

# Исследование методов машинного обучения для решения задачи прогноза успешности работы оператора по дополнительной информации

В. А. Подольский, email: vladimirsk2007@yandex.ru<sup>1</sup>

Я. А. Туровский, email: yroslav\_turovsk@mail.ru<sup>1,2</sup>

А. И. Михальский, email: ipuran@yandex.ru<sup>1</sup>

А. В. Алексеев, email: a\_v\_alekseev@bk.ru<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», Россия, 394018, Воронеж, Университетская площадь, 1

***Аннотация.** В современном мире все большую важность приобретают системы, обеспечивающие взаимодействие человека и машины – человеко-машинные интерфейсы. Качество работы таких интерфейсов складывается из двух составляющих: качества исполнения аппаратного содержимого и эффективности алгоритмов обработки входящей информации. В данной работе рассматривается возможность разработки алгоритма распознавания сигналов от человека машине, при использовании дополнительной информации, доступной только на этапе обучения.*

***Ключевые слова:** человеко-машинный интерфейс, машинное обучение, биомедицинская информация;*

## Введение

Робототехнические системы уже проникли практически по все сферы нашего общества, в связи с чем увеличивается важность решения задач, связанных с качеством управления данными системами. Одной из таких задач – является повышение точности подаваемых команд оператором при использовании человеко-машинных интерфейсов (Интерфейс «человек – компьютер» – ИЧК).

Примерами ИЧК, основанными на различных принципах работы, являются:

- неинвазивный интерфейс «мозг-компьютер»;
- нейромышечный интерфейс;
- окулографический интерфейс.

---

© Подольский В.А., Туровский Я.А., Михальский А.И., Алексеев А.В., 2021

Широкое внедрение ИЧК выдвигает ряд задач, для решения которых необходимо разрабатывать новые подходы для анализа и интерпретации информации, получаемой от оператора, для генерации команд роботизированному комплексу.

Области применения современных ИЧК достаточно широки – от медицинской техники до военных систем; от помощи пациенту с инвалидностью до управления сложной технической системой. Применение ИЧК позволяют выполнять большее число задач с повышенной точностью.

Различные интерфейсы используют регистрацию различных физических параметров человека-оператора: электроэнцефалограммы, электромиограммы, движения зрачков, и формируя на их основании управляющие команды и сигналы управления устройством. Но те же интерфейсы подвержены действию различных возмущающих сигналов и шумов, которые ухудшают качество управления и сказываются на результате.

Если влияние технических помех возможно уменьшить путём использования различных фильтров и алгоритмов фильтрации, то возмущения, связанные с особенностями оператора и его состояния, требуют применения специальных методов, учитывающих информацию об операторе, доступную только на этапе разработки алгоритма генерации команд, но недоступную при работе оператора. В данной работе исследования проводятся при использовании окулографического интерфейса.

## **1. Описание исследования**

Работа проводится по данным, получаемым с окулографического интерфейса. Окулографический интерфейс основан на бесконтактной регистрации движения глаз. Отслеживание движения глаз позволяет определять куда направлен взгляд оператора и сопоставлять его с предыдущим положением глаза, таким образом, определяя траекторию движения и сравнивая ее с запрограммированными командами, передавать системе соответствующую команду [1].

Исследование проводилось при управлении курсором на экране монитора, а также при управлении двигательной технической системой в виде радиоуправляемой машинки.

В данной работе проводится обзор данных именно движения курсора на экране монитора, т.к. это является наиболее простой моделью для интерпретации и отработки методики.

Операторы по очереди проходили заданный тест в виде обхода курсором препятствий на экране, управление осуществлялось

исключительно движениями глаз. Каждый оператор проводил подготовительный этап, а также 4 упражнения.

В течение всего времени управления у операторов замерялись показания variability сердечного ритма (BCP), а также каждый оператор перед началом задания прошел психологические тесты на:

- Тест на рабочую память (задавалась матрица размером 5\*5 квадратов. В каждой попытке генерировалось выделение 3 квадратов, последовательность которых нужно было запомнить и верно определить в конце каждой попытки. Число попыток равнялось 10)

- Тест Айзенка (определялись показатели интроверсии/экстраверсии, нейротизма);

- Тест Спилберга (измерялась ситуативная и личностная тревожность);

Также по каждому оператору были получены данные генетического исследования по следующим полиморфизмам: Rs6265, Rs429358, Rs6313, Rs4570625.

На полученных данных ставится задача проверить применимость существующих алгоритмов машинного обучения, с целью определения наиболее эффективного метода, значимых признаков и дальнейшее развитие работы в тестировании биологических и психофизических показателей в качестве скрытой информации, доступной при обучении, но не доступной при реальной работе с системой.

## **2. Описание экспериментов**

Исследование строилось из двух пунктов:

1. Предопределение склонности к ошибке оператора до начала управления системой;

2. Оценка качества выполнения задачи в процессе управления системой оператором;

Пункт 1 позволяет получить необходимые знания о состоянии оператора, заранее понять способен ли он выполнить поставленную задачу без ошибок, есть ли у него склонность к ошибке на основе обработки его психофизических и генетических показателей.

Пункт 2 становится важным шагом для перехода к системе адаптивной помощи оператору в процессе управления. Т.е. речь идет про использования на стадии обучения системы скрытой информации, для улучшения качества взаимодействия оператора с системой. Согласно выдвигаемой гипотезе, данная информация позволит в рамках поставленной задачи с учетом ряда внешних факторов уменьшить риск ошибки оператором в процессе управления.

Для получения данных для отработки выдвинутых гипотез, в исследовании участвовали 40 операторов, каждый из которых совершил

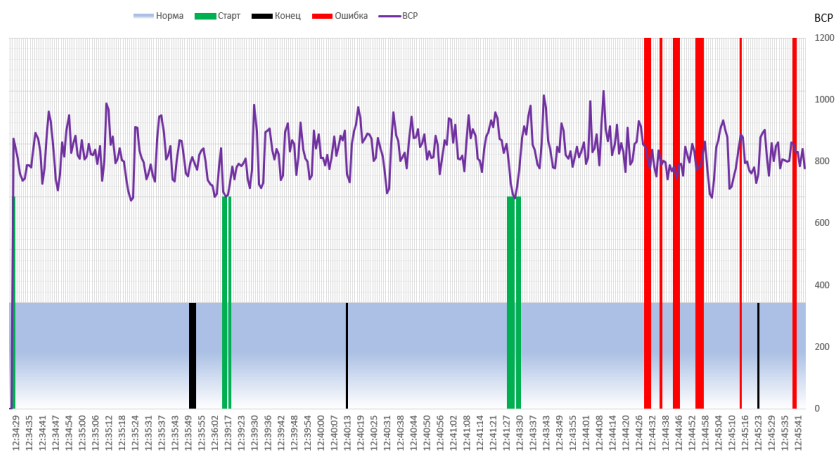
по 4 «заезда». Ведется дополнительная работа по увеличению кол-ва участников, с целью улучшения качества данных для дальнейшей разработки алгоритма.

Вся процедура получения данных от оператора составляла этап калибровки системы и 4 этапа «заездов» – выполнение тестовых поставленных задач.

Оператор должен был преодолеть маршрут с заданными препятствиями управляя курсором на экране с помощью окулографического интерфейса. «Ошибкой» в данном исследовании считалось попадание курсора на препятствие.

У каждого оператора помимо предварительных психофизических тестов и генетического исследования замерялись показатели variability сердечного ритма (ВСР) в процессе работы с системой, и на этапе калибровки и на тестовых «заездах».

ВСР – важный показатель, характеризующий психофизическое состояние человека, на основе которого возможно построение анализа качества управления [2]. В [3] проведена работа по выявлению зависимости – влияет ли отклонения ВСР на возникновение ошибок и можно ли на основе ВСР делать выводы об успешности управления оператором.



*Рисунок.* Индивидуальное ВСР в динамике, сопоставленное с результатами управления

На рисунке показаны графики различной информации, агрегированной в ходе экспериментов. График изображает значения ВСП, график сопоставлен с гистограммами, обозначающими статус текущей команды – светлый нижний уровень, это норма (работа выполняется в нормальном режиме); светлые столбы среднего размера обозначают начало записи нового теста; черные столбы на нижнем уровне – прерывание записи. Самые высокие яркие столбы обозначают ошибки, совершенные оператором – в данном случае, заход за границу.

На рисунке видно, что за несколько секунд до ошибки у оператора ВСП еще не отклонилось от среднего уровня, но при этом уже участилось кол-во резких перепадов значений ВСП, а при совершении ошибки происходит учащение сердцебиения.

### 3. Сравнительный анализ методов машинного обучения для работы с данными, для улучшения качества управления

По описанным данным ВСП и результатам психофизических тестов было проведено исследование методов машинного обучения на предмет наибольшей точности классификации операторов на того, кто ошибется и того, кто задачу выполнит безошибочно.

На основании работы с данными были отобраны 2 метода и их модификации, остальные методы не рассматривались по причине их малой эффективности при первичной работе с данными.

Для анализа использовались разные ядра SVM метода, как наиболее распространенного, а также использовался KNN – метод ближайших соседей, как достаточно эффективный представитель простых методов.

Ниже представлена таблица с результатами на экзаменационной выборке по каждому эксперименту.

Таблица

*Сравнительные показатели точности методов (точность в %)*

	Биомедицинские показатели	Психофизические показатели	Психофизические показатели + генетика
SVM (htan)*	70%	76%	76%
SVM (polynom)*	67%	67%	83%
SVM(rbf)*	70%	76%	83%
KNN	67%	76%	83%

\* Для методов SVM проводилась кросс-валидация для устранения зависимости от разбиения на выборки обучающую и тестовую

В таблице показаны результаты обучения и тестирования, т.е. вся выборка данных была разделена на обучающую и экзаменационную путем программного алгоритма случайного разбиения. Параметры обучения для методов SVM подбирались путем оценки ошибки кросс-валидации – зависимости результата обучения от варианта разбиения [4]. Выбирались параметры обеспечивающих наименьшую зависимость от варианта разбиения исходных данных. В таблице представлены результаты каждого из методов на основе уже лучшего набора параметров для каждого метода с учетом кросс-валидации.

По таблице можно отметить, что метод KNN несмотря на всю его простоту – показывает достаточно высокие результаты точности.

Второе, что важно отметить, это то, что обучение по психофизическим показателям в действительности помогает лучше классифицировать «ошибочность» оператора, т.е. это может обозначать, что характер личности и особенностей восприятия информации оказывает существенное влияние на качество обучения, и данные выводы коррелируют с [5].

### **Заключение**

В работе проведено исследование, позволяющее утверждать, что использование дополнительной психофизической и генетической информации позволяет до начала управления выделить операторов, которые совершат при работе малое число ошибок.

Проведена проверка различных методов машинного обучения для выявления наиболее эффективных для дальнейшей работы с внедрением в обучение скрытой информации. Результаты показали, что, несмотря на свою простоту, метод KNN не уступает по точности таким популярным методам, как SVM с различными ядрами, и даже иногда превосходит их.

Говоря про технический аспект задачи, то KNN показывает лучшее временные характеристики работы, нежели другие методы при сравнимой точности. Таким образом, данная работа подтверждает целесообразность использования простых методов при построении алгоритмов машинного обучения для повышения качества управления робототехнической системой с помощью ИЧК.

На текущий момент достигнуты устойчивые результаты по классификации операторов на того, кто ошибется и того, кто выполнит все без ошибок. Это важно для информирования центров принятия решений до момента начала работы о пригодности, по мнению системы, оператора к управлению системой.

Комплексная оценка оператора до начала управления должна помочь во многом улучшить качество управления робототехническими системами как минимум двумя путями: предварительный отбор более

подходящих операторов и инициирование в системе определённых алгоритмов для адаптивной помощи оператору при управлении.

В работе для оценки операторов использованы физиологические, психофизические и генетические показатели. На основе которых удалось создать алгоритм предварительной классификации. А также на основе [3] и обработки первоначальных данных в текущей работе предварительно подтверждена гипотеза о том, что данные ВСП можно использовать для увеличения точности работы оператора непосредственно в процессе управления роботизированной системой.

Это становится основной целью дальнейшего развития данной работы. Решение задачи определения правильности переданной команды системе, с помощью анализа дополнительной медицинской информации, использованной для классификации операторов.

Зачастую не представляется возможным заранее отобрать идеального оператора, и система должна, понимая, что оператор, возможно, склонен к ошибкам, запустить алгоритм адаптивной помощи для проверки и коррекции команды оператора системе.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№19-07-01037).

### **Список литературы**

1. Барабанщиков В. А., Айтрекинг: Методы регистрации движения глаз в психологических исследованиях и практике / В. А. Барабанщиков, А. В. Жегалло – М.: Когито-Центр, 2014. – 128 с.

2. Туровский Я.А., Вариабельность сердечного ритма пользователей видеоокулографическим интерфейсом в процессе обучения управлением самоходным шасси / Я. А. Туровский, А. В. Алексеев // Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: химия. биология. фармация. – 2017. – №1. – С. 118-124

3. Оценка возможности применения видеоокулографического интерфейса в задачах управления эргатическими системами / Алексеев А.В. [и др.] // Труды Всероссийской научной конференции «цифровая трансформация в энергетике» (Тамбов, 17-18 декабря 2019 г.). – Тамбов, 2019. – С. 232-235.

4. Vapnik V., A new learning paradigm: Learning using privileged information / V. Vapnik, A. Vashist // Neural Networks. – 2009. – V.22. – P. 544-557.

5. Туровский Я. А., Анализ движения глаз человека при управлении самоходным шасси с использованием системы видеоокулографического интерфейса / Я. А. Туровский Я.А., С. Д. Кургалин, А. В. Алексеев // СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ. – 2017. – Т.31, № 1. – С. 51-58.