

## МОДЕЛЬ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ТРЕНАЖЁРНОЙ ПОДГОТОВКИ МОРЯКОВ

В июне 2010 г. в Маниле (Филиппины) на Дипломатической конференции стран - сторон Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. было заявлено о необходимости использования дистанционного обучения и обучения посредством сети интернет при подготовке и повышении квалификации моряков [1]. Одной из приоритетных целей системы образования является обеспечение уровня качества образования, соответствующего не только национальным, но и международным стандартам (ISO-9000: International Organization for Standartion Quality in Education).

Серьезный недостаток существующих систем дистанционного обучения – сложность проведения лабораторного практикума как на удаленном специализированном оборудовании, так и на имитационных тренажёрах, что затрудняет приобретение навыков и снижает качество обучения.

В связи с вышеизложенным, актуальной задачей является разработка математической модели обеспечения качества тренажёрной подготовки при дистанционной форме обучения, позволяющей сформировать необходимые навыки работы с судовыми энергетическими установками (СЭУ) и другим оборудованием, путём удалённого доступа к оборудованию, либо имитационному тренажёру посредством ресурсов сети интернет.

С целью выяснения существующих методов и моделей обеспечения качества тренажёрной подготовки, а также современных подходов оценки качества лабораторного практикума в виртуальной лаборатории был проведён аналитический обзор по трём направлениям: обзор существующих методов и моделей оценки качества дистанционного обучения, подходов организации виртуальной лаборатории, способов удалённого управления и мониторинга работы судовых энергетических установок и сопутствующих этому ограничений.

В ходе проведённого анализа существующих подходов организации лабораторного практикума и современных способов управления удалённым оборудованием, было принято решение разработать систему дистанционной тренажёрной подготовки на базе технологии SCADA.

Для оценки эффективности тренажёрной подготовки использован

комплексный показатель качества подготовки специалиста

$$\Omega = \sum_{i=1}^n F(\Omega_i),$$

где  $F$  – некоторая возрастающая линейная функция;  $F(\Omega) = k_i \Omega_i$ ,  $k_i$  – весовой коэффициент показателя.

Проанализировав от каких факторов зависит качество обеспечения тренажёрной подготовки, сделано предположение, что качество зависит от мероприятий по организации лабораторного практикума, программного и аппаратного обеспечения, дидактических ресурсов и надёжности передачи информации по сети интернет. Учитывая высокую надёжность аппаратного обеспечения, данный фактор можно в расчет не принимать. Вышесказанное можно представить в виде критерия качества тренажёрной подготовки при дистанционной форме обучения

$$F = k_1 F_{org} + k_2 F_d + k_3 F_{soft} + k_4 F_{web},$$

где  $k_1, k_2, k_3, k_4$  – коэффициенты влияния указанных факторов ( $k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1$ );  $F_{org}$  – качество мероприятий организации лабораторного практикума;  $F_d$  – качество дидактических материалов;  $F_{soft}$  – качество программного обеспечения (ПО);  $F_{web}$  – качество удалённого соединения.

$F_{org}$  включает качество мероприятий по мониторингу работы групп пользователей в фиксированное время согласно расписанию, статусу и приоритету конкретного пользователя, качество обратной связи с пользователем.

Параметр  $F_d$  целесообразно оценивать согласно критериям, принятым в педагогике.

Параметр  $F_{soft}$  предлагается оценивать по формуле:

$$F_{soft} = ks_1 F_{sd} + ks_2 F_{spk} + ks_3 F_{sp},$$

где  $ks_1, ks_2, ks_3$  – коэффициенты влияния указанных факторов ( $ks_1 + ks_2 + ks_3 = 1$ );  $F_{sd}$  – качество программно-дидактического обеспечения,  $F_{spk}$  – качество программного комплекса SCADA;  $F_{sp}$  – качество прикладного программного обеспечения.

Составляющая качества программно-дидактического обеспечения  $F_{sd}$  включает: качество e-learning платформ, таких как LMS (Learning Management System) или LCMS (Learning Content Management System); качество вспомогательных систем обучения (социальных сервисов, электронной библиотеки, файлообменника) и прочих программных средств для обеспечения теоретической подготовки слушателей.

Параметр  $F_{sp}$  включает качество ПО для взаимодействия серверов и администрирования виртуальной лаборатории.

Параметры  $F_{sd}$ ,  $F_{spk}$ ,  $F_{sp}$  оценивают качество уже сертифицированного программного обеспечения с точки зрения удобства и эффективности применения программного продукта для выполнения конкретной задачи. С этой целью группой экспертов составляются списки требований, производится регистрация ошибок и дефектов, и выставляется итоговая оценка соответствия программного обеспечения предъявляемым требованиям.

Согласно проведённому анализу, качество удалённого соединения зависит от таких факторов, как качество интернет-соединения компьютера пользователя и сервера тренажёра или виртуальной лаборатории и качество соединения между сервером виртуальной лаборатории и контроллерами, датчиками, осуществляющими мониторинг СЭУ.

$$F_{web} = kw_1 F_{weq} + kw_2 F_{wnet},$$

где  $kw_1$ ,  $kw_2$  – коэффициенты влияния указанных факторов ( $kw_1 + kw_2 = 1$ );  $F_{weq}$  – качество соединения периферийного оборудования;  $F_{wnet}$  – качество интернет-соединения.

Качество соединения между сервером виртуальной лаборатории и периферийным оборудованием (контроллерами, датчиками), осуществляющим мониторинг СЭУ, согласно рекомендациях МСЭ-Т [2, 3], должно соответствовать параметрам качества сетей "класса 0". Задержки отклика могут составлять до 80 мс, что в свою очередь оказывает существенное влияние на качество удалённого соединения. Поскольку задача оценки качества интернет-соединения плохо формализуется,  $F_{wnet}$  предлагается определять посредством математической модели на основе нечеткой логики.

$F_{wnet}$  вычисляется с помощью формализованной процедуры на основе представленной выше формулы.

Исходными данными математической модели оценки качества интернет-соединения являются лингвистические переменные и соответствующие им функции принадлежности.

Будем использовать следующие лингвистические переменные:

"Максимальная пропускная способность канала интернет-соединения" = {"Недопустимая", "Плохая", "Удовлетворительная", "Хорошая", "Отличная"};

"Задержка канала интернет-соединения" = {"Недопустимая", "Плохая", "Удовлетворительная", "Хорошая", "Отличная"};

"Вариация задержки канала интернет-соединения" = {"Недопустимая", "Плохая", "Удовлетворительная", "Хорошая", "Отличная"};

"Недостоверность данных интернет-соединения" = {"Недопустимая", "Плохая", "Удовлетворительная", "Хорошая", "Отличная"}.

Недостоверность данных интернет-соединения представляет сум-

марный коэффициент и включает коэффициент потери пакетов интернет-соединения, коэффициент ошибки пакетов интернет-соединения и коэффициент пакетов интернет соединения, преувеличивших среднюю задержку по сети.

Проведенный дополнительный анализ параметров интернет-соединения показал, что лингвистические переменные можно представить в определённой градации. Основываясь на рекомендациях МСЭ-Т по обеспечению качества услуг предоставления связи, в том числе в условиях ограничений системы "Инмарсат", в качестве начального приближения в табл. 1 приведём значения параметров интернет-соединения. Для реализации математической модели в качестве функции принадлежности предложено использовать трапециевидальную функцию  $MF(x)$ , параметры которой определяются из табл. 1.

Таблица 1

Параметры интернет-соединения

Параметр	Недопустимая	Плохая	Удовлетворительная	Хорошая	Отличная
Максимальная пропускная способность, кбит/с	< 160	160 – 250	250 – 400	400 – 520	> 520
Задержка, мс	> 400	200 – 400	100 – 200	50 – 100	< 50
Вариация задержки, мс	> 50	30 – 50	20 – 30	10 – 20	< 10
Недостоверность, %	> 0,5	0,3 – 0,5	0,2 – 0,3	0,1 – 0,2	< 0,1

В качестве примера приведём функцию принадлежности для лингвистической переменной "Задержка канала интернет-соединения" = "Удовлетворительная":

$$MF(z) = \begin{cases} 1 - \frac{100 - z}{100 - 75}, & 75 \leq z \leq 100; \\ 1, & 100 \leq z \leq 200; \\ 1 - \frac{z - 200}{225 - 200}, & 200 \leq z \leq 225; \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases}$$

где  $z$  – задержка канала, мс.

На основе анализа существующих средств оценки качества ДО, подходов оценки качества лабораторного практикума в виртуальной лаборатории, способов удалённого управления и мониторинга работы

судовых энергетических установок (СЭУ) и предложенной математической модели обеспечения качества тренажёрной подготовки при дистанционной форме обучения разработана структурная схема виртуальной лаборатории (ВЛ), представленная на рис. 1.

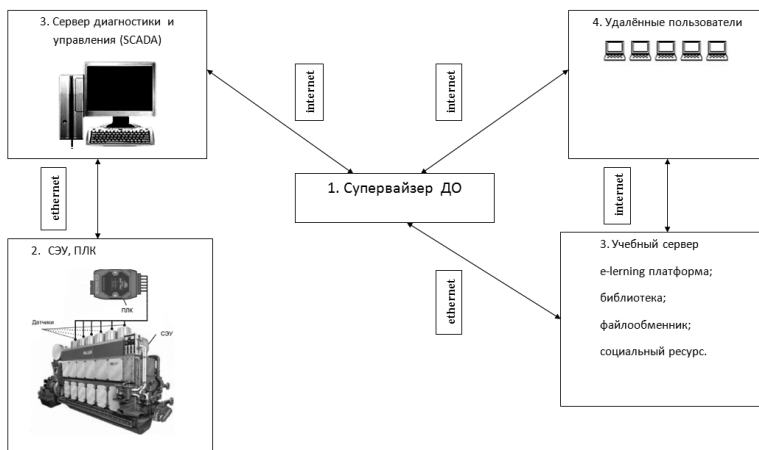


Рис. 1. Структурная схема виртуальной лаборатории

В предложенной структурной схеме, ресурсы виртуальной лаборатории, представленные блоками 1 – 4, взаимодействуют между собой посредством локальной сети вуза, либо сети интернет с качественным интернет-соединением. Основу структуры виртуальной лаборатории составляет Супервайзер (блок 1), который служит для повышения качества организации учебного процесса и осуществляет в автоматизированном режиме мониторинг работы и успеваемости пользователей, доступ и поддержку работы групп пользователей в фиксированное время согласно расписанию, статусу и успеваемости конкретного пользователя, поскольку ресурсы ВЛ ограничены.

Супервайзер представляет собой сервер с необходимым программным обеспечением и осуществляет:

- удалённый доступ слушателя, преподавателя, системного администратора;

- мониторинг работы и успеваемости пользователей;

- своевременную коммутацию пользователя с сервером диагностики и управления (SCADA) (блок 3), учебным сервером (блок 4).

Одной из основных составляющих ВЛ является сервер SCADA (блок 3), который предоставляет возможность удалённого доступа к

системе диагностики и управления СЭУ и тем самым служит для повышения качества лабораторного практикума слушателей. СЭУ и программируемый логический контроллер (ПЛК), с помощью которого осуществляется мониторинг датчиков и непосредственное управление СЭУ (блок 2), осуществляют коммутацию с сервером диагностики и управления посредством локальной сети и протокола ethernet.

Учебный сервер виртуальной лаборатории (блок 4) служит для повышения качества теоретической подготовки, усвоения знаний и мониторинга успеваемости слушателей. Данный сервер включает e-learning платформу, которая позволяет автоматизировать управление процессом дистанционного обучения и обеспечения слушателей необходимыми учебными материалами, и вспомогательные учебные ресурсы, такие как электронная библиотека, файлообменник, социальные сервисы и др.

С целью проверки адекватности работы математической модели оценки качества интернет-соединения, произведена её реализация в среде MathLab.

Графическая модель правил нечёткого вывода реализована инструментом Rule Viewer и представлена на рис. 2.

На рис. 2 первый столбец с маркером ps соответствует лингвистической переменной "Максимальная пропускная способность канала интернет-соединения" = {"Недопустимая" (строка 1), "Плохая" (строка 2), "Удовлетворительная" (строка 3), "Хорошая" (строка 4), "Отличная" (строка 5)}.

Второй столбец с маркером zaderzka соответствует лингвистической переменной "Задержка канала интернет-соединения" = {"Недопустимая" (строка 1), "Плохая" (строка 2), "Удовлетворительная" (строка 3), "Хорошая" (строка 4), "Отличная" (строка 5)}.

Третий столбец с маркером varzaderzki соответствует лингвистической переменной "Вариация задержки канала интернет-соединения" = {"Недопустимая" (строка 1), "Плохая" (строка 2), "Удовлетворительная" (строка 3), "Хорошая" (строка 4), "Отличная" (строка 5)}.

Четвёртый столбец с маркером nedostovernost соответствует лингвистической переменной "Потеря пакетов канала интернет-соединения" = {"Недопустимая" (строка 1), "Плохая" (строка 2), "Удовлетворительная" (строка 3), "Хорошая" (строка 4), "Отличная" (строка 5)}.

Пятый столбец с маркером output1 соответствует значению безразмерной величины  $F_{wnets}$ , измеряемой в пределах от 0 до 1.

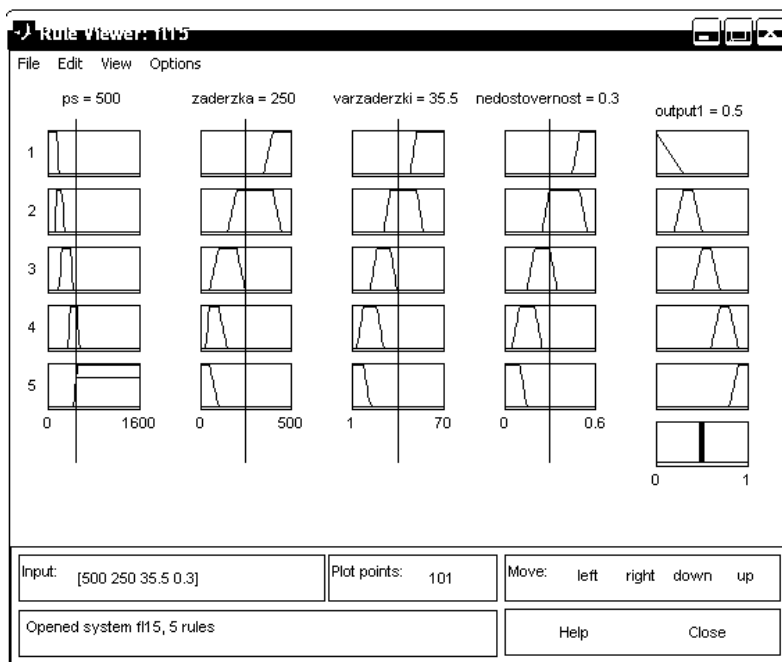


Рис. 2. Графическая модель правил нечёткого вывода, реализованная инструментом Rule Viewer

Ячейка с маркером input демонстрирует значения параметров интернет-соединения.

Для оценки работоспособности математической модели и выяснения возможностей её применения была исследована чувствительность математической модели на изменения единичного параметра интернет-соединения относительно других и работы математической модели при вариации значений параметров интернет-соединения.

При исследовании чувствительности математической модели оценки качества интернет-соединения на изменения единичного параметра относительно других, примем значения параметров, соответствующие недопустимому качеству интернет-соединения (табл. 1). Изменяя единичный параметр интернет-соединения относительно других, получим следующие результаты (табл. 2).

Проведённые исследования позволяют сделать вывод, что математическая модель оценки качества интернет-соединения более чувствительна к изменению значений параметра "Максимальная пропускная способность".

Таблица 2

Результаты проверки чувствительности математической модели

Значения параметров интернет-соединения				Выходные данные $F_{\text{vnet}}$
максимальная пропускная способность, кбит/с	задержка, мс	вариация задержки, мс	недоверность, %	
0-160	400	70	0,5	0
165	400	70	0,5	0,015
170	400	70	0,5	0,035
175	400	70	0,5	0,055
180	400	70	0,5	0,075
185	400	70	0,5	0,09
190	400	70	0,5	0,11
195	400	70	0,5	0,13
200-520	400	70	0,5	0,5
0	450-400	70	0,5	0
0	390	70	0,5	0,03
0	380	70	0,5	0,06
0	370	70	0,5	0,09
0	360	70	0,5	0,12
0	350-400	70	0,5	0,5
0	400	70-50	0,5	0
0	400	49	0,5	0,03
0	400	48	0,5	0,06
0	400	47	0,5	0,09
0	400	46	0,5	0,12
0	400	45-0	0,5	0,5
0	400	70	0,6-0,5	0
0	400	70	0,49	0,03
0	400	70	0,48	0,06
0	400	70	0,47	0,09
0	400	70	0,46	0,115
0	400	70	0,45-0	0,5

При исследовании работы математической модели в ходе варьирования значений параметров интернет-соединения примем исходные значения, соответствующие удовлетворительному качеству интернет-соединения (табл. 3).



Таблица 3

Качество интернет-соединения удовлетворительное

Значения параметров интернет-соединения				Выходные данные $F_{\text{wnet}}$
максимальная пропускная способность, кбит/с	задержка, мс	вариация задержки, мс	недоверность, %	
300	150	25	0,25	0,55

Варьируя значения параметров интернет-соединения с шагом 10 % в сторону улучшения, получим следующие результаты (табл. 4).

Таблица 4

Результаты работы математической модели при вариации значений параметров интернет-соединения

Значения параметров интернет-соединения				Выходные данные $F_{\text{web}}$
максимальная пропускная способность, кбит/с	задержка, мс	вариация задержки, мс	недоверность, %	
300	150	25	0,25	0,55
352	110	19	0,2	0,61
404	70	13	0,15	0,75
456	30	7	0,1	0,9
512	0	1	0,05	0,95

Проведённые исследования позволяют сделать вывод, что математическая модель работает адекватно при вариации значений параметров интернет-соединения. На основании анализа результатов исследования можно сделать заключение о соответствии математической модели требованиям поставленной задачи и возможности её применения при оценке качества интернет-соединения.

Таким образом, предложена математическая модель обеспечения качества тренажёрной подготовки при дистанционной форме обучения, на основании которой были разработаны модель виртуальной лаборатории, включающая СЭУ, программируемый логический контроллер (ПЛК, для мониторинга датчиков и непосредственного управления СЭУ), сервер диагностики и управления (SCADA), e-learning платформу и вспомогательные учебные ресурсы, и компьютерная система управления судовым котлом на базе SCADA-системы

Trace Mode, которая может использоваться в виртуальной лаборатории, как имитационный тренажёр удаленного доступа.

Данная система имитирует работу вспомогательного котла, предоставляет средства для управления и мониторинга его работы и является программным средством обучения как работе со вспомогательным котлом, так и со SCADA-системой Trace Mode.

Виртуальная лаборатория, представленная на структурной схеме (рис. 1) предоставляет пользователю набор ресурсов не только для повышения качества лабораторного практикума, но и для повышения качества теоретической подготовки, усвоения материала, мониторинга посещения и успеваемости слушателей и организации учебного процесса в целом.

Предложенная математическая модель обеспечения качества тренажёрной подготовки при дистанционной форме обучения и модель виртуальной лаборатории может быть применена как для создания виртуальных лабораторий, так и для оптимизации и повышения качества работы существующих виртуальных лабораторий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Marine Organization Conference of Parties to the International Convention on Standards of Training, Certification and Watch-keeping for Seafarers, 1978/ International Marine Organization // Conference Resolution 1 24 June 2010. – Режим доступа : <http://www.omtc.com.ua/forum/phpBB3/download/file.php?id=238&sid=c2f336f3217c1db0f3268b9800d4fde7>. – Дата доступа: 21.09.10. – Conference Resolution 1 24 June 2010.

2. МСЭ-Т Recommendation Y.1540. IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters // Geneva, March 2011. – 32 с.

3. МСЭ-Т Recommendation Y.1541. Network Performance Objectives for IP-Based Services// Geneva, June 2006. – 43 с.