

УДК 656.62

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В VR-ТРЕНАЖЁРЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СУДОВОДИТЕЛЕЙ СКОРОСТНЫХ СУДОВ НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ

Ундалов Василий Александрович¹, ст. преподаватель кафедры судовождения и безопасности судоходства

e-mail: kodi841@gmail.com

Домнин Алексей Васильевич¹, доцент кафедры судовождения и безопасности судоходства

e-mail: aleks.dav65@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассматривается применение технологий виртуальной реальности в подготовке судоводителей скоростных судов на подводных крыльях. Актуальность работы обусловлена необходимостью безопасной и многократной отработки аварийных и нештатных ситуаций, моделирование которых в реальных условиях затруднено по организационным, экономическим и эксплуатационным причинам. Цель исследования состоит в разработке методики проектирования сценариев аварийных ситуаций для VR-тренажёра с учётом специфики скоростного судна, ограниченного времени на принятие решения и необходимости объективной оценки действий обучающихся. В работе предложены принципы построения сценариев, алгоритм их разработки, классификация аварийных и нештатных ситуаций, а также система критериев оценки. Особое внимание уделено связи сценария с образовательным результатом, роли инструктажа и дебрифинга, а также необходимости вариативности параметров виртуальной среды. Показано, что сценарный подход позволяет повысить практико-ориентированность подготовки и качество формирования профессиональных навыков судоводителя.

Ключевые слова: виртуальная реальность, VR-тренажёр, подготовка судоводителей, скоростные суда на подводных крыльях, аварийные ситуации, навигационная безопасность, сценарное моделирование, оценка компетенций.

METHODS FOR DESIGNING EMERGENCY SCENARIOS IN A VR SIMULATOR FOR TRAINING OPERATORS OF HIGH-SPEED HYDROFOIL VESSELS

Vasiliy A. Undalov¹, Senior Lecturer of the Department of Navigation and Navigation Safety

e-mail: kodi841@gmail.com

Aleksey V. Domnin¹, Associate Professor of the Department of Navigation and Navigation Safety

e-mail: aleks.dav65@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses the use of virtual reality technologies in the training of operators of high-speed hydrofoil vessels. The relevance of the study is determined by the need for safe and repeated practice of emergency and non-standard situations that are difficult to reproduce in real operating conditions due to organizational, economic and technical limitations. The purpose of the study is to develop a method for designing emergency scenarios for a VR simulator, taking into account the dynamic nature of high-speed navigation, limited decision-making time and the need for objective assessment of trainees. The paper proposes principles for constructing such scenarios, an algorithm for their development, a classification of emergency and non-standard situations, and a system of assessment criteria. Particular attention is paid to the relationship between a scenario and the expected learning outcome, the role of briefing and debriefing, and the variability of virtual environment parameters. It is shown that the scenario-based approach increases the practice-oriented nature of training and improves the formation of professional skills of vessel operators.

Keywords: virtual reality, VR simulator, navigator training, hydrofoil vessels, emergency situations, navigation safety, scenario modeling, competence assessment.

Введение

Подготовка судоводителей водного транспорта ориентирована на формирование устойчивых профессиональных компетенций, обеспечивающих безопасное управление судном в штатных и нештатных условиях. Международные требования к подготовке плавсостава закреплены в Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДНВ/STCW), в которой тренажёрная подготовка рассматривается как значимый элемент развития профессиональных навыков [1]. В этой связи особое значение приобретают современные средства моделирования, позволяющие воспроизводить сложные и потенциально опасные ситуации без риска для экипажа, судна, пассажиров и окружающей среды.

Для судоводителей скоростных судов на подводных крыльях задача тренажёрной подготовки имеет особую значимость. Такие суда обладают высокой динамикой движения, быстро переходят между водоизмещающим режимом и режимом движения на крыльях, а время на распознавание угрозы и выбор безопасного манёвра оказывается существенно ограниченным. Ошибка в оценке дистанции, скорости сближения, состояния фарватера или действий встречного судна может привести к резкому росту навигационного риска. Поэтому традиционная подготовка, основанная только на теоретических занятиях и наблюдении за действиями опытного судоводителя, не обеспечивает достаточного количества повторений критических ситуаций.

В научной литературе подчёркивается, что симуляторы являются важной частью морского образования и тренажёрной подготовки, а развитие VR-, AR- и MR-технологий расширяет возможности иммерсивного и практико-ориентированного обучения [2; 5]. При этом эффективность VR-обучения определяется не только качеством визуализации или степенью технической реалистичности, но и педагогическим проектированием сценариев. Исследователи указывают на значимость связки «инструктаж - выполнение сценария - дебрифинг», поскольку именно эта последовательность переводит имитационную ситуацию в учебный опыт [3].

Следовательно, при разработке VR-тренажёра центральным вопросом становится не только создание виртуальной модели судна и акватории, но и методика проектирования аварийных ситуаций. Сценарий должен быть связан с конкретной компетенцией, иметь понятную логику развития, допускать вариативность условий и завершаться оценкой действий обучающегося. Без этого VR-среда может остаться на уровне демонстрационного инструмента, не обеспечивающего устойчивого переноса навыков в профессиональную деятельность.



Цель исследования – разработать методику проектирования сценариев аварийных ситуаций в VR-тренажёре для подготовки судоводителей скоростных судов на подводных крыльях. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: определить принципы построения сценариев; предложить последовательность проектирования сценарной модели; классифицировать аварийные и нештатные ситуации; определить критерии оценки действий обучающихся; сформулировать практические рекомендации по внедрению методики в образовательный процесс.

Материалы и методы

В работе использованы методы анализа нормативных и научных источников, обобщения, классификации и педагогического проектирования. Нормативную основу исследования составляют положения ПДНВ/STCW [1], Международных правил предупреждения столкновений судов в море 1972 года [2], а также общие требования к безопасной эксплуатации высокоскоростных судов. Теоретической основой исследования выступили работы, посвящённые тренажёрной подготовке в морском образовании, применению иммерсивных технологий и оценке их эффективности [3-8].

Метод педагогического проектирования применялся для определения структуры учебного сценария, состава его переменных и связей между действиями обучающегося и результатом. При классификации аварийных ситуаций учитывались источник угрозы, этап движения судна, уровень сложности, формируемый навык и возможность объективной регистрации параметров в VR-среде. Такой подход позволяет рассматривать сценарий не как отдельный эпизод, а как единицу учебной программы, имеющую цель, входные условия, ожидаемое действие и измеряемый результат.

Дополнительно использовался принцип декомпозиции профессиональной деятельности судоводителя. Управление скоростным судном в аварийной ситуации было представлено как последовательность операций: восприятие информации, распознавание угрозы, оценка навигационной обстановки, выбор решения, выполнение управляющих действий, контроль последствий манёвра и восстановление безопасного режима движения. Такая декомпозиция необходима для того, чтобы оценка в VR-тренажёре фиксировала не только конечный результат, но и качество процесса принятия решения.

Результаты исследования и их обсуждение

Под проектированием сценария аварийной ситуации в VR-тренажёре предлагается понимать целенаправленное конструирование учебной модели профессионально значимого события, требующего от обучающегося распознавания угрозы, оценки обстановки, выбора решения и выполнения действий по обеспечению безопасности плавания. В отличие от обычного описания упражнения, сценарий должен содержать причинно-следственную структуру: исходную обстановку, триггер угрозы, информационные ограничения, временное окно реакции, допустимые решения, последствия действий и критерии оценки.

Для скоростных судов на подводных крыльях особенно важно, чтобы сценарий учитывал режим движения судна. В водоизмещающем режиме одни и те же действия могут иметь иной эффект, чем при движении на крыльях. Следовательно, при проектировании сценариев необходимо задавать не только координаты судна, погодные условия и наличие препятствий, но и режим хода, скорость, запас времени до критического сближения, особенности реакции судна на изменение курса и скорости.



Принципы проектирования сценариев

Первый принцип – профессиональная релевантность. В сценарий необходимо включать только те ситуации, которые действительно имеют значение для деятельности судоводителя скоростного судна: ухудшение видимости, внезапное появление препятствия по курсу, опасное сближение с другим судном, ограничение манёвренности, частичный отказ навигационной информации, необходимость экстренного изменения режима движения. Сценарии не должны быть абстрактными; они должны имитировать реальные условия, в которых от судоводителя требуется быстрое и обоснованное решение.

Второй принцип - причинно-следственная логика развития ситуации. Сценарий должен включать исходную обстановку, триггер угрозы, этап принятия решения, действие обучающегося и последствия выбранного решения. Такая логика позволяет использовать виртуальную среду не как демонстрационный инструмент, а как средство формирования профессионального поведения. Если обучающийся выбирает небезопасный манёвр, VR-среда должна показать развитие негативных последствий: уменьшение дистанции, потерю устойчивого режима, риск столкновения или необходимость дополнительных корректирующих действий.

Третий принцип - вариативность условий. Один и тот же базовый сценарий должен допускать изменение погодных условий, времени суток, интенсивности движения, расположения препятствия, степени информированности обучающегося и доступного времени на реакцию. По данным исследований, вариативность и уровень реалистичности симуляции оказывают существенное влияние на качество тренажёрного обучения [5, 6]. Вариативность предотвращает формирование механического запоминания и позволяет оценить способность обучающегося переносить алгоритм действий на новые условия.

Четвёртый принцип - поэтапное усложнение. Базовые сценарии должны быть направлены на распознавание одной угрозы и выполнение очевидного алгоритма действий. Далее добавляются комбинированные факторы, дефицит времени, неполная информация, отвлекающие стимулы и необходимость выбора между несколькими допустимыми решениями. Такой подход соответствует современной логике *simulator-based maritime training*, где обучение строится от простых упражнений к комплексным профессиональным ситуациям [4, 6].

Пятый принцип - измеримость результата. Каждый сценарий должен быть связан с конкретным учебным результатом: распознавание угрозы, правильная оценка навигационной обстановки, выбор безопасного манёвра, соблюдение последовательности действий, устойчивость решения при изменении условий. Измеримость особенно важна для VR-тренажёра, поскольку цифровая среда позволяет фиксировать время реакции, траекторию движения, изменение скорости, дистанцию до препятствия и количество критических ошибок.

Шестой принцип - методическая завершённость. Сценарий должен включать не только саму виртуальную ситуацию, но и инструктаж до выполнения, критерии наблюдения во время выполнения и дебрифинг после завершения. Дебрифинг необходим для анализа причин ошибки, сопоставления действий обучающегося с безопасным алгоритмом и закрепления профессионального вывода. Без последующего разбора даже реалистичный сценарий может не привести к устойчивому образовательному результату.

Алгоритм проектирования сценарной модели

С учётом указанных принципов предлагается следующая последовательность проектирования сценариев аварийных ситуаций. На первом этапе определяется целевая компетенция сценария. Разработчик фиксирует, какой именно навык должен быть сформирован или проверен в виртуальной среде: распознавание опасного сближения,

выбор безопасной скорости, переход в безопасный режим движения, действия при отказе навигационного оборудования, взаимодействие с членами экипажа или принятие решения в условиях ограниченной видимости.

На втором этапе отбирается профессионально значимая ситуация. Для подготовки судоводителей скоростных судов на подводных крыльях приоритет следует отдавать эпизодам, где ошибка или задержка реакции резко повышает навигационный риск. В качестве источников для отбора ситуаций могут использоваться анализ происшествий, экспертные интервью с судоводителями, учебные программы, требования нормативных документов и результаты наблюдения за типичными ошибками курсантов на тренажёрных занятиях.

На третьем этапе формируется структура сценария. В неё включаются: исходные условия, район плавания, режим движения судна, метеорологическая и навигационная обстановка, внешний триггер, объём доступной информации, временное окно на принятие решения, варианты развития событий и последствия действий обучающегося. Важно заранее определить, какие параметры будут скрыты от обучающегося, а какие будут доступны через визуальные, звуковые или приборные каналы VR-среды.

На четвертом этапе задаются переменные параметры. Это позволяет использовать один базовый сценарий многократно и предотвращает формирование шаблонной реакции. К переменным параметрам могут относиться скорость собственного судна, скорость и курс встречного объекта, дальность обнаружения препятствия, наличие фоновой засветки, интенсивность волнения, направление ветра, техническое состояние оборудования и качество связи.

На пятом этапе проектируется система оценки. В качестве критериев целесообразно использовать время распознавания угрозы, правильность интерпретации ситуации, обоснованность решения, время реакции, точность манёвра, соблюдение правил расхождения, количество критических ошибок и устойчивость результата при повторных прохождении. Оценка должна быть не только итоговой, но и процессной, поскольку безопасное управление судном зависит от последовательности действий, а не только от финального положения судна.

На шестом этапе сценарий проходит методическую апробацию. Инструктор или эксперт выполняет сценарий в тестовом режиме, проверяя реалистичность условий, корректность реакции модели на действия обучающегося, достаточность времени для принятия решения и соответствие критериев оценки заявленной компетенции. После апробации сценарий может быть включён в библиотеку тренажёрных упражнений.

Классификация сценариев аварийных ситуаций

Для практического применения в VR-тренажёре сценарии аварийных ситуаций целесообразно классифицировать по нескольким основаниям. Такая классификация позволяет формировать библиотеку упражнений, избегать случайного набора эпизодов и выстраивать обучение от базовых навыков к комплексным профессиональным действиям.

Таблица 1. Классификация сценариев аварийных и нештатных ситуаций

Основание классификации	Группы сценариев	Методическое назначение
По источнику угрозы	Гидрометеорологические; навигационные; технические; организационно-человеческие; комбинированные	Позволяет отрабатывать разные типы причин, приводящих к аварийной ситуации

По этапу движения судна	Разгон; выход на режим движения на подводных крыльях; следование по маршруту; маневрирование; снижение скорости	Учитывает различия в управляемости и динамике судна на разных режимах
По уровню сложности	Базовые; повышенного уровня; комплексные	Обеспечивает постепенное усложнение учебной нагрузки
По формируемому навыку	Распознавание угрозы; анализ обстановки; выбор решения; выполнение манёвра; действия при отказе оборудования; работа в условиях стресса	Связывает сценарий с конкретным образовательным результатом
По степени вариативности	Фиксированные; параметризованные; адаптивные	Позволяет предотвращать шаблонное прохождение и индивидуализировать обучение

Представленная классификация может использоваться как основа для проектирования матрицы сценариев. Например, один и тот же учебный эпизод «опасное сближение с маломерным судном» может быть реализован как базовый сценарий при хорошей видимости, как сценарий повышенного уровня при ограниченной видимости и как комплексный сценарий при одновременном отказе части навигационной информации. За счёт этого образовательная программа получает логическую последовательность, а инструктор - возможность подбирать сценарии под уровень подготовки конкретной группы.

Пример структуры сценарной карты

Для унификации разработки рекомендуется оформлять каждый сценарий в виде сценарной карты. Такая карта может быть использована как техническое задание для разработчика VR-среды, методическая инструкция для преподавателя и основа для последующей оценки действий обучающегося. В карту целесообразно включать цель, исходные условия, триггер угрозы, допустимые действия, ошибки, критерии оценки и вопросы для дебрифинга.

Примером может служить сценарий «внезапное появление препятствия по курсу при движении на крыльях». Цель сценария - сформировать навык своевременного распознавания угрозы и выбора безопасного способа снижения навигационного риска. Исходные условия: движение судна по заданному маршруту, скорость близка к эксплуатационной, видимость удовлетворительная, на фарватере присутствуют фоновые объекты. Триггером является внезапное появление маломерного судна или плавающего предмета на траектории движения. Обучающийся должен оценить дистанцию, выбрать безопасный манёвр, при необходимости снизить скорость и проконтролировать восстановление безопасного режима.

К типичным ошибкам в таком сценарии относятся позднее распознавание угрозы, резкое и необоснованное изменение курса, игнорирование встречного движения, сохранение опасной скорости, отсутствие контроля последствий манёвра. На этапе дебрифинга инструктор анализирует, в какой момент обучающийся обнаружил угрозу, какие признаки использовал для оценки ситуации, почему выбрал конкретное решение и какие альтернативы были возможны. Такой разбор помогает превратить виртуальное действие в осознанный профессиональный опыт.



Система оценки действий обучающегося

Одним из ключевых преимуществ VR-тренажёра является возможность автоматизированной регистрации параметров прохождения сценария. Однако сама по себе регистрация данных не является оценкой. Для педагогически корректной оценки необходимо заранее определить показатели, их связь с компетенцией и границы допустимых значений. Оценка должна сочетать количественные параметры и экспертный анализ инструктора.

Таблица 2. Критерии оценки действий обучающегося в VR-сценарии

Критерий	Измеряемый показатель	Пример фиксации в VR-среде	Методическое значение
Распознавание угрозы	Время от появления триггера до первого корректного действия	Отметка времени, изменение взгляда, изменение режима управления	Показывает скорость ситуационного восприятия
Оценка обстановки	Правильность определения источника риска и его динамики	Сопоставление действий с положением объектов и дистанцией сближения	Характеризует качество навигационного анализа
Выбор решения	Соответствие решения условиям сценария и правилам безопасного расхождения	Траектория, курс, скорость, дистанции до объектов	Показывает профессиональную обоснованность выбора
Выполнение манёвра	Точность и плавность управляющих действий	Углы перекладки, изменение скорости, отклонение от безопасной зоны	Позволяет оценить устойчивость навыка управления
Контроль последствий	Наличие корректирующих действий после первичного манёвра	Повторная оценка дистанции, возврат к маршруту, стабилизация режима	Отражает способность завершать аварийный эпизод безопасно

Для повышения объективности рекомендуется использовать многоуровневую шкалу оценки: «выполнено без ошибок», «выполнено с некритическими замечаниями», «выполнено с критической ошибкой», «не выполнено». Критической следует считать ошибку, которая приводит к опасному сближению, потере контроля над ситуацией, нарушению правил безопасного маневрирования или невозможности завершить сценарий без вмешательства инструктора. При этом итоговая оценка должна сопровождаться качественным комментарием, объясняющим причину результата.

Практические рекомендации по внедрению методики

Первая рекомендация состоит в формировании библиотеки сценариев, а не отдельных упражнений. Библиотека должна включать базовые, усложнённые и комплексные сценарии, сгруппированные по формируемым компетенциям. Это позволит преподавателю выстраивать индивидуальную траекторию подготовки: от первичного освоения алгоритма действий до проверки устойчивости навыка в условиях неопределённости.

Вторая рекомендация связана с разработкой единых сценарных карт. Для каждого сценария следует фиксировать цель, исходные условия, триггер, ожидаемые действия, возможные ошибки, параметры автоматической регистрации, критерии оценки и вопросы для дебрифинга. Единый формат позволит обеспечить сопоставимость результатов разных учебных групп и упростит доработку сценариев.



Третья рекомендация - обязательное включение дебрифинга в структуру занятия. После прохождения сценария обучающийся должен получить не только итоговую отметку, но и объяснение причин успеха или ошибки. Эффективный дебрифинг может строиться по трём вопросам: что произошло, почему было принято именно такое решение, как следовало действовать в аналогичной ситуации. Такой подход повышает осознанность и способствует переносу навыка в реальную профессиональную деятельность.

Четвёртая рекомендация - использование параметризации сценариев. Если курсант заранее знает точное расположение препятствия и момент появления угрозы, сценарий быстро превращается в упражнение на запоминание. Поэтому один и тот же сценарий должен иметь несколько вариантов: различную видимость, скорость сближения, положение препятствия, интенсивность движения и техническое состояние оборудования.

Пятая рекомендация - сочетание автоматической и экспертной оценки. VR-тренажёр способен точно фиксировать время реакции и траекторию, но не всегда может объяснить мотивы принятого решения. Поэтому автоматическая оценка должна дополняться наблюдением инструктора и анализом действий обучающегося на этапе дебрифинга. Это особенно важно в ситуациях, где существует несколько допустимых решений.

Шестая рекомендация - постепенная интеграция VR-тренажёра в образовательный процесс. На начальном этапе целесообразно использовать VR как дополнение к классическим тренажёрам и аудиторным занятиям, а после накопления библиотеки сценариев и статистики результатов - для промежуточного контроля, индивидуальной коррекции и подготовки к комплексным тренажёрным занятиям.

Заключение

Таким образом, применение VR-тренажёров в подготовке судоводителей скоростных судов на подводных крыльях является перспективным направлением развития практико-ориентированного обучения. Разработанная методика проектирования сценариев аварийных ситуаций основана на принципах профессиональной релевантности, причинно-следственной логики, вариативности условий, поэтапного усложнения, объективной оценки и методической завершённости.

Предложенный подход позволяет использовать VR-тренажёр не только как средство визуализации, но и как полноценный инструмент формирования профессиональных навыков, связанных с распознаванием угроз, принятием решений и безопасным управлением судном в сложных условиях. Сценарная карта, классификация аварийных ситуаций и система критериев оценки создают основу для разработки библиотеки учебных сценариев и последующего контроля образовательных результатов.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенной методики при создании VR-тренажёров, проектировании учебных занятий и разработке программ дополнительной подготовки судоводителей. Перспективы дальнейшей работы связаны с разработкой библиотеки сценариев и экспериментальной проверкой эффективности методики в образовательном процессе.

Список литературы:

1. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), 1978, as amended. London : International Maritime Organization, 1978.
2. Mallam S. C., Nazir S., Renganayagalu S. K. Rethinking Maritime Education, Training, and Operations in the Digital Era: Applications for Emerging Immersive Technologies // Journal of Marine Science and Engineering. 2019. Vol. 7, no. 12. Art. 428. DOI: 10.3390/jmse7120428.



3. Sellberg C. From briefing, through scenario, to debriefing: the maritime instructor's work during simulator-based training // *Cognition, Technology & Work*. 2018. Vol. 20, no. 1. P. 49–62. DOI: 10.1007/s10111-017-0446-y.
4. Kim T.-e., Sharma A., Bustgaard M., Gyldensten W. C., Nymoen O. K., Tusher H. M., Nazir S. The continuum of simulator-based maritime training and education // *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2021. Vol. 20. P. 135–150. DOI: 10.1007/s13437-021-00242-2.
5. Dewan M. H., Godina R., Chowdhury M. R. K., Noor C. W. M., Wan Nik W. M. N., Man M. Immersive and Non-Immersive Simulators for the Education and Training in Maritime Domain—A Review // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023. Vol. 11, no. 1. Art. 147. DOI: 10.3390/jmse11010147.
6. Makransky G., Klingenberg S. Virtual reality enhances safety training in the maritime industry: An organizational training experiment with a non-WEIRD sample // *Journal of Computer Assisted Learning*. 2022. Vol. 38, no. 4. P. 1127–1140. DOI: 10.1111/jcal.12670.

