем), тренажеры и управляющие АРМ операторов и диспетчеров на компьютерах с сенсорной панелью, АРМ преподавателя с общей моделью, архивом заданий, генератором аварийных ситуаций. К общей системе по информационным каналам подключаются приборные стенды с реальным оборудованием КИПиА и управляющими контроллерами. Система оснащена АОС с 3D-роликами, объясняющими устройство, принципы функционирования и управления оборудованием, причем разделы могут вызываться как с АРМов, так и путем освещения лазерной указкой фотодатчиков, расположенных по всему макету рядом с разнообразными элементами технологического оборудования.

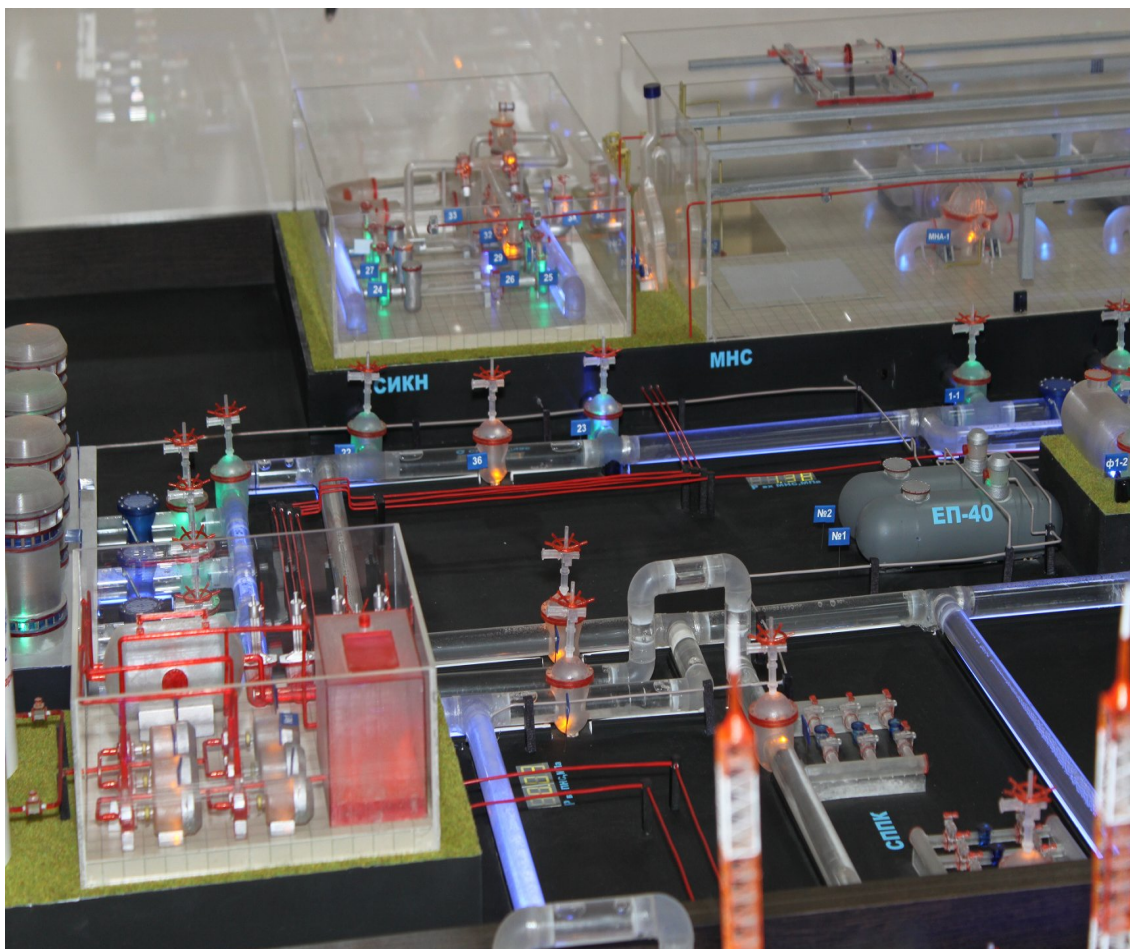


Рис. 8. Интегрированная обучающая система для подготовки операторов и обслуживающего персонала объектов трубопроводного транспорта нефти

Тренажерный комплекс для энергетиков («Стенд ЗРУ-6(10) кВ») предназначен для: обучения оперативного электротехнического персонала оперативным переключениям в нормальном и аварийном режимах работы в высоковольтной части схем электроснабжения; обучения ремонтного и оперативно-ремонтного персонала приемам и методам обслуживания и ремонта оборудования закрытых распределительных устройств (ЗРУ) и аппаратуры защитной автоматики. Отличительной чертой тренажера является физический эмулятор реальной производственной сети с возможностью для инструктора физически выставлять реальные токи, напряжения, фазы и частоту при различных нагрузках, потребителях, авариях, необходимые для срабатывания защит в реальных управляющих контроллерах ячеек (SPAC, SEPAM, БМРЗ и др.) и последующего анализа учащимися причин срабатывания защиты. Возможности тренажера: работа с контроллерами, уставки и защиты, просмотр осциллограмм, работа с реальными ячейками ЗРУ, исследование групповой работы ячеек, работа межсекционных переключателей и т.д., работа смежного оборудования, устройства дуговой защиты, ЦРВД-Т, ОВОД, работа измерительного оборудования – РЕТОМ, осциллограф, преобразователи,

указатель напряжения и т.д., «АРМ энергетика» с основами функционирования систем АСКУЭ и АСТУЭ. Весь комплекс объединен единой моделью технологического процесса (в том числе гидравлической), что позволяет с помощью генератора событий отбирать тренинги из более широкого множества, т.к. малозначительный отказ с точки зрения электрика может привести к серьезным авариям на других объектах.

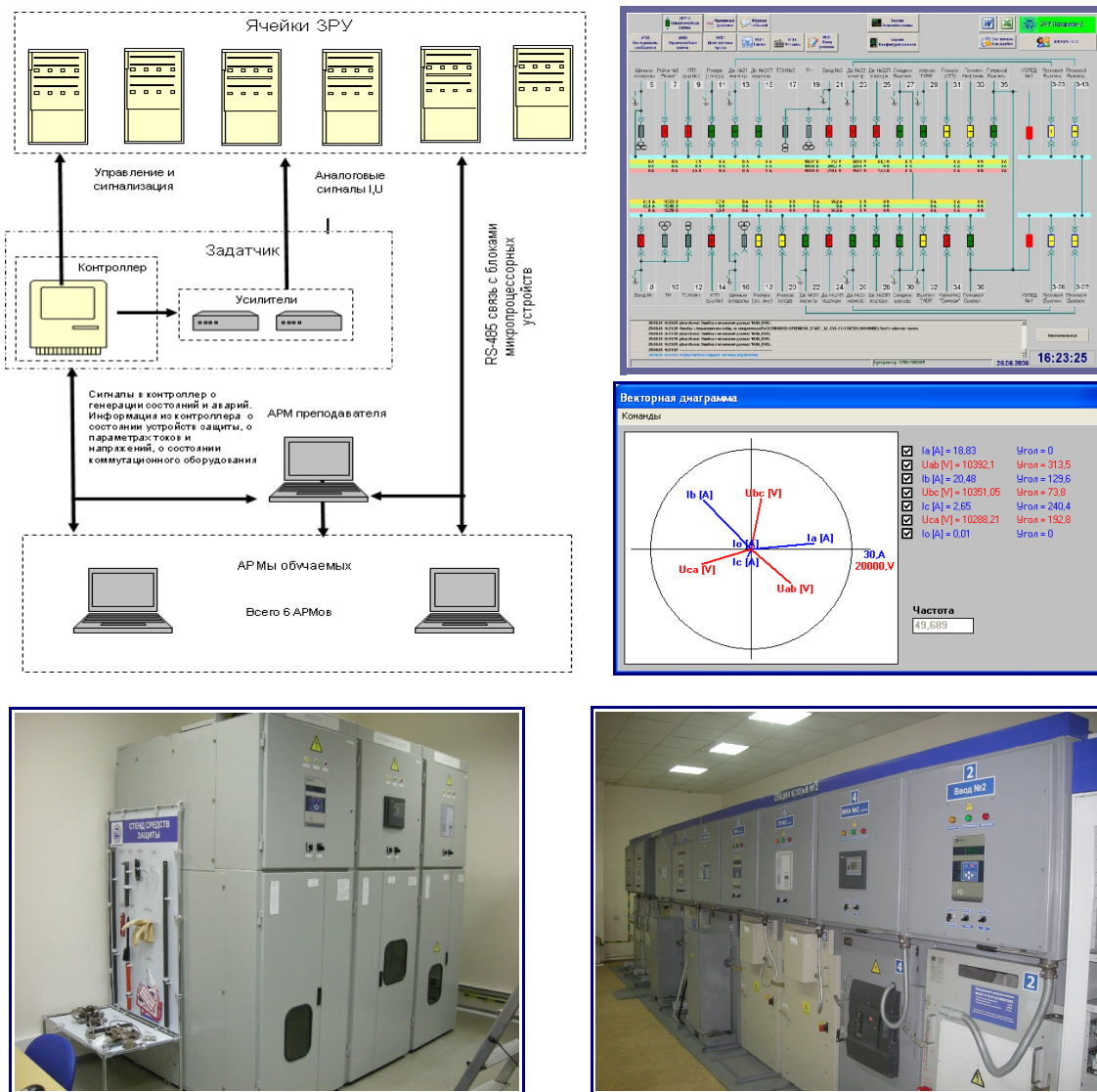


Рис. 9. Тренажер энергетиков

### Литература

1. Пуликовский К.Б. Приоритет качеству подготовки, профессиональному обучению и аттестации работников организаций, поднадзорных Ростехнадзору // Безопасность труда в промышленности. 2006. №7. С. 5 - 7.

2. Быков В.М. Дифференцированный подход в кадровой политике как фактор экономического и социального благополучия предприятий // Управление персоналом. 2008. № 22 (200). С. 41 - 43.

3. Базарова Г.Т. Особенности обучения взрослых // Менеджер по персоналу. 2007. № 2. С. 42 - 48.

4. Гражданкин А.И., Федоров А.А. К вопросу об оценке риска при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов. // Безопасность жизнедеятельности. 2001. № 4. С. 2 - 6.

5. Глебова Е.В., Грудина С.А. Влияние «человеческого фактора» на уровень аварийности и травматизма на объектах газоснабжения // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2005. № 4. С. 51 - 52.

6. Хафизов Ф.Ш., Шевченко Д.И., Кудрявцев А.А. Практические аспекты разработки технических средств обучения специалистов трубопроводного транспорта нефти // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2011. №1. С. 320-335. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/KhafizovFSh/KhafizovFSh\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/KhafizovFSh/KhafizovFSh_1.pdf) (дата обращения 05.04.2011).

## THE GENERAL CONCEPT OF AN INTEGRATED LEARNING SYSTEM FOR PIPELINE OIL TRANSPORTATION

F.Sh. Khafizov, D.I. Shevchenko, A.A. Kudryavtsev  
*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia*  
*e-mail: atp\_mail@inbox.ru*

**Abstract.** *The article describes the concept of designing and building simulators complexes intended for training operators of transport oil. We consider the operator's station and carried out their functions in terms of perception of information, so conclusions about the approach to learning systems and training systems. Put forward the requirements to be met by a modern fitness center.*

**Keywords:** *pipeline transport, training systems, simulator, mathematical model, operator, perception of information*

### References

1. Pulikovskii K.B. Prioritet kachestvu podgotovki, professional'nomu obucheniyu i attestatsii rabotnikov organizatsii, podnadzornykh Rostekhnadzoru (Priority for quality training, professional training and certification of employees of organizations, supervised by Rostekhnadzor), *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2006, Issue 7, pp. 5 - 7.
2. Bykov V.M. Differentsirovannyi podkhod v kadrovoi politike kak faktor ekonomicheskogo i sotsial'nogo blagopoluchiya predpriyatii (A differentiated approach to personnel policy as a factor in economic and social welfare at enterprises), *Upravlenie personalom*, 2008, № 22 (200), pp. 41 - 43.
3. Bazarova G.T. Osobennosti obucheniya vzroslykh (Adult education features), *Menedzher po personalu*, 2007, Issue 2, pp. 42 - 48.
4. Grazhdankin A.I., Fedorov A.A. K voprosu ob otsenke riska pri deklarirovanii promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov (On the estimation of risk for the declaration of industrial safety of hazardous production facilities), *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2001, Issue 4, pp. 2 - 6.
5. Grazhdankin A.I., Fedorov A.A. K voprosu ob otsenke riska pri deklarirovanii promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov (The influence of the "human factor" in the level of accidents and injuries on the gas supply facilities), *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2005, Issue 4, pp. 51 - 52.
6. Khafizov F.Sh., Shevchenko F.Sh., Kudryavtsev F.Sh.. The practical aspects of the oil pipeline specialist's training facilities design. Electronic scientific journal "Oil and Gas Business", 2011, Issue 1, pp. 320 - 335.  
[http://www.ogbus.ru/authors/KhafizovFSh/KhafizovFSh\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/KhafizovFSh/KhafizovFSh_1.pdf) .