

DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-9-5-22

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТУПНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА УНИВЕРСИТЕТСКОЙ ПЛАТФОРМЕ MOODLE

Е. А. Косова¹ ✉, А. С. Гапон², К. И. Редкокош³

¹ Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, г. Симферополь, Республика Крым, Россия

² Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

✉ lynx99@inbox.ru

Аннотация

Целью статьи является оценка доступности для лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) электронных образовательных ресурсов (ЭОР), опубликованных в системе управления обучением (СУО) Moodle университета. В анализе участвовали 22 ЭОР по математическим и информационно-технологическим дисциплинам, размещенные в СУО Moodle Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Алгоритм экспертизы включал анализ с использованием инструмента автоматической проверки веб-доступности WAVE и экспертный анализ веб-доступности визуальными, аудиальными и мануальными методами по 89 признакам. Обнаружены множественные нарушения доступности платформы Moodle и размещенных на ней ЭОР. К наиболее серьезным проблемам платформы относятся: отсутствие совместимости с текстовыми браузерами; погрешности воспроизведения программами экранного доступа; нарушения воспроизведения контента на мобильных устройствах. Перечень ошибок доступности, допущенных авторами-преподавателями, включает: неправильное оформление гиперссылок (22,7 % ЭОР); отсутствие субтитров (13,6 %), стенограмм (22,7 %), конспектов, альтернативных видеолекций (27,3 %), альтернативных подписей к рисункам (68,2 %), специальной разметки для математической нотации (36,4 %) и программного кода (13,6 %); ограничение времени для тестов (9,1 %) и др. В результате исследования подтверждена необходимость обучения преподавателей технологиям разработки доступного образовательного веб-контента. Целесообразно знакомить веб-разработчиков, разворачивающих СУО в университетах, с основными положениями веб-доступности, функциями и модулями доступности СУО для выбора наиболее подходящей платформы, определения и установки необходимого комплекта модулей доступности. Все ЭОР перед запуском должны проходить обязательную экспертную проверку на соблюдение правил веб-доступности для лиц с ОВЗ.

Ключевые слова: оценка веб-доступности, электронное обучение, обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья, электронные образовательные ресурсы, Moodle, математика, информатика.

Для цитирования:

Косова Е. А., Гапон А. С., Редкокош К. И. Исследование доступности электронных образовательных ресурсов на университетской платформе Moodle. *Информатика и образование*. 2021;36(9):5–22. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-9-5-22

EXAMINATION OF THE ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES ACCESSIBILITY ON THE UNIVERSITY MOODLE PLATFORM

Ye. A. Kosova¹ ✉, A. S. Gapon², K. I. Redkokosh³

¹ V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, The Republic of Crimea, Russia

² ITMO University, St. Petersburg, Russia

³ Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

✉ lynx99@inbox.ru

Abstract

The purpose of the article is to assess the accessibility of electronic educational resources (EER) published in the university Moodle Learning Management System (LMS). The analysis involved 22 EERs in mathematical and information technology disciplines, located in the Moodle LMS of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. The examination algorithm included analysis using the Web Accessibility Evaluation Tool (WAVE) and expert analysis of web accessibility using visual, auditory and manual methods based on 89 checklist attributes. In the result of the analysis, multiple accessibility errors of the Moodle platform and the EERs hosted on it were found. The most serious platform problems include: lack of compatibility with text browsers; errors of reproduction by screen readers;

errors of content reproduction on mobile devices. The list of accessibility errors made by the authors of EERs includes: incorrect design of hyperlinks (22.7 % of the EERs); lack of subtitles (13.6 %), transcripts (22.7 %), synopses of video lectures (27.3 %); lack of alternative descriptions for figures (68.2 %); time limit for tests (9.1 %); lack of special markup for mathematical notation (36.4 %) and program code (13.6 %), etc. Results of the survey show need in training of EERs' authors in technologies for developing accessible educational web content. It is advisable to familiarize web developers deploying an LMS at universities with the basics of web accessibility, LMS accessibility functions and modules in order to select the most suitable platform, determine and install the required set of accessibility tools. Before launching all EERs should be subject to mandatory examination for compliance with the web accessibility guidelines.

Keywords: web accessibility assessment, e-learning, students with disabilities, electronic educational resources, Moodle, mathematics, informatics.

For citation:

Kosova Ye. A., Gapon A. S., Redkokosh K. I. Examination of the electronic educational resources accessibility on the university Moodle platform. *Informatics and Education*. 2021;36(9):5–22. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-9-5-22 (In Russian.)

1. Введение

Согласно современным представлениям, электронная информационно-образовательная среда (ЭИОС) вуза должна включать информационно-коммуникационные технологии, электронные информационные ресурсы и электронные образовательные ресурсы (ЭОР), обеспечивая «освоение обучающимися образовательных программ в полном объеме независимо от места нахождения обучающихся» [1]. Глобальный кризис 2020–2021 годов, связанный с развитием пандемии COVID-19, объявлением карантинных мероприятий и переносом обучения в дистанционный формат, простимулировал наполнение ЭИОС учебных заведений и вынудил преподавателей оперативно решать задачи переноса своих курсов в режим электронного обучения с использованием дистанционных образовательных технологий [2]. Системы управления обучением (СУО), развернутые на университетских площадках в интернете, позволили преподавателям самостоятельно создавать и наполнять онлайн-курсы, используя широкий диапазон функциональных возможностей СУО — от демонстрации нового материала до проверки сформированности компетенций студентов. Наиболее популярной свободно распространяемой СУО с открытым исходным кодом является платформа Moodle (от *англ.* Modular Object Oriented Dynamic Learning Environment — модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда) [3]. К середине августа 2021 года Moodle имела 186 тыс. веб-сайтов и 282 млн пользователей в 245 странах мира; Российская Федерация входила в топ-10 стран по количеству зарегистрированных веб-сайтов Moodle [4].

На первый взгляд, созданы благоприятные условия для функционирования полноценных вузовских ЭИОС, насыщенных актуальными ЭОР. Однако по сей день *остаётся проблемой обеспечение веб-доступности ЭОР для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ)*. Под **веб-доступностью** понимают инклюзивную практику конструирования веб-интерфейсов, при которой веб-технологии, веб-инструменты и веб-контент могут быть продуктивно использованы людьми с особыми потребностями, в том числе с ОВЗ [5]. Так, в результате эмпирического анализа веб-доступности ведущих площадок открытого образования (Coursera, EdX, Udacity, OpenCourseWorld, Iversity) выявлено, что

ни одна из платформ не соответствует в полной мере требованиям доступности для лиц с ОВЗ [6–8]. Оценка веб-доступности массовых открытых онлайн-курсов (МООК) обнаруживает множественные нарушения доступности образовательного контента, о чем свидетельствуют результаты исследований, представленные в [6, 9–11]. Анализ СУО Moodle, выполненный в работах [12, 13], продемонстрировал слабую доступность платформы для людей с нарушением зрения. Авторы работы [14] на основании результатов эвристического анализа показали, что СУО Canvas более доступна, чем Moodle, хотя также не лишена недостатков. В работе [15] отмечается, что авторы ЭОР в большинстве случаев некомпетентны в создании доступных цифровых материалов, что отражается на восприимчивости, управляемости, понятности и надежности образовательного веб-контента.

Правила доступности веб-контента регламентированы Руководящими принципами веб-доступности (*англ.* Web Content Accessibility Guidelines, WCAG), которые разрабатываются специализированными рабочими группами Инициативы по обеспечению веб-доступности (*англ.* Web Accessibility Initiative, WAI) Консорциума Всемирной паутины (*англ.* World Wide Web Consortium, W3C). Текущая версия WCAG 2.1 [16] включает четыре главных принципа веб-доступности, 13 положений веб-доступности и 78 проверяемых критериев успешного выполнения этих положений (далее — проверяемые критерии) Руководство WCAG 2.1 определяет три уровня соответствия веб-контента положениям веб-доступности (по уменьшению важности и возрастанию сложности соблюдения критериев): А — самый приоритетный, но наименее требовательный, AA — средний, AAA — самый требовательный, но наименее приоритетный.

Для оценки веб-доступности ЭОР используют [17]:

- методы автоматического тестирования с помощью онлайн-инструментов;
- методы экспертной оценки человеком или группой лиц, в том числе лицами с ОВЗ;
- методы оценки с помощью программ-симуляторов [17].

Учитывая изложенное, можно сказать, что оценка доступности ЭОР, размещенных в ЭИОС СУО, важна для:

- уточнения глубины проблемы доступности электронного обучения для лиц с ОВЗ;

- выявления ошибок доступности, их причин и способов устранения;
- выработки предназначенных для авторов и разработчиков образовательного веб-контента общих рекомендаций по недопущению проблем доступности.

Целью представленной в данной статье работы было комплексное исследование доступности ЭОР (онлайн-курсов), размещенных на платформе Moodle одним из российских университетов, на примере математических и информационно-технологических дисциплин.

2. Материалы и методы

Исследование выполнено в мае—июле 2021 года на базе Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского (КФУ). В анализе участвовали ЭОР по математическим и информационно-технологическим дисциплинам для направлений подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» и 01.03.04 «Прикладная математика», размещенные на платформе Moodle КФУ*. Из всех опубликованных ЭОР (всего 66) для анализа было отобрано 22 курса. Отбор осуществлялся при соблюдении следующих обязательных критериев:

- ЭОР соответствует рабочей программе дисциплины;
- ЭОР содержит теоретический материал (лекции, методические рекомендации) в объеме не менее 70 % от заявленного в рабочей программе дисциплины;
- ЭОР содержит практические задания и/или тесты с возможностью обратной связи.

Алгоритм экспертизы доступности ЭОР разрабатывался в соответствии с методологией оценки соответствия доступности веб-ресурсов (*англ.* Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology, WCAG-EM) версии 1.0 [18] и включал три этапа:

- *этап 1* — подготовка к исследованию;
- *этап 2* — анализ веб-контента с использованием инструментов автоматической проверки;
- *этап 3* — экспертный анализ веб-контента визуальными, аудиальными и мануальными методами.

К экспертизе были привлечены три специалиста, обладающие компетенциями в области математики, информатики, веб-разработки и методов оценки веб-доступности, имеющие права администраторского доступа к курсам Moodle КФУ. Работы по оценке доступности веб-контента выполнялись в интерфейсе курсов, соответствующем роли «Студент», работы по анализу причин нарушений веб-доступности — в интерфейсе, соответствующем роли «Управляющий».

Для отладки алгоритма экспертизы веб-доступности экспертами независимо друг от друга была

выполнена проверка одного из отобранных курсов с последующим сравнением результатов, обсуждением и коррекцией методики.

На этапе 1 — подготовка экспертизы — были реализованы следующие шаги:

- 1) определены характеристики отобранных ЭОР (*Приложение 1*);
- 2) для уточнения глубины и детальности проверки выбран уровень АА соответствия требованиям доступности WCAG 2.1. Согласно [16], веб-страница удовлетворяет уровню АА, если обеспечено соответствие всем проверяемым критериям уровней А и АА либо предоставляется альтернативная версия уровня доступности АА**. Соответствие уровню ААА носит факультативный характер;
- 3) выбрано аппаратное и программное обеспечение для экспертов, обеспечивающее базовый набор для поддержки специальных возможностей при оперировании веб-контентом:
 - для просмотра веб-страниц — графические браузеры Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge, Opera, текстовый браузер Links;
 - для проверки качества воспроизведения веб-страницы на мобильных устройствах и при изменении разрешения экрана и масштабировании контента — расширение Web Developer в браузерах Google Chrome и Mozilla Firefox;
 - для проверки цветовой контрастности — Contrast Checker***, для определения цвета пикселя — опция «Определить цвет пикселя онлайн»****;
 - для проверки правильности озвучивания веб-страниц, функций медиаплеера, текста разных типов, включая математическую нотацию и программный код, — программы экранного доступа, в том числе «Экранный диктор» для Windows 10, NVDA для Windows, Chrome Vox браузера Google Chrome, «Прочсть вслух» браузера Microsoft Edge;
- 4) проведена систематизация веб-страниц отобранных курсов по структуре, методам наполнения и логике обучения. В результате выделены следующие типы веб-страниц: «Главная страница», «Объявление», «Задание», «Тест», «Лекция», «Чат». Определена репрезентативная выборка веб-страниц, подлежащих проверке, — по одной странице каждого типа для каждого курса;

** Под альтернативной версией веб-страницы понимают веб-страницу, эквивалентную данной по содержанию, но отличную по форме (например, версия для слабовидящих с увеличенным размером шрифта и контрастом или текстовая версия для веб-страницы, содержащей видео, симуляции или иллюстрации).

*** Contrast Checker. <https://webaim.org/resources/contrastchecker/>

**** Определить цвет пикселя онлайн. <https://sanstv.ru/color>

* Moodle КФУ им. В. И. Вернадского: категории курсов. <https://moodle.cfuv.ru/>

5) определены границы и объем проверки доступности ЭОР:

- автоматическая проверка ЭОР — 22 курса;
- экспертная проверка главных страниц ЭОР, всех модулей и элементов ЭОР, внутренних образовательных ресурсов и внешних видеороликов — 22 курса;
- автоматическая проверка главных страниц внешних ЭОР, на которые даны ссылки, — три веб-ресурса;
- экспертная проверка программных инструментов для воспроизведения видео — пять медиаплееров;

6) в целях оценки доступности веб-контента выбрана бинарная метрика для порядковой шкалы уровней соответствия WCAG 2.1 (курс доступен/не доступен в соответствии с уровнем AA) [19] в сопровождении комментариев и рекомендаций.

На этапе 2 — автоматический анализ — выполнялась проверка веб-доступности репрезентативной выборки страниц каждого курса и главных страниц внешних образовательных веб-ресурсов с помощью онлайн-инструмента WAVE* с последующей оценкой результатов.

На этапе 3 — экспертный анализ веб-контента визуальными, аудиальными и мануальными методами — для выполнения экспертного анализа ЭОР сформированы чек-листы доступности (*Приложение 2*, столбец «Проверяемый признак») по следующим рубрикам:

- 1) общая доступность (20 признаков);
- 2) доступность медиаматериалов (23 признака);
- 3) доступность цифровых документов (шесть признаков);
- 4) доступность тестов (семь признаков);
- 5) доступность заданий (шесть признаков);
- 6) доступность математической нотации (16 признаков);
- 7) доступность программного кода (11 признаков).

Для экспертной проверки доступности медиаплееров сформирован чек-лист, содержащий 11 признаков (*Приложение 3*).

Экспертная оценка выполнялась по кватернальной шкале:

«1» — признак присутствует;

«2» — признак отсутствует;

«3» — признак присутствует для части контента/интерфейса;

«-» — сведения недоступны.

3. Автоматическая проверка веб-доступности

В результате автоматической проверки веб-сервисом WAVE для всех 22 курсов (100 %) зафиксиро-

ваны идентичные ошибки доступности и выданы предупреждения о возможных нарушениях доступности уровней соответствия А и АА, которые являются упущениями платформы Moodle и не зависят от авторов учебного контента. Всего зарегистрировано три типа ошибок и восемь типов предупреждений. В таблице 1 приведены описание обнаруженных проблем доступности и предложения по их устранению, сформулированные WAVE.

Обнаруженные в Moodle ошибки не относятся к разряду критических. Например:

- отсутствие альтернативного текста зарегистрировано только для аватаров пользователей;
- низкий контраст зафиксирован для количества непросмотренных уведомлений и идентификатора поискового поля (который читается программой экранного доступа);
- пустые ссылки связаны с некорректной HTML-разметкой навигации внутри страницы, но фактически не препятствуют перемещению пользователя.

В отличие от ошибок, определенно указывающих на дефект доступности, предупреждения сообщают о потенциально возможных проблемах, которые могут привести к затруднениям пользователя. Анализ HTML-кода выявил следующее:

- предупреждение «очень короткий текст» относится к количеству непросмотренных уведомлений;
- «длинный альтернативный текст» генерируется для каждого элемента курса автоматически и включает описание и название текущего элемента;
- «элемент, заменяющий скрипт» не влияет на функционирование веб-страницы.

Перечисленные особенности HTML-кода не ограничивают доступность, т. е. проблемами не являются. В то же время избыточность альтернативного текста, заголовков и ссылок приводит к дублированию текстовой подписи, что может вызвать у пользователя дискомфорт при озвучивании контента программами экранного доступа. Представление данных в виде таблицы без особой в этом необходимости и пропущенные уровни заголовков также могут дезориентировать пользователей программ экранного доступа.

Автоматическая проверка внешних образовательных веб-ресурсов, на которые ссылаются исследованные ЭОР, выявила множественные ошибки доступности уровней А и АА, а именно:

- некорректное оформление форм и параметров языка веб-страницы;
- отсутствие альтернативного текста для рисунков и ссылок;
- нефункциональные кнопки и ссылки;
- нарушения цветового контраста.

Таким образом, рекомендованные дополнительные внешние ресурсы нельзя считать доступными для лиц с ОВЗ в соответствии с уровнем АА.

* WAVE — Web Accessibility Evaluation Tool. <https://wave.webaim.org/>

Таблица 1 / Table 1

**Недостатки доступности ЭОР по математике и информатике,
 обнаруженные в результате автоматической проверки онлайн-курсов**

**Disadvantages of the accessibility of electronic educational resources in mathematics and informatics
 discovered as a result of automatic verification of online courses**

№ п/п	Наименование проблемы	Нарушенный проверяемый критерий WCAG 2.1	Уровень соответствия WCAG 2.1	Рекомендации WAVE по устранению
1	Ошибки			
1.1	Отсутствует альтернативный текст*	1.1.1. Нетекстовый контент	A	Добавить к изображению атрибут <i>alt</i>
1.2	Пустая ссылка	2.4.4. Цель ссылки в контексте	A	Удалить пустую ссылку или указать в ней текст, описывающий функции или цель этой ссылки
1.3	Очень низкий контраст	1.4.3. Контраст (минимум)	A	Увеличить контраст между цветом переднего плана (текста) и цветом фона до 4,5:1
2	Предупреждения			
2.1	Длинный альтернативный текст	1.1.1. Нетекстовый контент	A	Сократить альтернативный текст либо представить его другим способом (например, в тексте рядом с изображением, на отдельной странице описания и т. д.)
2.2	Очень короткий текст	Нет	Нет	Увеличить текст до более удобочитаемой длины
2.3	Избыточный текст заголовка	Нет	Нет	Удалить атрибут <i>title</i> , если это возможно, или изменить его, чтобы предоставить полезную, но не избыточную информацию
2.4	Избыточный альтернативный текст	1.1.1. Нетекстовый контент	A	Изменить альтернативный или смежный текст, чтобы исключить избыточность; в большинстве случаев достаточно задать пустой альтернативный текст (<i>alt = ""</i>)
2.5	Пропущенный уровень заголовка	1.3.1. Информация и отношения 2.4.1. Обход блоков 2.4.6. Заголовки и метки	A, AA	Изменить структуру заголовков в документе, чтобы избежать пропуска уровней заголовков
2.6	Элемент, заменяющий скрипт	Нет	Нет	Убедиться, что содержимое со сценарием <i><noscript></i> доступно для всех пользователей
2.7	Избыточная ссылка	2.4.4. Цель ссылки в контексте	A	Объединить избыточные ссылки в одну ссылку и удалить лишний или альтернативный текст
2.8	Макет таблицы	1.3.1. Информация и отношения 1.3.2. Значимая последовательность	A	Заменить таблицу на альтернативный способ структурирования контента на основе CSS или добавить теги заголовков <i><th></i> , убедиться в логичности порядка чтения и навигации по содержимому таблицы, задать атрибут <i>role = «presentation»</i>

* Под *альтернативным текстом* понимают текстовый эквивалент нетекстового контента (например, текстовое описание для рисунка или субтитры для видео).

4. Проверка веб-доступности визуальными, аудиальными и мануальными методами

4.1. Общая доступность

В результате проверки общей доступности ЭОР обнаружены ошибки разработчиков платформы, одинаковые во всех 22 курсах (100 %), и ошибки, допущенные авторами веб-контента, регистрируемые с разной частотой.

К нарушениям доступности платформы относятся отсутствие пользовательских инструментов для изменения размера шрифта и цветовой схемы, а также несовместимость платформы с текстовыми браузерами. При изменении разрешения экрана или размера окна браузера, а также при работе с курсом на мобильных устройствах наблюдались нарушения структуры и читабельности в элементах форума (смещение информационных блоков, отсутствие полос прокрутки), что затрудняло восприятие информации и ограничивало возможности коммуникации. Отмечены также нарушения, связанные с рассогласованием клавиатурного фокуса и озвучивания, дублированием воспроизведения для имен прикрепленных файлов, элементов меню, вариантов ответов в тестах. Вместе с тем платформа поддерживает воспроизведение веб-страниц в основных графических браузерах и на мобильных устройствах, текстовый контент логично и последовательно воспроизводится при отключении в браузере стилей. Программы экранного доступа воспроизводят интерфейс платформы удовлетворительно.

К существенным ошибкам авторов контента относится неправильное оформление гиперссылок (5 курсов — 22,7 %). Например, цель ссылки может быть не ясна из текста ссылки, так как текст представляет собой унифицированный указатель ресурса или текст ссылки программно не определен как ссылка. Значительная часть проанализированных курсов (9 курсов — 40,9 %) не структурирована однородно и предсказуемо, содержимое элементов нередко не соответствовало их назначению (5 курсов — 22,7 %). В отдельных случаях допущены нарушения последовательности размещения блоков (например, задание опубликовано раньше лекции или задания выделены в отдельный модуль). Наиболее удачная с точки зрения доступности структура модулей имеет следующий вид: видеолекция, текстовый эквивалент лекции, задание (опционально), тест.

Среди нарушений, допущенных авторами всех проанализированных ЭОР (22 ЭОР — 100 %), следует отметить отсутствие глоссария, списка сокращений, описания курса с указанием стартовых компетенций обучающихся, результатов обучения, необходимого аппаратного и программного обеспечения, порядка и сроков прохождения модулей и т. д. Кроме того, на главных страницах ЭОР рекомендованы к размещению, но отсутствуют так называемые заявления о доступности, содержащие просьбу к слушателям

незамедлительно связаться с разработчиком, автором или преподавателем курса в случае возникновения проблем доступности, и соответствующие контактные данные.

В *Приложении 2* приведены числовые результаты проверки доступности ЭОР визуальными, аудиальными и мануальными методами.

4.2. Доступность медиаматериалов

Выявлено девять ЭОР (40,9 %) с видеоконтентом. Авторы использовали (иногда в сочетаниях) следующие подходы к использованию видео в своих курсах:

- записи авторских видеолекций в формате захвата видео с экрана (скринкаста) и в аудитории;
- ссылки на видеолекции, размещенные на внешних онлайн-курсах.

Все лекции имели удовлетворительное качество видео- и звукового воспроизведения.

Обнаружено, что наибольшие проблемы доступности связаны с интерфейсом программ для воспроизведения видеоконтента. Так, в числе рекомендованных авторами курсов плееров есть Mail.ru и Яндекс.Диск, которые имеют серьезные проблемы совместимости с программами экранного доступа и не поддерживают управление только с помощью клавиатуры. В интерфейсе YouTube имеются нарушения клавиатурного доступа к настройкам параметров, в плеере «ВКонтакте» — к панели оценки и репоста видео. Для всех медиаплееров зарегистрированы проблемы с контрастностью, так как панель управления имеет прозрачный фон. Интерфейс плеера Moodle достаточно корректно воспроизводится программами экранного доступа, с отдельными погрешностями идентификации времени трека и окна плеера. Из всех проанализированных медиаплееров только YouTube полностью поддерживает режимы субтитров и стенограмм за исключением выбора позиционирования субтитров; в плеере Moodle предусмотрено воспроизведение предварительно записанных субтитров. Плееры Mail.ru и «ВКонтакте» имеют погрешности воспроизведения в мобильной версии. В *Приложении 3* приведены результаты оценки функций доступности проанализированных онлайн-инструментов для воспроизведения видеоконтента.

Остальные нарушения доступности видеоконтента связаны с недоработками авторов курсов. Так, видеолекции не имеют авторских субтитров и стенограмм. Субтитры, автоматически созданные сервисом YouTube (6 ЭОР — 27,3 %), точно синхронизированы с аудиорядом, но содержат множественные ошибки, связанные с неправильным распознаванием речи, и недоступны для скачивания по прямой ссылке.

Во всех 22 курсах (100 %) отсутствуют стенограммы с расшифровкой не озвученных, но важных для понимания контекста видеофрагментов лекций (например, вывод формул или выполнение построений лектором) и интерпретация видеоряда с помощью языка жестов.

Лекторы, как правило, не проговаривают детально то, что пишут, чертят или показывают на экране,

что приводит к сложностям восприятия материала только на слух. Согласно WCAG 2.1, можно избежать устного описания всех визуальных фрагментов, важных для понимания контекста, если предусмотреть текстовый конспект видеолекции. Однако конспекты, альтернативные (но не идентичные) видеоряду, обнаружены только в трех курсах (13,6 %).

В контенте всех видеолекций выявлены не критичные нарушения контраста, которые, как правило, связаны с характеристиками «полотна» лектора. Например:

- для видеолекций, снятых в аудитории, контраст на маркерной доске (черный или синий текст на белом фоне) выше, чем на аудиторной (белый на зеленом);
- на экране компилятора в видеолекциях-скринкастах ошибки контраста зарегистрированы для комментариев, ключевых слов и сообщений об ошибках в программном коде.

Размер шрифта в видеолекциях приемлем для восприятия. В принципе проблемы контрастности, размера шрифта и прочих визуальных характеристик видеоматериалов можно нивелировать при наличии альтернативного конспекта.

4.3. Доступность цифровых документов

Наиболее серьезные проблемы доступности обнаружены в документах форматов PDF, DOC и DjVu (19 ЭОР — 86,4 %), причем все ошибки допущены авторами курсов. Так, рисунки (формулы, чертежи и другие иллюстрации, значимые для понимания контекста), как правило, не имеют альтернативных подписей и описаний (15 ЭОР — 68,2 %), при этом в тексте документов не всегда присутствуют ссылки на рисунки. Имеются нарушения последовательности и правильности озвучивания текста программами экранного доступа, связанные с отсутствием в документах программно определенных структуры и языка. Обнаружены также ошибки при чтении вслух таблиц, научной нотации, схем и рисунков. В результате в 12 курсах (54,5 %) критерий адекватности озвучивания программами экранного доступа не выполняется. Кроме того, в цифровых документах выявлены нарушения, связанные с некорректным оформлением гиперссылок (4 ЭОР — 18,2 %).

Единственным критерием, по которому большинство документов (17 ЭОР — 77,3 %) соответствуют требованиям WCAG 2.1, является контраст между текстом и фоном.

4.4. Доступность тестов и заданий

Выявлено восемь ЭОР (36,4 %) с тестами и 17 (77,3 %) с заданиями. Исследование показало высокий уровень доступности инструментов для создания тестов и заданий на платформе Moodle, а именно:

- широкий диапазон форматов для тестовых вопросов позволяет выбрать структуру теста, которая не требует обязательного использования зрения и уверенного манипулирования графическими объектами;

- интерфейсом тестов и заданий можно управлять только с помощью клавиатуры;
- структура интерфейса проверочных элементов определена программно и адекватно воспроизводится программами экранного доступа.

Фактически все ошибки доступности, обнаруженные в проверочных элементах ЭОР, допущены авторами. Так, в тестах и заданиях присутствуют таблицы в виде рисунков и рисунки, не имеющие текстового описания (11 ЭОР — 50,0 %). Следует отметить, что платформа предлагает добавить такое описание каждый раз при вставке рисунка в контент. В отдельных случаях (4 ЭОР — 18,2 %) задания полностью представлены в виде рисунков, что приводит к полной потере распознавания программами экранного доступа. Элемент «Задание» иногда используется не по назначению (только для формулировки задания, без настройки обратной связи) (2 ЭОР — 9,1 %). Зафиксированы также дефекты озвучивания содержания тестов (4 ЭОР — 18,2 %) и заданий (14 ЭОР — 63,6 %), связанные с некорректной разметкой научной нотации. Экзаменационные тесты имеют ограничения по времени без уведомления об истечении времени и возможности продления временного лимита (2 ЭОР — 9,1 %).

Важно обратить внимание на то, что в курсах присутствуют задания, требующие визуального восприятия для формирования необходимых навыков (например, изучить предложенное изображение и самостоятельно воспроизвести его, используя методы программирования) (9 ЭОР — 40,9 %). Требуют дальнейшего исследования вопросы использования подобных заданий, способов их замены или адаптации в обучении лиц с глубокими нарушениями зрения.

4.5. Доступность математической нотации и программного кода

В 15 проанализированных курсах (68,2 %) сохранился математический контент, который представлен в виде текста (13 ЭОР — 59,1 %), рисунков (13 ЭОР — 59,1 %) и видео (5 ЭОР — 22,7 %). В документах PDF и DOC математическая нотация оформлена, как правило, с помощью конструктора формул Microsoft Word; на одном курсе документы PDF получены с помощью разметки LaTeX. Авторами шести ЭОР (27,3 %) использовались системы разметки LaTeX и MathML, встроенные в HTML-контент в элементах «тест», «задание», «лекция». Необходимо подчеркнуть, что в визуальном текстовом редакторе Moodle предлагается инструмент для ввода формул в формате LaTeX, к текущей версии платформы подключена кроссбраузерная библиотека MathJax, позволяющая отображать математическую нотацию в форматах LaTeX и MathML. Контент, созданный с использованием математической разметки MathML, озвучивается программами экранного доступа адекватно, но с небольшими погрешностями, которые могут быть устранены при установке на компьютер пользователя расширений для чтения математической нотации.

Математическая нотация, представленная в виде рисунков (формулы, таблицы, чертежи и построения), зачастую не имеет альтернативного описания (13 ЭОР — 59,1 %). Игнорирование большинством авторов специальной разметки приводит к тому, что математический контент не распознается как таковой. Таким образом, для формул остаются нереализованными функции поиска, масштабирования и адаптации для различных разрешений экрана. По этой же причине программа экранного доступа некорректно озвучивает или пропускает математический контент как в лекционных, так и в проверочных блоках (14 ЭОР — 63,6 %). Дополнительные сложности озвучивания связаны с отсутствием программно определенного языка для математического контента в линейном формате.

Видео с математической нотацией подробно комментируются лекторами, однако для полного понимания материала необходима текстовая альтернатива, а именно — неавтоматические субтитры (отсутствуют), стенограмма (отсутствует) и конспект (присутствует в трех ЭОР, но не идентичен видео).

Программный код включен в контент 10 курсов (45,5 %) в виде рисунков (4 ЭОР — 18,2 %), видео (4 ЭОР — 18,2 %), текста (4 ЭОР — 18,2 %), файлов (3 ЭОР — 13,6 %) и в аутентичном формате, встроенном в разметку HTML (7 ЭОР — 31,8 %). Анализ показал, что программа экранного доступа адекватно озвучивает программный код (посимвольно и построчно) только в том случае, если он представлен в аутентичном формате с использованием блочного элемента `<pre>`. Во всех остальных форматах программный код либо не озвучивается, либо зачитывается с пропусками и ошибками, обесценивающими сам процесс аудиовоспроизведения.

В проанализированной версии Moodle отсутствуют встроенные расширения-компиляторы, позволяющие обучающимся редактировать, запускать и проверять свои программы внутри платформы. Текстовых инструкций по установке и использованию сторонних компиляторов обнаружить также не удалось.

5. Обсуждение

Насколько известно авторам, выполненное исследование является первым опубликованным анализом доступности русскоязычных ЭОР, размещенных на платформе Moodle. С помощью оригинального алгоритма экспертной оценки получены веские аргументы, свидетельствующие о низкой доступности ЭОР по математическим и компьютерным дисциплинам, в частности для лиц с ОВЗ. Согласно выбранной метрике оценивания, проанализированные курсы не доступны в соответствии с уровнем AA WCAG 2.1 и имеют критические ошибки доступности на уровне А. Полученные результаты коррелируют с публикациями по оценке доступности МООК. Так, в работе [10] обнаружена низкая доступность математических МООК, особенно для людей с глубокими нарушениями зрения, в работе [11] получены аналогичные результаты в отношении МООК по программированию и компьютерным наукам.

В результате *автоматического анализа* на платформе Moodle не выявлено ни одной ошибки доступности, связанной с недоработками авторов. Найденные погрешности относятся к интерфейсу платформы и не являются критическими.

Дальнейший *экспертный анализ* позволил обнаружить более серьезные ошибки платформы, требующие вмешательства в ее структуру, что подтверждает необходимость выполнения обследования комплексно — автоматически и человеком [20].

Сравнивая полученные результаты с данными предыдущих исследований, можно утверждать, что за последние годы в интерфейсе Moodle произошли положительные изменения в отношении доступности; к аналогичным выводам пришел автор обзора [21]. Так, в работах [12, 13], относящихся к 2011 и 2014 годам, обнаружена низкая доступность платформы для программ экранного доступа, тогда как в настоящем исследовании компоненты интерфейса Moodle в целом воспроизводились логично и последовательно, критичные ошибки не выявлены. В работе [22] 2010 года есть указание на ограниченное использование плагинов доступности в версиях Moodle, развернутых на базе учебных заведений; однако в ходе текущего анализа платформы обнаружены опции расширения доступности для пользователей, включая систему принудительного добавления альтернативного текста к рисункам, инструменты проверки доступности контента в текстовых редакторах, визуальный редактор формул LaTeX, инструменты для взаимного преобразования форматов LaTeX и MathML. В работе [23] приведены данные, подтверждающие доступность редакторов LaTeX в интерфейсе Moodle для пользователей с глубокими нарушениями зрения.

В то же время, согласно выполненной нами оценке, доступность платформы Moodle нуждается в доработке. Так, как минимум необходимо добавить следующие расширения:

- 1) элементы пользовательской настройки интерфейса (например, плагин «Accessibility»^{*});
- 2) медиаплееры с расширенными возможностями доступности (например, плеер «VideoJS player»^{**});
- 3) компиляторы (например, плагин «Virtual Programming Lab»^{***}).

Все указанные расширения относятся к свободно распространяемому программному обеспечению и могут быть установлены на платформу Moodle каждого вуза на этапе ее сборки.

Обнаружены также нарушения визуального доступа к платформе при изменении разрешения экрана и воспроизведении на мобильных устройствах, что согласуется с работой [24], демонстрирующей проблемы поиска и идентификации данных в мобильных интерфейсах Moodle.

* Accessibility. https://moodle.org/plugins/block_accessibility

** VideoJS player. https://docs.moodle.org/311/en/VideoJS_player

*** Virtual Programming Lab. https://moodle.org/plugins/mod_vpl

Согласно [25], доступности СУО недостаточно для обеспечения инклюзивности обучения, если размещенные на платформе материалы не отвечают критериям доступности. Настоящее исследование подтверждает этот тезис. Допущенные авторами курсов ошибки свидетельствуют о низком уровне профессиональных компетенций в области разработки электронного образовательного контента, доступного для лиц с ОВЗ. Необходимость обязательного обучения преподавателей технологиям проектирования

и разработки доступных ЭОР подтверждается другими исследованиями (см., например, [11, 12]).

В таблице 2 обобщены обнаруженные ошибки доступности и сформулированы рекомендации по их коррекции.

В большинстве случаев проблем доступности контента ЭОР можно избежать, если следовать рекомендациям, изложенным в таблице 2.

Moodle относится к программному обеспечению с открытым исходным кодом, следовательно, *ошибки*

Таблица 2 / Table 2

Проблемы доступности ЭОР по математике и информатике, обнаруженные в результате проверки автоматическими и экспертными методами
Problems of the accessibility of electronic educational resources in mathematics and informatics, discovered as a result of verification by automatic and expert methods

№ п/п	Наименование проблемы	Нарушенный проверяемый критерий WCAG 2.1	Уровень соответствия WCAG 2.1	Рекомендации экспертов по устранению
1	Ошибки платформы			
1.1	Отсутствие совместимости с текстовыми браузерами	4.1. Совместимость	А, АА	Обеспечить возможность аутентификации пользователя в режиме текстового браузера
1.2	Нарушение согласования между озвучиванием программой экранного доступа и фокусом клавиатуры	2.1.1. Клавиатура 2.4.7. Видимый фокус 4.1. Совместимость	А, АА	Выполнить программную настройку логической последовательности воспроизведения веб-страницы
1.3	Отсутствие текстового описания для изображения (аватара) пользователя	1.1.1. Нетекстовый контент	А	Использовать имя пользователя в качестве альтернативного текста к его изображению
1.4	Использование элементов HTML (таблиц, ссылок) без необходимости или не по назначению	2.4.4. Цель ссылки в контексте 1.3.1. Информация и отношения 1.3.2. Значимая последовательность	А	Удалить элементы HTML, которые не используются или привести код веб-страницы в соответствие стандартам разметки
1.5	Нарушение контраста между текстом и фоном в уведомлениях и элементах форм	1.4.3. Контраст (минимум)	А	Увеличить контраст между цветом переднего плана (текста) и цветом фона до 4,5:1
1.6	Нарушение структуры (пропуски) заголовков	1.3.1. Информация и отношения 2.4.1. Обход блоков 2.4.6. Заголовки и метки	А, АА	Выполнить последовательную нумерацию уровней заголовков в документе
1.7	Дублирование озвучивания текстовых элементов	1.1.1. Нетекстовый контент	А	Изменить смежный текст, чтобы исключить избыточность, или задать пустой альтернативный текст (<i>alt = ""</i>)
1.8	Нарушение воспроизведения на мобильных устройствах	1.4.4. Изменение размера текста 1.4.10. Перетекание	АА	Предлагать пользователю мобильную версию платформы, удовлетворяющую требованиям доступности
1.9	Отсутствие инструментов для пользовательской настройки интерфейса	1.4.8. Визуальное отображение	ААА	Добавить на платформу расширения для самостоятельной настройки интерфейса пользователем
2	Ошибки авторов контента			
2.1	Неправильное оформление гиперссылок	2.4.4. Цель ссылки (в контексте)	А	Подготовить и разместить описательные текстовые гиперссылки, определяющие точное и однозначное направление перехода

Окончание табл. 2 /
 End of the table 2

№ п/п	Наименование проблемы	Нарушенный проверяемый критерий WCAG 2.1	Уровень соответствия WCAG 2.1	Рекомендации экспертов по устранению
2.2	Отсутствие субтитров, стенограмм, конспектов, альтернативных видеоряду	1.1.1. Нетекстовый контент 1.2.2. Титры 1.2.3. Звуковое описание или альтернативная медиаверсия (в записи)	A	Подготовить и разместить субтитры и стенограммы ко всем видеоматериалам курса (рекомендуемый инструмент — YouTube); подготовить и разместить конспекты видеолекций в доступном формате
2.3	Включение в контент заданий, требующих обязательного использования зрения	1.1.1. Нетекстовый контент 1.3.3. Сенсорные характеристики	A	Предусмотреть альтернативу заданиям, требующим обязательного использования зрения, или пометить выполнение таких заданий как необязательное
2.4	Представление математической нотации и программного кода без использования специальной разметки	1.1.1. Нетекстовый контент 4.1.1. Синтаксис	A	Использовать для представления математической нотации инструменты визуального редактора LaTeX, для программного кода — разметку HTML с использованием тега <pre>
2.5	Ограничения по времени для экзаменационных тестов	2.2.1. Настройка времени	A	Снять ограничение по времени или добавить возможность продления времени
2.6	Выбор авторами малодоступных внешних платформ	Нет	Нет	На этапе проектирования ЭОР выполнять проверку доступности внешних платформ и программного обеспечения
2.7	Отсутствие текстового описания для рисунков; представление текста и таблиц в виде рисунков	1.1.1. Нетекстовый контент 1.4.5. Текст на изображениях	A, AA	Подготовить и разместить альтернативное описание всех значимых изображений; избегать представления текста и таблиц в виде рисунков
2.8	Нарушения структуры и формата документов	1.3.1. Информация и взаимосвязи 1.3.2. Значимая последовательность чтения 3.1.1. Язык страницы 3.1.2. Язык частей контента	A, AA	Выполнить программную настройку структуры, заголовков, списков, таблиц, языка контента; проверить доступность внешних документов по указанным признакам
2.9	Отсутствие глоссария, списка сокращений, описания курса с указанием пререквизитов, результатов обучения, оборудования	3.1.3. Необычные слова 3.1.4. Сокращения 3.1.5. Уровень подготовки	AAA	Добавить и наполнить недостающими элементами блок описания курса и справочный модуль
2.10	Отсутствие заявления о доступности	Нет	Нет	Добавить заявление на главную страницу курса
2.11	Отсутствие перевода на язык жестов	1.2.6. Перевод на язык жестов (в записи)	AAA	Добавить перевод в случае педагогической целесообразности

платформы могут быть устранены компетентными веб-разработчиками на этапе сборки и настройки СУО путем коррекции кода и добавления необходимых расширений.

Устранение *ошибок авторов* касается только образовательного контента и не требует вмешательства в код платформы. Для приведения контента ЭОР к доступному формату автор должен обладать компетенциями в следующих областях:

- руководящие принципы веб-доступности и требования доступности образовательного веб-контента;

- методы проверки доступности ЭОР;
- разработка доступных цифровых документов;
- подготовка доступных изображений и их описание;
- разработка доступных видеоматериалов (включая подготовку субтитров и стенограмм);
- подготовка доступных проверочных материалов (тестов и заданий);
- разработка и размещение онлайн доступного математического контента и программного кода.

6. Заключение

В результате исследования выявлены ограничения доступности популярной в вузах России СУО Moodle. Вместе с тем обнаружено, что данная платформа эволюционирует, появляются ее новые версии и программные модули, установка которых позволяет повысить уровень доступности в целом и для лиц с ОВЗ. Все выявленные проблемы доступности имеют готовые решения. Следует подчеркнуть, что большинство нарушений не обусловлены недостатками платформы Moodle, а допущены авторами контента, что подтверждает необходимость обучения преподавателей вузов технологиям разработки доступного образовательного веб-контента и соответствующих ЭОР. Целесообразно знакомить веб-разработчиков, разворачивающих СУО в университетах, с основными положениями веб-доступности, функциями и модулями доступности СУО для выбора наиболее подходящей платформы, определения и установки необходимого комплекта модулей доступности.

Перед запуском в учебный процесс все ЭОР должны проходить обязательную экспертную (административную) проверку на соответствие образовательным стандартам, основным профессиональным образовательным программам, рабочим программам дисциплин, а также на соблюдение грамотности, этики и правил веб-доступности для лиц с ОВЗ. В состав экспертной группы при учебно-методическом управлении образовательной организации среди прочих участников должны входить специалисты в области веб-доступности образовательного контента, в том числе преподаватели и студенты, прошедшие соответствующее обучение в рамках программ дополнительного профессионального образования. В компетенции экспертной группы помимо функций проверки образовательных материалов и допуска ЭОР к учебному процессу следует включить методическую поддержку (консультирование) авторов-разработчиков на всех этапах создания ЭОР (анализ, проектирование, разработка, внедрение, оценка), в том числе по вопросам разработки доступного образовательного веб-контента.

Список источников / References

1. Федеральный закон от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/
2. Federal Law No. 273-FZ “On Education in the Russian Federation” dated December 29, 2012. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/
3. Исаева Т. Е. Компетенции и «электронная» педагогическая культура преподавателя высшей школы в постпандемическом мире. *Высшее образование в России*. 2021;30(6):80–96. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-6-80-96
4. Isaeva T. E. Higher school teacher’s competences and “electronic” pedagogical culture in the post-pandemic world. *Vyshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. 2021;30(6):80–96. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-6-80-96
5. Turnbull D., Ritesh C., Luck J. Learning management systems: An overview. In: Tatnall A. (ed) *Encyclopedia of*

Education and Information Technologies. Springer Nature; 2020. 1835 p. DOI: 10.1007/978-3-319-60013-0_248-1.

4. Moodle Statistics. 2021. Available at: <https://stats.moodle.org/>

5. Introduction to Web Accessibility. 2019. Available at: <https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-intro/#what>

6. Al-Mouh N., Al-Khalifa A., Al-Khalifa H. A first look into MOOCs accessibility: The case of Coursera. In: Miesenberger K., Fels D., Archambault D., Peñáz P., Zagler W. (eds) *Computers helping people with special needs. ICCHP 2014. Lecture Notes in Computer Science*. 2014;8547:145–152.

7. Bohnsack M., Puhl S. Accessibility of MOOCs. In: Miesenberger K., Fels D., Archambault D., Peñáz P., Zagler W. (eds) *Computers helping people with special needs. ICCHP 2014. Lecture Notes in Computer Science*. 2014;8547:141–144.

8. Sanchez-Gordon S., Luján-Mora S. Implementing accessibility in massive open online courses’ platforms for teaching, learning and collaborating at large scale. In: *eDemocracy & eGovernment. Stages of a Democratic Knowledge Society*. Springer, Cham; 2019:151–160.

9. Ferati M., Mripa N., Bunjaku R. Accessibility of MOOCs for blind people in developing non-english speaking countries. *Proc. 8th Int. Conf. on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE)*. 2016:519–528.

10. Ramírez-Vega A., Iniesto F., Rodrigo C. Raising awareness of the accessibility challenges in mathematics MOOCs. *TEEM 2017: Proc. 5th Int. Conf. on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. 2017. Article no. 92:1–8. DOI: 10.1145/3144826.3145435

11. Косова Е. А., Гапон А. С., Редкокош К. И. Доступность массовых открытых онлайн курсов по компьютерным наукам и программированию для лиц с ограниченными возможностями здоровья. *Открытое образование*. 2020;(24(5)):47–62. DOI: 10.21686/1818-4243-2020-5-47-62

12. Kosova E. A., Gapon A. S., Redkokosh K. I. Accessibility of massive open online courses in computer sciences and programming for persons with disabilities. *Open Education*. 2020;(24(5)):47–62. DOI: 10.21686/1818-4243-2020-5-47-62

13. Calvo R., Iglesias A., Moreno L. Is Moodle accessible for visually impaired people? In: Filipe J., Cordeiro J. (eds) *Web Information Systems and Technologies. WEBIST 2011. Lecture Notes in Business Information Processing*. 2011;101:207–220. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-28082-5_15

14. Calvo R., Iglesias A., Moreno L. Accessibility barriers for users of screen readers in the Moodle learning content management system. *Universal Access in the Information Society*. 2014;13(3):315–327. DOI: 10.1007/s10209-013-0314-3

15. Sanderson N. C., Chen W., Bong W. K., Kessel S. The accessibility of MOOC Platforms from instructors’ perspective. In: Antona M., Stephanidis C. (eds.) *Proc. 10th Int. Conf. on Universal Access in Human-Computer Interaction (UAHCI)*. Springer; 2016:124–134. DOI: 10.1007/978-3-319-40238-3_13

16. Косова Е. А. Мотивация и готовность преподавателей к использованию дистанционных образовательных технологий в обучении студентов с ограниченными возможностями здоровья. *Информатика и образование*. 2020;35(9):43–52. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-9-43-52

17. Kosova Ye. A. Motivation and readiness of teachers to use distance educational technologies in teaching students with disabilities. *Informatics and Education*. 2020;35(9):43–52. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-9-43-52

18. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. 2018. Available at: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>

19. Sanchez-Gordon S., Luján-Mora S. Research challenges in accessible MOOCs: A systematic literature review 2008–2016. *Universal Access in the Information Society*. 2018;17(4):775–789. DOI: 10.1007/s10209-017-0531-2

18. Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology (WCAG-EM) 1.0. 2014. Available at: <https://www.w3.org/TR/WCAG-EM/>

19. Research Report on Web Accessibility Metrics. 2012. Available at: <https://www.w3.org/TR/accessibility-metrics-report/>

20. Evaluating Web Accessibility Overview. 2020. Available at: <https://www.w3.org/WAI/test-evaluate/>

21. Schiavone A. G. Is Moodle accessible? An analysis through experiences in scientific literature and a case study. *Proc. 1st Int. Symp. on the Future of Education in Information Science (FEIS 2018)*. 2018;165–174. Available at: <https://einfose.ffos.hr/feis-2018/proceedings>

22. Elias T. Universal instructional design principles for Moodle. *The International Review of Research in Open and Distance Learning*. 2010;11(2):110–124. DOI: 10.19173/irrodl.v11i2.869

23. Armano T., Borsero M., Capietto A., Murru N., Panzarea A., Ruighi A. On the accessibility of Moodle 2 by visually impaired users, with a focus on mathematical content. *Universal Access in the Information Society*. 2018;17(4):865–874. DOI: 10.1007/s10209-017-0546-8

24. Casadei V., Zaina L., Pinheiro E., Granollers T. Accessibility Evaluation of Design Patterns on Moodle Mobile. *Proc. Brazilian Symposium on Computers in Education SBIE-2016 (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação — SBIE-2016)*:688–697. DOI: 10.5753/cbie.sbie.2016.688

25. Kent M. Disability and eLearning: Opportunities and Barriers. *Disability Studies Quarterly*. 2015;35(1). Available at: <https://dsq-sds.org/article/view/3815/3830>

Информация об авторах

Косова Екатерина Алексеевна, канд. пед. наук, доцент, зав. кафедрой прикладной математики, Физико-технический институт, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, г. Симферополь, Республика Крым, Рос-

сия; *ORCID*: <http://orcid.org/0000-0002-3263-9373>; *e-mail*: lynx99@inbox.ru

Гапон Александра Сергеевна, магистрант направления подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика», направленность «Разработка программного обеспечения», Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия; *ORCID*: <http://orcid.org/0000-0002-8696-3849>; *e-mail*: gapon-sasha@mail.ru

Редкокош Кирилл Игоревич, магистрант направления подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика», направленность «Математическое моделирование, программирование и искусственный интеллект», Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия; *ORCID*: <http://orcid.org/0000-0003-3535-7336>; *e-mail*: kirillf13@yandex.ru

Information about the authors

Yekaterina A. Kosova, Candidate of Sciences (Education), Docent, Head of the Department of Applied Mathematics, Physics and Technology Institute, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, The Republic of Crimea, Russia; *ORCID*: <http://orcid.org/0000-0002-3263-9373>; *e-mail*: lynx99@inbox.ru

Aleksandra S. Gapon, a master's degree student in the field of study 01.04.02 "Applied Mathematics and Informatics", direction "Software Development", National Research University ITMO, St. Petersburg, Russia; *ORCID*: <http://orcid.org/0000-0002-8696-3849>; *e-mail*: gapon-sasha@mail.ru

Kirill I. Redkokosh, a master's degree student in the field of study 01.04.02 "Applied Mathematics and Informatics", direction "Mathematical modeling, programming and artificial intelligence", Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; *ORCID*: <http://orcid.org/0000-0003-3535-7336>; *e-mail*: kirillf13@yandex.ru

Поступила в редакцию / Received: 18.08.2021.

Поступила после рецензирования / Revised: 30.10.2021.

Принята к печати / Accepted: 09.11.2021.

Приложения

Приложение 1 / Appendix 1

Характеристики исследованных ЭОР по математике и информатике

Characteristics of the studied electronic educational resources in mathematics and informatics

Категория	Характеристики	Количество ЭОР, <i>n</i> (%)
Платформа размещения ЭОР и ее особенности	Платформа Moodle — автономная, с возможностью перехода в массовый режим, гибкая, поддерживает расширения (плагины) доступности	22 (100,0)
Веб-технологии, которые использовались при разработке ЭОР	Визуальный конструктор элементов Moodle	22 (100,0)
	HTML (HyperText Markup Language) — язык разметки гипертекста	6 (27,3)
	MathML (Mathematical Markup Language) — язык разметки математической нотации в веб-контенте	6 (27,3)
Типы ресурсов, размещенных в ЭОР	LaTeX — программная система для разработки текстовых документов с помощью языка компьютерной верстки TeX	7 (31,8)
	Учебно-методические материалы	
	HTML (веб-документ)	6 (27,3)
	PDF (текстовый документ)	20 (90,9)
	DOC(X) (текстовый документ)	6 (27,3)
	PPT (документ презентации)	1 (4,5)
	ODT (текстовый документ)	2 (9,1)

Окончание прил. 1 /
 End of the appx. 1

Категория	Характеристики	Количество ЭОР, n (%)
	ODP (документ презентации)	1 (4,5)
	DjVu (текстовый документ)	1 (4,5)
	Видеолекции	
	MP4 (видеофайл)	2 (9,1)
	MOV (видеофайл)	4 (18,2)
	Файлы с данными	
	CSV (текстовый формат для представления табличных данных)	1 (4,5)
	Файлы с программным кодом	
	LHS (программный код на языке Haskell)	1 (4,5)
	HS (программный код на языке Haskell)	1 (4,5)
	PY (программный код на языке Python)	1 (4,5)
Типы внешних ресурсов, которые использовались в ЭОР	Ссылки на видеолекции	
	YouTube	6 (27,3)
	Яндекс.Диск	1 (4,5)
	Mail.Ru	1 (4,5)
	ВКонтакте	1 (4,5)
	Ссылки на внешние веб-ресурсы с лекциями и заданиями	
	http://ejudge.cfuv.ru/	2 (9,1)
	http://www.mathprofi.ru/	1 (4,5)
	http://grafika.me/	1 (4,5)
	Ссылки на обсуждения в мессенджерах	
	ВКонтакте	1 (4,5)
Discord	1 (4,5)	

Приложение 2 / Appendix 2

Результаты анализа веб-доступности ЭОР по математическим и компьютерным дисциплинам визуальными, мануальными и аудиальными методами

Results of the analysis of the web accessibility of electronic educational resources in mathematical and computer disciplines by visual, manual and auditory methods

№ п/п	Проверяемый признак	Выполнен, n (%)	Не выполнен, n (%)	Частично выполнен, n (%)	Нет данных, n (%)
1	Общая доступность				
1.1	Наличие инструментов для изменения размера шрифта	0 (0,0)	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.2	Наличие инструментов для изменения цветовой схемы	0 (0,0)	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)

Продолжение прил. 2 /
 Continuation of the appx. 2

№ п/п	Проверяемый признак	Выполнен, n (%)	Не выполнен, n (%)	Частично выполнен, n (%)	Нет данных, n (%)
1.3	Структура курса однородна	13 (59,1)	1 (4,5)	8 (36,4)	0 (0,0)
1.4	Содержимое элементов соответствует их назначению	17 (77,3)	0 (0,0)	5 (22,7)	0 (0,0)
1.5	Наличие описания и пререквизитов курса	0 (0,0)	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.6	Наличие глоссария	0 (0,0)	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.7	Наличие заявления о доступности	0 (0,0)	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.8	Гиперссылки функциональны, имеют однозначную трактовку	17 (77,3)	5 (22,7)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.9	Присутствуют гиперссылки на внешние образовательные веб-ресурсы	4 (18,2)	18 (81,8)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.10	Внешние образовательные веб-ресурсы доступны	0 (0,0)	4 (18,2)	0 (0,0)	18 (81,8)
1.11	Изменение разрешения экрана не приводит к нарушению структуры и читабельности страницы	13 (59,1)	0 (0,0)	9 (40,9)	0 (0,0)
1.12	Функциональностью интерфейса можно управлять только с помощью клавиатуры	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.13	Программы экранного доступа адекватно воспроизводят интерфейс	0 (0,0)	0 (0,0)	22 (100,0)	0 (0,0)
1.14	Удовлетворительное качество визуализации в графическом браузере Google Chrome	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.15	Удовлетворительное качество визуализации в графическом браузере Mozilla Firefox	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.16	Удовлетворительное качество визуализации в графическом браузере Microsoft Edge	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.17	Удовлетворительное качество визуализации в графическом браузере Opera	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.18	Доступность интерфейса в текстовом браузере (Links)	0 (0,0)	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.19	Доступность интерфейса после отключения стилей	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
1.20	Удовлетворительное качество визуализации на мобильных устройствах	0 (0,0)	0 (0,0)	22 (100,0)	0 (0,0)
2	Доступность медиаматериалов				
2.1	Есть видеоматериалы	9 (40,9)	13 (59,1)	0 (0,0)	0 (0,0)
2.2	Удовлетворительное качество видео	8 (36,4)	0 (0,0)	1 (4,5)	13 (59,1)
2.3	Удовлетворительное качество звукового воспроизведения	4 (18,2)	0 (0,0)	5 (22,7)	13 (59,1)
2.4	Присутствует возможность регулирования громкости звука	8 (36,4)	0 (0,0)	1 (4,5)	13 (59,1)
2.5	Присутствует возможность регулирования скорости воспроизведения	8 (36,4)	0 (0,0)	1 (4,5)	13 (59,1)

Продолжение прил. 2 /
 Continuation of the appx. 2

№ п/п	Проверяемый признак	Выполнен, n (%)	Не выполнен, n (%)	Частично выполнен, n (%)	Нет данных, n (%)
2.6	Присутствует возможность управления функциями медиаплеера только с помощью клавиатуры	0 (0,0)	0 (0,0)	9 (40,9)	13 (59,1)
2.7	Медиаплеер совместим с программами экранного доступа	4 (18,2)	0 (0,0)	5 (22,7)	13 (59,1)
2.8	Обеспечен достаточный размер шрифта	6 (27,3)	0 (0,0)	3 (13,6)	13 (59,1)
2.9	Обеспечен достаточный контраст между текстом и фоном	0 (0,0)	0 (0,0)	9 (40,9)	13 (59,1)
2.10	Присутствуют субтитры	5 (22,7)	3 (13,6)	1 (4,5)	13 (59,1)
2.11	Субтитры неавтоматические	0 (0,0)	6 (27,3)	0 (0,0)	16 (72,7)
2.12	Субтитры грамотные, текст соответствует аудиоряду	0 (0,0)	6 (27,3)	0 (0,0)	16 (72,7)
2.13	Каждый кадр субтитров с надписью отображается на экране не менее двух секунд	6 (27,3)	0 (0,0)	0 (0,0)	16 (72,7)
2.14	Все кадры субтитров точно синхронизированы по времени с аудио	6 (27,3)	0 (0,0)	0 (0,0)	16 (72,7)
2.15	При наличии нескольких ораторов в субтитрах присутствует указание, кто говорит, особенно когда из видео это не очевидно	0 (0,0)	3 (13,6)	0 (0,0)	19 (86,4)
2.16	Фоновые звуки, важные для понимания контекста, такие как музыка, смех, аплодисменты, добавлены в субтитры	0 (0,0)	3 (13,6)	0 (0,0)	19 (86,4)
2.17	Доступен для скачивания файл субтитров	0 (0,0)	6 (27,3)	0 (0,0)	16 (72,7)
2.18	Все визуальные фрагменты, важные для понимания контекста, описаны словами (аудио)	0 (0,0)	5 (22,7)	4 (18,2)	13 (59,1)
2.19	Присутствует стенограмма	0 (0,0)	5 (22,7)	4 (18,2)	13 (59,1)
2.20	Стенограмма доступна для скачивания	0 (0,0)	4 (18,2)	0 (0,0)	18 (81,8)
2.21	В стенограмме присутствуют тифлокомментарии, важные для понимания видефрагментов, не имеющих аудиоаналога	0 (0,0)	4 (18,2)	0 (0,0)	18 (81,8)
2.22	Присутствует доступный для скачивания конспект, эквивалентный видеоряду	0 (0,0)	6 (27,3)	3 (13,6)	13 (59,1)
2.23	Присутствует интерпретация видео и аудиоряда с помощью языка жестов	0 (0,0)	22 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)
3	Доступность цифровых документов				
3.1	Есть цифровые документы	20 (90,9)	2 (9,1)	0 (0,0)	0 (0,0)
3.2	В документах присутствуют рисунки	17 (77,3)	3 (13,6)	0 (0,0)	2 (9,1)
3.3	Рисунки имеют альтернативное описание	0 (0,0)	15 (68,2)	2 (9,1)	5 (22,7)
3.4	Текст документа адекватно воспроизводится программами экранного доступа	0 (0,0)	12 (54,5)	8 (36,4)	2 (9,1)
3.5	Гиперссылки представлены в виде текста, определяющего точное и однозначное направление перехода	3 (13,6)	1 (4,5)	3 (13,6)	15 (68,2)

Продолжение прил. 2 /
 Continuation of the appx. 2

№ п/п	Проверяемый признак	Выполнен, n (%)	Не выполнен, n (%)	Частично выполнен, n (%)	Нет данных, n (%)
3.6	Обеспечен достаточный контраст между фоном и текстом	17 (77,3)	0 (0,0)	3 (13,6)	2 (9,1)
4	Доступность тестов				
4.1	Есть тесты	8 (36,4)	14 (63,6)	0 (0,0)	0 (0,0)
4.2	Тест адекватно (последовательно, точно и правильно) воспроизводится программой экранного доступа	4 (18,2)	1 (4,5)	3 (13,6)	14 (63,6)
4.3	В тестах присутствуют рисунки	1 (4,5)	7 (31,8)	0 (0,0)	14 (63,6)
4.4	Рисунки имеют альтернативное описание	0 (0,0)	1 (4,5)	0 (0,0)	21 (95,5)
4.5	Отсутствуют упражнения, требующие хорошей координации зрения и манипуляций	8 (36,4)	0 (0,0)	0 (0,0)	14 (63,6)
4.6	Присутствует возможность обратной связи только с помощью клавиатуры (без визуального редактора)	7 (31,8)	0 (0,0)	1 (4,5)	14 (63,6)
4.7	Выполнение теста не ограничено по времени	6 (27,3)	2 (9,1)	0 (0,0)	14 (63,6)
5	Доступность заданий				
5.1	Есть задания	17 (77,3)	5 (22,7)	0 (0,0)	0 (0,0)
5.2	Задания адекватно (последовательно, точно и правильно) воспроизводятся программой экранного доступа	3 (13,6)	9 (40,9)	5 (22,7)	5 (22,7)
5.3	Присутствует возможность обратной связи только с помощью клавиатуры (без визуального редактора)	16 (72,7)	1 (4,5)	0 (0,0)	5 (22,7)
5.4	Выполнение заданий не требует обязательного использования зрения	8 (36,4)	2 (9,1)	7 (31,8)	5 (22,7)
5.5	В заданиях присутствуют рисунки	11 (50,0)	6 (27,3)	0 (0,0)	5 (22,7)
5.6	Рисунки в заданиях имеют альтернативное описание	0 (0,0)	11 (50,0)	0 (0,0)	11 (50,0)
6	Доступность математической нотации				
6.1	Есть математический контент	15 (68,2)	7 (31,8)	0 (0,0)	0 (0,0)
6.2	Математический контент представлен в виде рисунков	13 (59,1)	2 (9,1)	0 (0,0)	7 (31,8)
6.3	Математический контент представлен в формате видео	5 (22,7)	10 (45,5)	0 (0,0)	7 (31,8)
6.4	Математический контент представлен в формате LaTeX	7 (31,8)	8 (36,4)	0 (0,0)	7 (31,8)
6.5	Математический контент представлен в формате Mathml	6 (27,3)	9 (40,9)	0 (0,0)	7 (31,8)
6.6	Математический контент представлен другим способом	13 (59,1)	2 (9,1)	0 (0,0)	7 (31,8)
6.7	Если математический контент представлен в виде рисунка, присутствует его описание	0 (0,0)	13 (59,1)	0 (0,0)	9 (40,9)

Окончание прил. 2 /
 End of the appx. 2

№ п/п	Проверяемый признак	Выполнен, n (%)	Не выполнен, n (%)	Частично выполнен, n (%)	Нет данных, n (%)
6.8	Если математический контент представлен в формате видео, присутствует его тифлокомментирование	0 (0,0)	5 (22,7)	0 (0,0)	17 (77,3)
6.9	Для адекватного восприятия видео, содержащего математический контент, достаточно субтитров и/или стенограммы	0 (0,0)	2 (9,1)	0 (0,0)	20 (90,9)
6.10	Присутствуют дополнительные материалы для интерпретации видео, содержащего математический контент	3 (13,6)	2 (9,1)	0 (0,0)	17 (77,3)
6.11	Присутствует и доступна функция поиска по контенту с математической нотацией	0 (0,0)	15 (68,2)	0 (0,0)	7 (31,8)
6.12	Присутствует функция масштабирования математического контента	0 (0,0)	9 (40,9)	6 (27,3)	7 (31,8)
6.13	Математический контент адаптируется и адекватно воспроизводится для различных разрешений экрана	1 (4,5)	4 (18,2)	10 (45,5)	7 (31,8)
6.14	Видео, содержащие математический контент, имеют адекватную текстовую транскрипцию (стенограмму) формул	0 (0,0)	5 (22,7)	0 (0,0)	17 (77,3)
6.15	Присутствует функция озвучивания математического контента при помощи программы экранного доступа	9 (40,9)	0 (0,0)	6 (27,3)	7 (31,8)
6.16	Программа экранного доступа последовательно и точно озвучивает математический контент	1 (4,5)	6 (27,3)	8 (36,4)	7 (31,8)
7	Доступность программного кода				
7.1	Есть программный код	10 (45,5)	12 (54,5)	0 (0,0)	0 (0,0)
7.2	Программный код представлен в виде рисунков	4 (18,2)	6 (27,3)	0 (0,0)	12 (54,5)
7.3	Программный код представлен в формате видео	4 (18,2)	6 (27,3)	0 (0,0)	12 (54,5)
7.4	Программный код представлен в аутентичном виде (в виде кода)	7 (31,8)	3 (13,6)	0 (0,0)	12 (54,5)
7.5	Программный код представлен в виде файлов	3 (13,6)	7 (31,8)	0 (0,0)	12 (54,5)
7.6	Программный код представлен другим способом	4 (18,2)	6 (27,3)	0 (0,0)	12 (54,5)
7.7	Присутствует функция озвучивания программного кода при помощи программы экранного доступа	8 (36,4)	1 (4,5)	1 (4,5)	12 (54,5)
7.8	Программа экранного доступа адекватно озвучивает программный код	1 (4,5)	5 (22,7)	3 (13,6)	13 (59,1)
7.9	Предлагается сторонний онлайн-компилятор	0 (0,0)	10 (45,5)	0 (0,0)	12 (54,5)
7.10	Предлагается сторонний компилятор (программное обеспечение)	1 (4,5)	9 (40,9)	0 (0,0)	12 (54,5)
7.11	Компилятор встроен в курс	0 (0,0)	10 (45,5)	0 (0,0)	12 (54,5)

Оценка функций доступности онлайн-инструментов, рекомендованных в ЭОР для воспроизведения видео
Assessment of the accessibility features of online tools recommended in electronic educational resources for video playback

№ п/п	Проверяемый признак	Инструмент для воспроизведения видео (медиаплеер)				
		Mail.ru	Яндекс.Диск	ВКонтакте	YouTube	Moodle
1	Возможность регулирования громкости звука	1*	1	1	1	1
2	Возможность регулирования скорости воспроизведения	2	1	1	1	1
3	Доступность управления только с помощью клавиатуры	2	2	3	3	3
4	Видимость (подсветка) фокуса клавиатуры	–	–	3	1	1
5	Совместимость с программами экранного доступа	2	2	3	1	3
6	Поддержка синхронизированных субтитров	2	2	2	1	1
7	Поддержка стенограмм	2	2	2	1	2
8	Поддержка выбора позиционирования, размера и стилизации шрифтов субтитров	–	–	–	3	3
9	Навигация по стенограмме и по видео с помощью стенограммы	–	–	–	1	–
10	Высокий контраст между элементами управления и фоном	2	2	2	3	3
11	Адекватность воспроизведения на мобильных устройствах	3	1	3	1	1

* «1» — признак присутствует; «2» — признак отсутствует; «3» — признак присутствует для части интерфейса; «–» — сведения недоступны.