

УДК 004.588:629.542.6  
DOI 10.17513/snt.39885

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ВАЖНЫХ КАЧЕСТВ ОПЕРАТОРОВ ЛЕСНЫХ МАШИН В ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДАХ

Курасов П.А., Петухов И.В., Стешина Л.А., Танрывердиев И.О.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола,  
e-mail: kppevs@volgatech.net

Исследование направлено на актуальную задачу экспериментального исследования динамики развития профессионально важных качеств операторов лесозаготовительной техники в виртуальных средах. Авторы представляют новые методы оценки точности и скорости зрительно-моторного слежения человека в виртуальных средах и приводят результаты исследования динамики их развития у групп курсантов, обучающихся в виртуальной среде с эффектом погружения и без виртуальной среды. Экспериментально обосновано, что более быстрое развитие навыков зрительно-моторного слежения наблюдалось у группы, обучающейся с использованием виртуальной среды. Почти у всех испытуемых наблюдается снижение показаний среднеквадратического отклонения результатов тестирования по ошибке управления от первого дня исследования до последнего. Это свидетельствует о более качественном выполнении поставленной задачи и получении к концу исследования реальных показаний психофизиологических характеристик. Можно отметить, что у первой группы операторов (в виртуальной среде) диапазон значений среднеквадратического отклонения в среднем по группе снизился с 44,86 до 27,04 мс. У второй группы испытуемых (без виртуальной среды) диапазон значений среднеквадратического отклонения в среднем по группе снизился с 31,9 до 26,08 мс.

**Ключевые слова:** человек-машинные системы, автоматизированное управление, виртуальная реальность, оператор, лесные машины, обучение

## STUDY OF THE DEVELOPMENT DYNAMICS OF PROFESSIONALLY IMPORTANT QUALITIES OF FORESTRY MACHINE OPERATORS IN VIRTUAL ENVIRONMENTS

Kurasov P.A., Petukhov I.V., Steshina L.A., Tanryverdiev I.O.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: kppevs@volgatech.net

The study is aimed at the urgent task of experimental research into the dynamics of the development of professionally important qualities of logging equipment operators in virtual environments. The authors present new methods for assessing the accuracy and speed of human visual-motor tracking in virtual environments and present the results of a study of the dynamics of their development in groups of cadets studying in a virtual environment with the effect of immersion and without a virtual environment. It was experimentally proven that more rapid development of visual-motor tracking skills was observed in the group learning using a virtual environment. Almost all subjects observed a decrease in the standard deviation of test results due to control error from the first day of the study to the last. This indicates a better performance of the task and the receipt of real readings of psychophysiological characteristics by the end of the study. It can be noted that in the first group of operators (in a virtual environment), the range of standard deviation values on average for the group decreased from 44.86 ms. until 27.04 ms. In the second group of subjects (without a virtual environment), the range of standard deviation values on average for the group decreased from 31.9 ms. until 26.08 ms.

**Keywords:** man-machine systems, automatic control, virtual reality, operator, forest machines, training

Эффективность работы оператора лесозаготовительной техники в настоящее время является наиболее значимым фактором, определяющим большинство технико-экономических показателей качества технологического процесса механизированной сортиментной лесозаготовки. Установлено, что эффективность работы оператора оказывает существенное влияние на качество заготовленной древесины [1], производительность технологического процесса лесозаготовки [2], надежность эксплуатируемой лесозаготовительной техники [3].

Для операторской деятельности в задачах управления лесозаготовительной техникой свойственно решение двух типов задач.

Первым типом задач являются задачи, связанные с теоретическими знаниями о процессе лесозаготовки в области лесостроительства в целом и о процессе лесозаготовки в частности. К этим задачам относятся построение оптимального маршрута движения лесозаготовительной техники по лесосеке, отбор деревьев в соответствии с типом выполняемой рубки, выбор оптимальной последовательности рубки деревьев. Эффективность, а именно скорость и точность решения этих задач, обеспечивается теоретической подготовкой оператора. Установлено, что операторы, прошедшие более глубокую теоретическую подготовку в области лесостроительства, имеют более высокую эф-

фективность в данных типах задач по сравнению с теми операторами, которые данной подготовки не имеют или имеют менее глубокие теоретические знания [4].

Вторым типом задач являются задачи, связанные с техническими навыками управления и манипулирования технологическим оборудованием. К этим задачам относятся наведение рабочих органов машины на дерево, захват дерева захватно-срезающим устройством, спиливание и обработка дерева. Эффективность решения данного класса задач также определяется скоростью и точностью пространственного наведения, а обеспечивается профессионально важными качествами и уровнем развития психофизиологических факторов человека.

Таким образом, повышение эффективности работы оператора-манипулятора в задачах управления лесозаготовительной техникой является комплексной и многофакторной задачей, состоящей как из повышения уровня теоретических знаний о процессе сортиментной лесозаготовки, так и из отработки технических навыков управления технологическими агрегатами лесозаготовительной техники.

Повышение требований к эффективности деятельности человека-оператора привело к возникновению и развитию принципиально новых форм и технологий тренировки персонала, в частности технологии виртуальной реальности [5, 6], технологии когнитивной и биомеханической поддержки оператора [7]. В настоящее время при обучении операторов лесных машин для решения задачи отработки технических навыков управления технологическими агрегатами лесозаготовительной техникой активно применяются симуляторы и тренажеры технологического оборудования. Известна семантическая модель профессионально важных качеств оператора-манипулятора при выполнении технологического процесса сортиментной лесозаготовки [8]. Установлено, что важнейшими профессионально важными качествами оператора-манипулятора с точки зрения технических навыков, необходимых при осуществлении механизированной сортиментной лесозаготовки, являются точность зрительно-моторного слежения, скорость реакции на движущийся объект, скорость реакции на приближающийся объект, определяющие точность взаимодействия рабочих органов лесозаготовительной машины с предметом труда. Таким образом, развитие технических навыков оператора-манипулятора в процессе обучения с использованием симуляторов и тренажерных комплексов лесозаготовительной техники направлено именно на улучшение показателей скорости

и точности пространственного восприятия и зрительно-моторного слежения.

Цель исследования – экспериментальное определение динамики развития профессионально важных качеств операторов лесозаготовительной техники в виртуальных средах.

### Материалы и методы исследования

Работа на симуляторе не может реализовать полноценное восприятие курсантом рабочей обстановки в лесозаготовительной технике, поэтому может создаться неправильное восприятие реальной задачи [9]. Этот факт связан с тем, что процессы восприятия зрительной информации с электронных дисплеев отличаются от процессов восприятия зрительной информации в физической среде. Для того, чтобы реализовать те же механизмы восприятия зрительной информации оператором в процессе обучения на симуляторах, что и при работе на реальном технологическом оборудовании, в настоящее время используют виртуальные обучающие среды с глубоким вызванным эффектом присутствия [10].

Эффект присутствия в виртуальной реальности заключается в возникающем у человека ощущении полного погружения в виртуальное пространство, где он воспринимает окружающую среду как реальную. При этом задействованы те же механизмы стереоскопического человеческого зрения при восприятии зрительной информации, что и в реальных физических средах. Этот эффект достигается путем использования специальных технических средств, такого как шлемы VR, контроллеры и другие устройства для взаимодействия с виртуальной обучающей средой.

Для оценки динамики изменения психофизиологических показателей в составе профессионально важных качеств исследуемых обучающихся предложено провести оценку способности к управлению манипулятором лесозаготовительной машины с использованием шлема виртуальной реальности HTC VIVE PRO.

Для обеспечения соответствия движению рабочего органа лесозаготовительной машины в тесте определения точности наведения выдвиганием рабочего органа лесозаготовительной машины движение объекта формировалось за счет увеличения тестового объекта в диаметре на 100 пикселей за секунду и уменьшения замкнутого контура на 10 пикселей за секунду, имитируя движение его навстречу испытуемому. Исходный диаметр тестового объекта составил 100 пикселей, а диаметр замкнутого контура 600 пикселей.

Для отображения зрительных стимулов была разработана программа в среде программирования Unity, позволяющая отображать тестовое задание в шлеме виртуальной реальности HTC VIVE PRO.

В качестве добровольцев, принявших участие в исследовании, были выбраны 10 здоровых людей 19–24 лет с нормальным или скорректированным зрением.

В течение 6 дней каждому оператору предлагалось пройти тестирование с использованием метода оценки точности наведения выдвиганием рабочего органа лесозаготовительной машины на дерево).

Рассмотрим метод определения точности наведения выдвиганием рабочего органа лесозаготовительной машины на дерево. В данном тесте человеку на экране шлема виртуальной реальности HTC VIVE PRO предьявляются окружность, являющуюся ограничивающим полем, внутри которой размещен тестовый объект круглой формы.

На рис. 1 представлена окружность, предьявляемая испытуемому на экране видеомонитора, где 1 – замкнутая окружность, границы которой являются меткой и уменьшающаяся в диаметре с заданной скоростью, 2 – тестовый объект, увеличивающийся в диаметре с заданной скоростью.

Тестовый объект увеличивают, а замкнутую окружность уменьшают в диаметре, соответственно заданной скорости при этом происходит имитация движения его навстречу оператору. В момент, когда оператор считает, что размеры ограничивающего замкнутого контура и тестового объекта совпадают, то оператор нажимает кнопку пульта и движение объектов прекращается. При этом вычисляют ошибку

несовпадения диаметров тестового объекта и ограничивающего контура, что будет являться временем ошибки запаздывания (с положительным знаком) или упреждения (с отрицательным знаком).

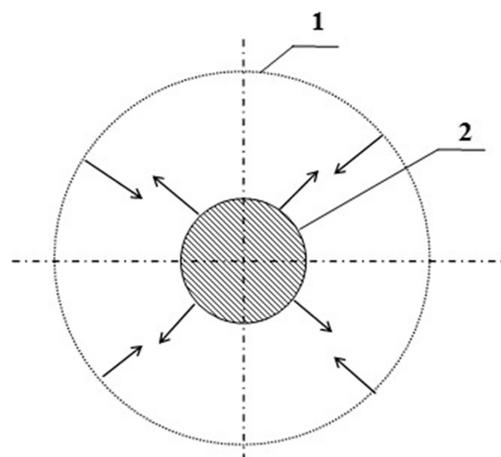


Рис. 1. Схема тестирования методом оценки точности наведения выдвиганием рабочего органа лесозаготовительной машины на дерево

На следующем этапе вычисляют время реакции  $T_p$  человека на движущийся объект как среднеарифметическое значение по формуле

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (1)$$

где  $t_i$  –  $i$ -я ошибка несовпадения окружности и объекта, мс;  $n$  – число остановок точечного объекта в процессе прохождения тестирования.

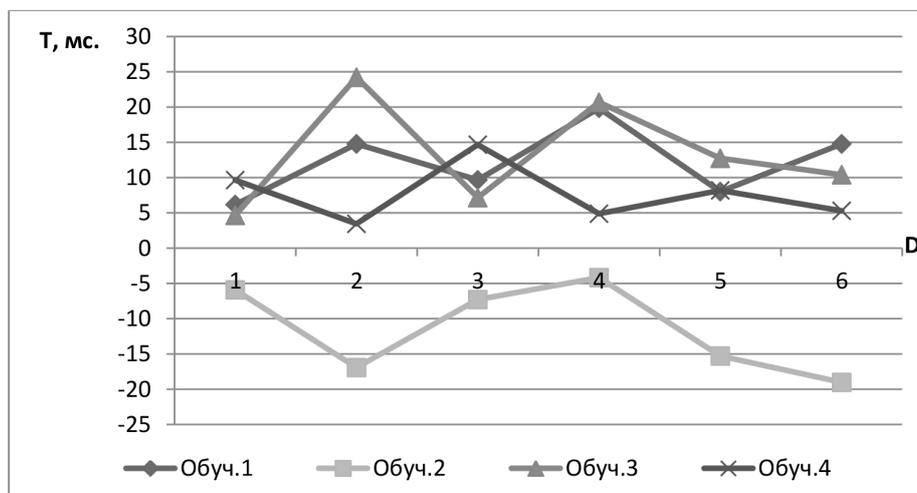


Рис. 2. График динамики значений результата тестирования у обучающихся из первой группы:  $T$  – результат тестирования с использованием метода оценки точности наведения выдвиганием рабочего органа лесозаготовительной машины на дерево;  $D$  – день исследования

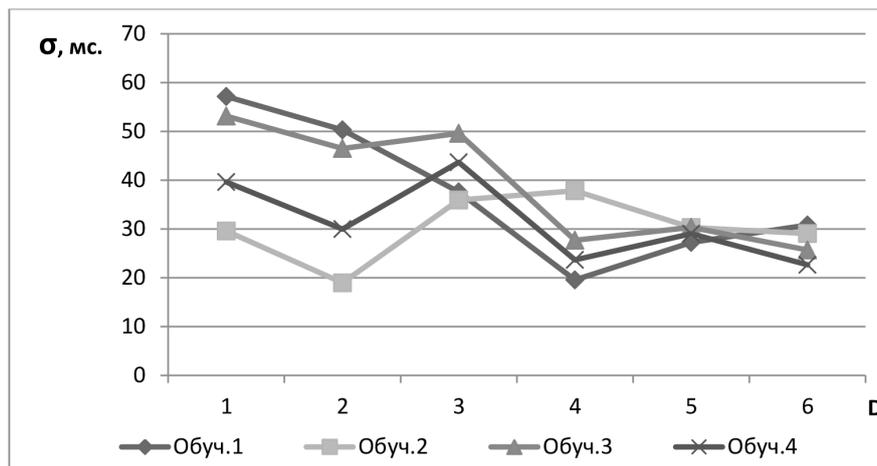


Рис. 3. График динамики значений результата оценки среднеквадратического отклонения результатов тестирования у обучающихся из первой группы:  $T$  – результат тестирования с использованием метода оценки точности наведения выдвиганием рабочего органа лесозаготовительной машины на дерево;  $D$  – день исследования

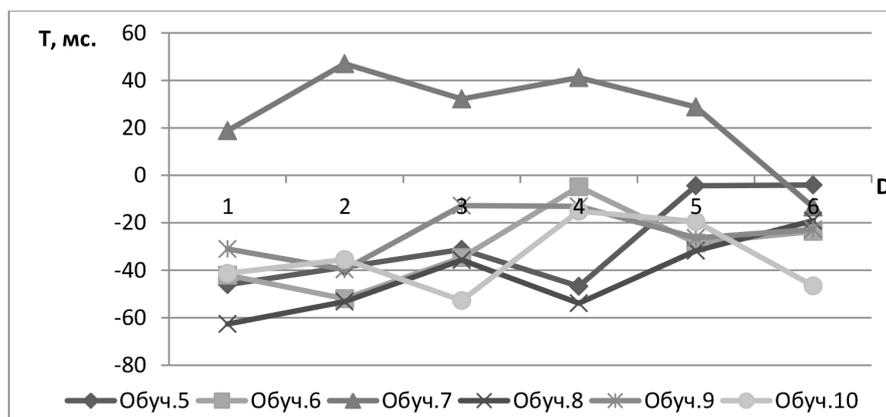


Рис. 4. График динамики значений результата тестирования у обучающихся из второй группы:  $T$  – результат тестирования с использованием метода оценки точности наведения выдвиганием рабочего органа лесозаготовительной машины на дерево;  $D$  – день исследования

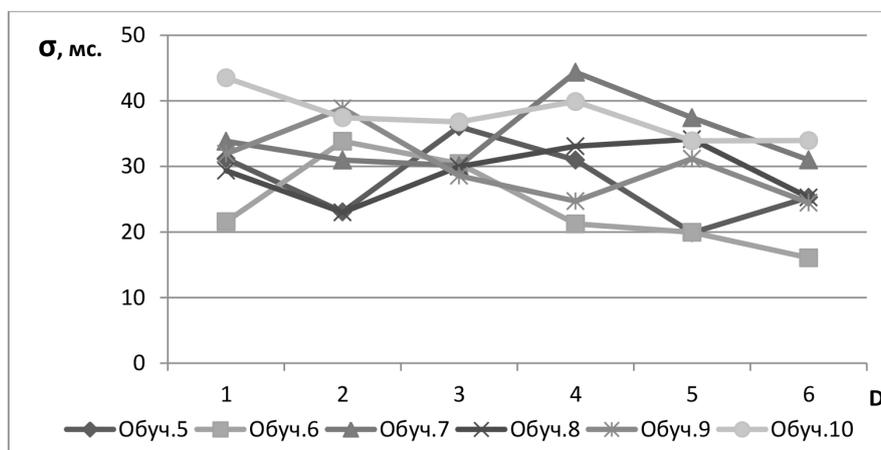


Рис. 5. График динамики значений результата оценки среднеквадратического отклонения результатов тестирования у обучающихся из второй группы:  $T$  – результат тестирования с использованием метода оценки точности наведения выдвиганием рабочего органа лесозаготовительной машины на дерево;  $D$  – день исследования

Через заданное время оператору предъявляют данные объекты в первоначальном размере, и тест повторяется заданное число раз.

Измерения выполнялись бинокулярно в помещении в светлое время суток в первой половине дня с 9 до 14 ч. Все испытуемые перед проведением исследований проходили 20-минутную световую адаптацию.

### Результаты исследования и их обсуждение

Данные, полученные в первый день эксперимента, считались исходными измеренными параметрами зрительного анализатора. Для удобства отображения информации на графиках по результатам прохождения тестирования в первый день в первую группу (результат теста от -10 до 10 мс) были отнесены 4 оператора, а во вторую (остальные испытуемые) 6 операторов.

Результаты проведенного эксперимента представлены на рис. 2–5.

### Заключение

Из анализа представленных результатов можно сделать несколько выводов о динамике процесса обучения. Почти у всех операторов наблюдается снижение показаний среднеквадратического отклонения результатов тестирования от первого дня исследования до последнего. Это свидетельствует о более качественном выполнении поставленной задачи и получении к концу исследования реальных показаний психофизиологических характеристик.

Можно отметить, что у первой группы операторов диапазон значений среднеквадратического отклонения в среднем по группе снизился с 44,86 до 27,04 мс. У второй группы испытуемых диапазон значений среднеквадратического отклонения в сред-

нем по группе снизился с 31,9 до 26,08 мс. Отсюда можно сделать вывод, что максимальное улучшение показателя среднеквадратического отклонения было у первой группы, что свидетельствует о более быстрой адаптации исполнителей из данной группы к выполнению тестовых заданий.

### Список литературы

1. Сюнев В.С., Селиверстов А.А. Исследование влияния сортиментной заготовки леса на качество получаемого древесного сырья // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. Вып. 14. С. 68–71.
2. Селиверстов А.А., Сюнев В.С., Герасимов Ю.Ю., Соколов А.П. Повышение эффективности использования харвестеров // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 8. С. 133–139.
3. Григорьев И.В., Петров М.Е. Дополнительные технические опции для повышения безопасности, надежности и энергоэффективности лесных машин // Вестник АГАТУ. 2021. № 3. С. 73–81.
4. Григорьев И.В., Войнаш С.А. Повышение эффективности подготовки операторов лесных машин // Лесозаготовка и комплексное использование древесины: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2020. С. 62–66.
5. Karagiannis P., Togiass T., Michalos G., Makris S. Operators training using simulation and VR technology // Procedia CIRP. 2021. № 96(12). P. 290–294. DOI: 10.1016/j.procir.2021.01.089.
6. Xie B., Liu H., Alghofaili R., Zhang Y., Jiang Y., Lobo F.D., Yu L.F. A review on virtual reality skill training applications // Frontiers in Virtual Reality. 2021. № 2. P. 645153.
7. Dado M., Hnilica R., Messingerová V. Applying virtual reality to forestry machinery safety education // EDU-LEARN18 Proceedings. 2018. P. 6866–6869.
8. Petukhov I. et al. Decision support system for assessment of vocational aptitude of man-machine systems operators // 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS). 2016. P. 672–679.
9. Ovaskainen H. Comparison of harvester work in forest and simulator environments // Silva fennica. 2005. Т. 39, № 1. P. 89–101.
10. Petukhov I., Steshina L., Glazyrin A., Velev D. Design model of a training simulator in virtual reality // Proceedings of the Fifth International Conference on Fundamentals and Advances in Software Systems Integration, Nice, France. 2019. P. 27–31.