

Диагностика показателей когнитивной деятельности в инновационной образовательной среде

Diagnostics of cognitive activity indicators in innovative educational environment

doi 10.26310/2071-3010.2021.275.9.009

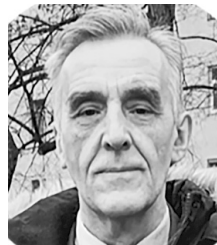


Е. Е. Котова,

к. т. н., доцент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург/Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет
✉ eekotova@gmail.com

E. E. Kotova,

PhD of Engineering Sciences, Associate Professor, Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»/ St. Petersburg State Pediatric Medical University



А. С. Писарев,

к. т. н., доцент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург
✉ a_pisarev@mail.ru

A. S. Pisarev,

PhD of Engineering Sciences, Associate Professor, Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

Технологии, с одной стороны поддерживающие традиционные модели высшего образования, вместе с тем стимулируют появление инновационной педагогики и практики в соответствии с тенденцией «цифрового прорыва в образовании». В подготовке высокопрофессиональных специалистов важное значение приобретает субъективная эффективность когнитивной деятельности обучающихся. Исследование когнитивной деятельности учащихся представляет особую актуальность при создании персонализированной и адаптивной образовательной среды в новом формате смешанного, бимодального или комбинированного обучения (Blended Learning, BL) на основе инновационных методов и средств.

Разработан метод диагностики типов и параметров моделей когнитивной деятельности студентов с использованием результатов методик тестирования, учитывающих факторы неполноты информационных ресурсов.

Представлены материалы дифференциального исследования влияния качественных и количественных показателей когнитивно-стилевого потенциала (КСП) обучающихся и когнитивной нагрузки на характеристики когнитивной деятельности.

Разработанные алгоритмы реализованы в программе CAPTCHA-E и могут применяться в исследованиях производительности решения перцептивно-когнитивных задач, разработке компьютерных систем поддержки принятия решений и в системах учебного тестирования с использованием характеристик когнитивной деятельности и когнитивной нагрузки, показателей среднего темпа, скорости и точности принятия решений в задачах бинарного выбора.

Technologies, supporting traditional higher education models on the one hand, at the same time stimulate the emergence of innovative pedagogy and practice in accordance with the trend of «digital breakthrough in education».

In the highly professional specialists training, the subjective effectiveness of the students cognitive activity is of great importance.

When creating a personalized and adaptive educational environment in a new format of blended, bimodal or combined learning (Blended Learning, BL) based on innovative methods and tools the study of students' cognitive activity is of particular relevance.

This method has been developed for diagnosing the types and parameters of models of students' cognitive activity using the results of testing that take into account the factors of incompleteness of information resources.

The differential study results of the influence of qualitative and quantitative students cognitive-style potential (CSP) indicators and cognitive load on the cognitive activity characteristics are presented.

The developed algorithms are implemented in the CAPTCHA-E program and in research on the performance of solving perceptual-cognitive problems, in the development of computer decision support systems and in educational testing systems using the characteristics of cognitive activity and cognitive load, indicators of the average tempo, speed and accuracy of decision making in binary choice tasks can be used.

Ключевые слова: среда обучения, информационные ресурсы, когнитивная деятельность, принятие решений, импульсивность, рефлексивность, имитационная модель

Keywords: learning environment, information resources, cognitive activity, decision making, impulsivity, reflectivity, simulation model

Введение

В среде смешанного обучения, инновационной и динамично развивающейся области образования, возникают новые задачи для исследования когнитивной деятельности учащихся. Не вызывает сомнений, что процесс обучения в электронной среде или среде смешанного формата насыщен информационными ресурсами различной модальности и объема, что усиливает когнитивную нагрузку.

Внедрение цифровых технологий в университетах принесло глубокие изменения в разработке и анализе процессов преподавания и обучения [1].

Зачастую возникают сложности у обучающихся по применению стратегий обучения, традиционно используемых на занятиях с преподавателем в аудиториях. Особенностью является то, что в условиях COVID-19 большая часть программ переведена в электронный

формат и предполагает активное самостоятельное изучение. Перевод занятий в онлайн — смешанный или полностью онлайн формат, может быть проведен достаточно быстро, но в публикациях отмечаются огромные различия в качестве обучения [2]. Результаты проведенного авторами статьи опроса обучающихся показывают, что порядка 40% студентов (выборка составила 96 студентов бакалавров технического направления обучения) отметили сложность ориентировки в организации и самостоятельности изучения материала дисциплин несмотря на четкость структурирования, планирования и представления учебного контента (на примере изучения дисциплин в среде Moodle). В то же время отмечалась привлекательность возможностей обучения в электронном формате.

Как отмечается в публикациях, в сфере высшего образования «пересматриваются подходы к обучению и трансформируются образовательные модели»,

рассматривается потенциал и перспективы развития смешанного обучения, персональных программ/траекторий обучения [3–5, др.]. Цифровое обучение «из временной меры стало новым социальным трендом, система образования и в школах, и вузах оказалась в условиях беспрецедентного эксперимента, в силу чего возникла необходимость изучения его возможных социальных последствий и характера влияния на человека» [6].

Для педагогов открываются широкие возможности применения инновационных методов обучения, педагогических инноваций и практик, использующих технологии [2].

Постепенные инновации на уровне курсов и учебных программ в университетах при переходе к смешанному образованию для повышения качества и удовлетворения потребностей более разнообразного и большего числа учащихся приводят к необходимости применения новых учебных видов деятельности [7].

Теоретические и экспериментальные исследования когнитивной деятельности учащихся в виртуальной среде представляют особую актуальность для создания персонализированной и адаптивной образовательной среды обучения [8].

Продуктивность, характеризующаяся точностью и временем решения задач в условиях визуальной неопределенности информационного контента, зависит от многих факторов: индивидуальных когнитивно-стилевых особенностей лиц, принимающих решения, когнитивной нагрузки представления мультимодальной информации (визуальной, вербальной), полноты изображений, способов реализации человеко-машинного интерфейса (human-computer interaction, HCI) и др.

В исследованиях влияния индивидуальных когнитивно-стилевых особенностей на производительность интеллектуальной деятельности к классическим типам относятся параметры когнитивного стиля «импульсивность-рефлексивность», изначально предложенного для исследования индивидуальной познавательной сферы Дж. Каганом (Kagan J., 1966) [9]. Показатели импульсивности и рефлексивности, как разные «полюсовые» значения данного когнитивного стиля, и их сочетания диагностируются при помощи методики MFFT–12 (Matching Familiar Figures Test) «Выбор парной фигуры», автором которой также является Дж. Каган. Стратегия когнитивной рефлексии наблюдается у людей, которые медленнее реагируют и могут при этом совершать меньше ошибок, когнитивная импульсивность наблюдается у лиц, которые реагируют быстро, при этом совершая много ошибок [10]. Считается необходимым поддерживать баланс между быстротой и точностью действия. Диагностика данного когнитивного стиля дает представление о том, как люди распределяют перцептивно-моторные ресурсы и координируют рабочие процессы как в учебной среде, так и в реальных условиях.

Известные результаты исследований с использованием методики MFFT Дж. Кагана подтверждают актуальность и практическую значимость ее применения в различных областях: медицине, профессиональном тестировании, разработке модифицированных методик, человеко-машинных систем поддержки принятия

решений (Operator 4.0), адаптивных производственных системах автоматизации (Industry 4.0), в которых основное внимание уделяется интеграции сенсорных и когнитивных способностей человека в киберфизических системах и в учебном процессе (Learning 4.0) [8]. В некоторых статьях данный стиль «рефлексивность» пишется «рефлексивность», что является аналогичным смысловым понятием. Например, приводятся результаты исследований: люди с рефлексивным стилем более точно обнаруживают и различают зрительные и звуковые сигналы [11]; у студентов с рефлексивным когнитивным стилем отмечается высокая академическая успеваемость [12]; в области научных исследований импульсивные способны быстро формулировать гипотезы, а рефлексивные тщательно их проверять [13, 14].

Со времени разработки Дж. Каганом методики MFFT–12 исследования импульсивности-рефлексивности продолжались в изучении ментальных процессов [например, 15], также разрабатываются и различные модификации теста [16]. С целью применения в образовательной практике авторами статьи разработана сетевая версия модифицированного компьютерного варианта классической версии «бумажного» теста MFFT–12 в составе программного комплекса «Онто-МАСТЕР-Диагностика», который применяется для диагностирования когнитивно-стилевого потенциала (КСП) обучающихся в интегрированной образовательной среде [17].

При разработке компьютерных модифицированных тестов важным аспектом является обеспечение сопоставимости и воспроизводимости полученных научных результатов. Модифицированные тесты, реализующие одинаковые задачи, но различающиеся формой представления стимулов, показывают наличие сильных отличий по времени реакции и точности [16]. Исследования возникающих различий проводятся с применением математических и компьютерных моделей на трех уровнях обработки информации человеком:

- восприятия сигналов;
- когнитивных процессов принятия решений о реакции на наблюдения;
- осуществления моторных реакций (действий).

Восприятие характеризуется мультимодальностью каналов обработки сигналов: визуальных, звуковых и др. В когнитивных процессах осуществляется извлечение смысла из информации и интеграция (трансдукция, transduction) вербальных, визуальных, математических и других представлений [18, 19].

Модели времени и скорости когнитивных процессов развиваются в научном направлении когнитивной науки в рамках парадигмы ментальной хронометрии [20]. Отметим некоторые из моделей.

Модель решения элементарных перцептивно-когнитивных задач (elementary cognitive task, ECT), предложенная британским психологом У. Хиком (William E. Hick) в статье в 1952 году (известна как закон Хика) [21], основана на теоретико-информационном подходе К. Шеннона и применена во многих исследованиях [22–24].

Модель среднего времени восприятия сигнала в форме степенной зависимости от интенсивности

была предложена одним из основоположников французской экспериментальной и физиологической психологии Г. Пьероном (Henri Piéron) [25]: среднее время реакции (mean response times, MRT) изменяется по степенному закону в зависимости от интенсивности стимула [25, 26].

Модель времени обработки вербальной информации основывается на теоретико-информационном подходе американского математика К. Шеннона (Claude Shannon) [27].

Модель времени моторных процессов предложена американским психологом П. Фиттсом (Paul Morris Fitts) на основе предиктивной модели взаимодействия человека и машины [28].

Развитием модели времени реакции (модели Хика) для сложных когнитивных задач является применение объединенного теоретико-информационного подхода для оценки времени на основе информационной энтропии К. Шеннона [21] и алгоритмической энтропии, предложенной выдающимся математиком А. Н. Колмогоровым в основе алгоритмической теории информации [29], который применен в статье [30].

Далее для диагностики показателей когнитивной деятельности в инновационной образовательной среде необходимо исследовать влияние когнитивной нагрузки стимульного материала на время и точность решения задач.

1. Постановка задачи разработки и исследования модели когнитивной деятельности

Ранее в исследованиях модифицированных тестов Дж. Кагана было отмечено, что при изменении изображений стимулов результаты классификации по шкале «импульсивность/рефлексивность» могут значительно отличаться от результатов, полученных в исполнении оригинального теста [16].

Вопросы количественной оценки влияния факторов неполноты изображений стимулов (когнитивной нагрузки) и значений когнитивного стиля «импульсивность/рефлексивность» на когнитивную производительность (в показателях времени и точности) решения серии перцептивно-когнитивных задач выбора по методике Дж. Кагана в компьютерных модификациях теста являются новыми для исследования.

Постановка задачи. Задачей является выявление и исследование различий между результатами выполнения модифицированных версий теста, отличающихся когнитивной нагрузкой (числом задач и различной степенью полноты изображений стимулов), и результатами компьютерной модификации методики классического теста Дж. Кагана с оригинальными изображениями на основе количественных моделей.

Исследование модели когнитивной деятельности на примере решения серии задач Дж. Кагана в показателях времени и точности проводится на основе двух компьютерных версий (модификациях), существенно отличающихся полнотой представления изображений стимулов.

Гипотеза исследования: показатели модели когнитивной деятельности зависят от параметров модели КСП студентов по шкале «импульсивность-

рефлексивность» и степени полноты распознаваемых изображений стимульного материала:

- при уменьшении степени полноты изображений стимулов увеличиваются значения среднего времени решения серии задач и среднего числа ошибок;
- при увеличении числа альтернатив выбора в задачах увеличиваются значения среднего времени решения серии задач и среднего числа ошибок;
- при более заметных различиях в сравниваемых изображениях стимульного материала модифицированных тестов значения среднего времени решения серии задач и среднего числа ошибок уменьшаются.

В настоящем исследовании предусмотрены следующие условия:

- когнитивная деятельность анализируется на примере выполнения модифицированного теста Дж. Кагана;
- доминирующими параметрами модели КСП являются параметры когнитивного стиля «импульсивность-рефлексивность», по значениям которых происходит дифференциация обучающихся на условные подгруппы (подклассы).
- в качестве метрики когнитивной нагрузки принята степень полноты изображений стимульного материала, которые сравниваются с эталонными изображениями.

В статье далее приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований, подтверждающие гипотезу исследования. Разработаны компьютерные модификации методики Дж. Кагана, отличающиеся степенью полноты изображений стимулов когнитивной нагрузки, измеряемой на основе информационной и алгоритмической энтропии.

2. Метод

Метод сравнения результатов решения модифицированных версий теста с различной степенью полноты изображений стимулов, с результатами компьютерной модификации методики классического теста Дж. Кагана с оригинальными изображениями, основывается на использовании количественных моделей производительности. Продолжено развитие подхода на основе разработанной ранее авторами модели [30–32].

В эксперименте принимает участие две группы студентов G1 и G2.

Метод состоит из последовательности этапов:

- проведение экспериментального тестирования группы студентов G1 с использованием компьютерной версии методики Дж. Кагана с оригинальными (неполными) изображениями стимулов (далее методика с неполными изображениями обозначена — методика А);
- разработка модифицированного теста с полными изображениями стимулов, точно соответствующими эталонным изображениям (далее используется сокращенное обозначение методики с полными изображениями — методика В);
- проведение экспериментального тестирования группы студентов G2 с использованием компьютерной версии методики В;

- определение значений параметров модели когнитивной деятельности по выполнению методик А и В: когнитивной нагрузки, измеряемой метриками в виде информационной и алгоритмической энтропии; степени полноты изображений; оценки числа попыток решения задач до получения правильного ответа;
- определение значений параметров модели КСП студентов двух групп G1 и G2 по результатам тестирования: среднего числа ошибок, темпа и скорости решения элементарных перцептивно-когнитивных задач выбора; типа когнитивного стиля по шкале «импульсивность-рефлексивность»;
- имитационное моделирование когнитивной деятельности с использованием параметров моделей КСП студентов G2 и параметров модели когнитивной нагрузки методики А (далее используется сокращенное обозначение методики имитационного эксперимента – ВА);
- сравнение результатов, полученных в трех сериях экспериментов (методиках А, В, ВА).

В тестировании принимали участие две группы студентов технического профиля обучения факультета компьютерных технологий и информатики в возрасте 18–20 лет: контрольная группа G1 (54 человека) и экспериментальная группа G2 (85 человек). Группе G1 было предложено выполнить вариант методики А, в котором использовались изображения стимулов (вариантов ответов), соответствующие классической («бумажной») версии теста Дж. Кагана. Группе G2 было предложено выполнить методику с изображениями стимулов, в которых изображения правильных ответов были заменены на точные копии эталонных изображений образцов поиска (методика В).

Задачей являлся поиск изображения эталона (ответа) в одном из 8 изображений вариантов заданий методики Дж. Кагана MFFT [9]. Методика включает 12 заданий. На основе средних значений времени первого ответа и числа допущенных ошибок определялся тип когнитивного стиля по шкале «импульсивность-рефлексивность».

Изображения эталонов и стимулов представляют собой контурный рисунок черного цвета на белом фоне. Если допустить, что в модификациях изображений стимулов возможны случаи, когда стимул не только содержит полную копию контура эталона, но и некоторые дополнительные фрагменты (например, фрагменты черного цвета), то формально сравнение эталона и стимула должно показать это отличие. Поэтому в формальной постановке решению задачи поиска точной копии эталона в изображениях стимулов может соответствовать нулевое значение суммы функций разности интенсивностей пикселей, например, суммы квадратов разностей (squared error, SE) или среднеквадратических разностей (root mean squared error, RMSE).

Требование полного соответствия эталона и стимула может быть представлено в виде равенства нулю расстояния Чебышева между двумя векторами, представляющими значения интенсивности контуров или пикселей [33]:

$$d(X, Y) = 0$$

$$d(X, Y) = \max_{i=1, N} |x_i - y_i|.$$

Если интенсивности в одной паре пикселей различаются, то принимается решение о несоответствии эталона и стимула.

В классическом тесте Дж. Кагана применяются оригинальные изображения стимулов, которые являются неполными изображениями эталонов. Однако, в классическом варианте, условия с неполными изображениями позволяют испытуемым решать задачи выбора. Объяснение этого эффекта возможно при использовании понятия порога распознавания изображений, предложенного Е. С. Голлином (Eugene S. Gollin) в 1960 г. [34].

В качестве показателя полноты изображения в нашей работе предложен фактор полноты изображения, как отношение количества полезной информации (Q_c) в неполном изображении к количеству информации в исходном (полном) изображении (Q_0):

$$I = \frac{Q_c}{Q_0}.$$

В случае измерения полноты контурных монохромных (бинарных) изображений, количество полезной для решения задачи человека информации (Q_c) оценивается количеством пикселей контура [35].

В разработанной авторской компьютерной программе для оценки степени полноты изображений могут применяться и другие критерии сходства изображений [36]: нормализованная кросс-корреляция (normalized cross correlation, NCC), средняя абсолютная ошибка (mean absolute error, MAE), средний квадрат ошибки (mean squared error, MSE) и др. [37].

При заданной полноте изображений в методике, оценка среднего числа попыток решения задач до получения правильного ответа осуществляется с помощью имитационного моделирования когнитивных процессов выбора [36].

Для удобства анализа параметров модели, показатели полноты изображений стимулов приводятся к нормированным значениям.

На рис. 1. изображен пример графика нормированных значений показателей полноты изображений стимулов. Пунктирной линией отмечена граница

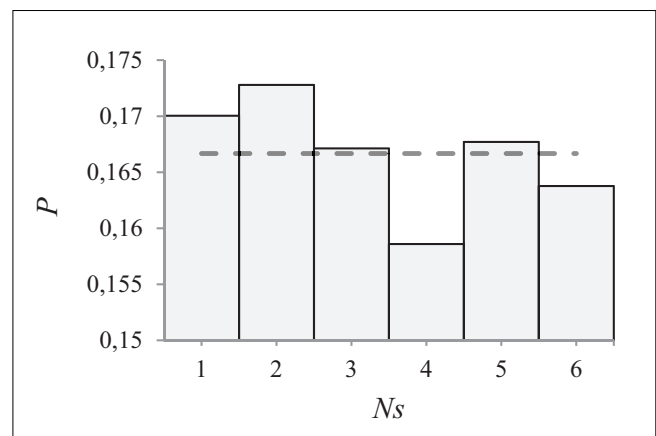


Рис. 1. Гистограмма нормированных значений показателей полноты изображений стимулов

значимости $P=0.166$ равновероятного ответа при шести возможных вариантах выбора. Относительное число альтернатив выбора, нормированные значения показателей полноты которых превышают значение порога, обозначенного пунктирной линией на рисунке, равно $\alpha = 0.66$.

Метод исследования времени реакции состоит в определении значений факторов и идентификации коэффициентов множественной регрессионной модели когнитивной деятельности (1):

$$T = mH_K + b ID + zH_S, \quad (1)$$

$$ID = \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1 \right), \quad (2)$$

где H_K – алгоритмическая энтропия когнитивной нагрузки;

ID – фактор сложности моторной деятельности П. Фиттса [21];

D – расстояние до «цели», например, до элементов выбора на экране компьютера;

W – ширина «цели», например элементов выбора.

H_S – фактор энтропии понятийной организации предметной области;

m, b, z – параметры модели;

m – средний темп обработки визуальной информации:

$$m = m_0 H_I I^{-\alpha}, \quad (3)$$

где $I = \frac{Q_c}{Q_0}$ – фактор полноты изображения, оце-

ниваемый отношением количества полезной информации (Q_c) в неполном изображении к количеству информации в исходном изображении (Q_0), меняется от 0 до 1 (максимальная полнота изображения);

α – константа, характеризующая крутизну гиперболического затухания (среднее число попыток при решении задачи);

H_I – информационная энтропия когнитивной нагрузки ($H_{I,H}, H_{I,S}$);

$H_{I,H} = \log_2(N) - H_I$ в случае равновероятных ответов (формула Р. Хартли);

N – число вариантов ответов;

$H_{I,S} = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i - H_I$ в случае различных

вероятностей для i -х альтернатив выбора (формула К. Шеннона);

p_i – вероятность i -й альтернативы выбора;

m_0 – дополнительный количественный показатель КСП (когнитивного стиля) – средний темп обработки информации в элементарных задачах бинарного выбора.

В методе анализа точности применяется регрессионная модель среднего числа ошибок в серии когнитивных задач выбора:

$$N_e = e H_K, \quad (4)$$

где e – среднее число ошибок в серии когнитивных задач выбора:

$$e = H_I \alpha e_0, \quad (5)$$

где e_0 – дополнительный количественный показатель КСП (когнитивного стиля) – среднее число ошибок в элементарных задачах бинарного выбора.

Время первого ответа (T_1) связано с временем решения задачи:

$$T_1 = \beta H_I H_K m_0, \quad (6)$$

где β – параметр, определяемый по экспериментальным данным.

С использованием значений факторов НК и коэффициентов регрессии m, e реконструируется среднее время и точность перцептивно-когнитивной обработки и принятия решений выбора [31, 38].

3. Результаты.

Анализ экспериментальных данных

1. Средние значения кумулятивного времени (T_c) решения 12 задач методики Дж. Кагана в группах G1 и G2 – изображены на графике (рис. 2) в зависимости от количества алгоритмической энтропии (H_K). По экспериментальным данным групп G1 (круглые точки) и G2 (квадратные точки) построены линейные регрессионные зависимости $T_c = m H_K$. Значения коэффициентов регрессии m (среднего темпа решения задач) представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Расчет среднего темпа (m_0) и скорости (v_0) решения задач бинарного выбора

Группа	m	H_I	I	α	$I^{-\alpha}$	m_0	v_0
A	2.35	2.99	0.59	0.51	1.3	0.6	1.7
B	1.76	2.96	1	0.13	1	0.6	1.7

Значения коэффициентов детерминации построенных линейных регрессий $R^2 = 0.99$ подтверждают точность линейной зависимости.

Значения параметров когнитивной модели студента среднего темпа (m_0) и скорости (v_0) решения задач бинарного выбора определены в соответствии

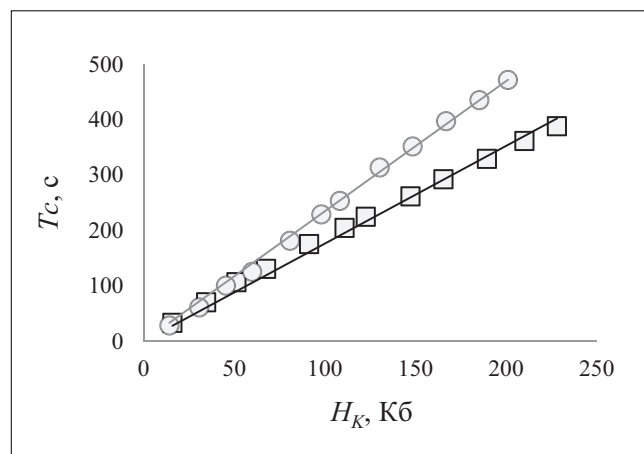


Рис. 2. График зависимости среднего времени решения серии задач от количества алгоритмической энтропии в группах G1 (круглые точки) и G2 (квадратные точки).

с моделью (3) с использованием значения информационной энтропии (H_I), средней полноты изображений стимулов (I) и α – показателя степени гиперболического затухания.

Средняя полнота изображений стимулов (I) оценивается в форме отношения числа элементов изображения, совпавших с эталоном, к общему размеру эталонного изображения.

Значение показателя степени α определяется в виде оценки числа попыток решений до получения правильного решения из множества альтернатив с помощью программы САРТСНА-Е [36].

Получены параметры когнитивной модели «средних» студентов групп G1 и G2: среднего темпа и скорости обработки информации в элементарных задачах бинарного выбора: $m_0 = 0.6$ с/Кб, $v_0 = 1.7$ Кб/с.

2. Средние значения числа ошибок (e) в решениях задач группами студентов G1 и G2 изображены в виде графика зависимости от количества алгоритмической энтропии H_K на рис. 3. По экспериментальным данным групп G1 (круглые точки) и G2 (квадратные точки) построены линейные регрессионные зависимости по формуле (4). Значения коэффициентов регрессии e представлены в таблице 2. Коэффициенты детерминации линейных регрессий $R^2 = 0.99$, что подтверждает линейную зависимость числа ошибок от когнитивной нагрузки.

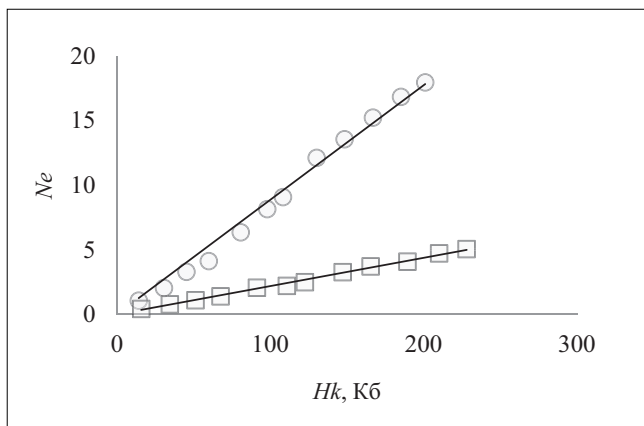


Рис. 3. График зависимости среднего числа ошибок при решении серии задач в группах G1 (круглые точки) и G2 (квадратные точки) от количества алгоритмической энтропии.

Средние значения числа ошибок в элементарных задачах бинарного выбора в группах G1 и G2 приблизительно равны: $e_0 = 0.06$ (ошибок/Кб).

Таблица 2.

Расчет среднего числа ошибок e_0 при решения задач бинарного выбора

Группа	e	H_I	α	e_0
A	0.089	2.99	0.51	0.058
B	0.022	2.96	0.13	0.057

Число допущенных ошибок студентами при выполнении методики А с неполными изображениями стимулов приблизительно в 4 раза превышает число ошибок методики В

$$\left(\frac{e_A}{e_B} \approx 4\right).$$

На рис. 4. изображена гистограмма с частотами ошибочных попыток при выборе правильного варианта ответа из 8 возможных в серии из 12 задач Дж. Кагана. Аппроксимация гистограммы геометрическим распределением с параметром $p = 0.4$ изображена на рис. 4 штрих-пунктирной линией. Среднее значение числа ошибок $\mu = 1.5$, что означает, что испытуемый находил верное решение со второй-третьей попытки, стандартное отклонение $\sigma = 1.72$ в выборке группы G1.

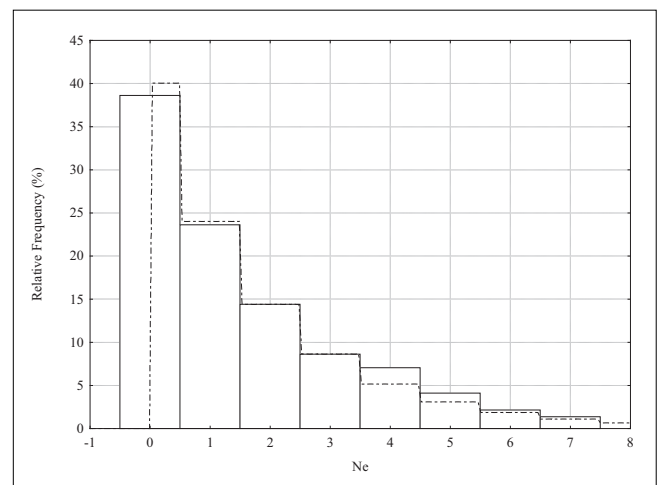


Рис. 4. Распределение относительных частот ошибок при выборе студентами группы G1 вариантов ответов из 8 возможных в 12 задачах теста Дж. Кагана.

На рис. 5. изображена гистограмма с частотами ошибочных попыток в группе G2 при выборе правильного варианта ответа из 8 возможных в серии из 12 задач Дж. Кагана. Аппроксимация гистограммы геометрическим распределением с параметром $p = 0.7$ изображена на рис. 5. штрих-пунктирной

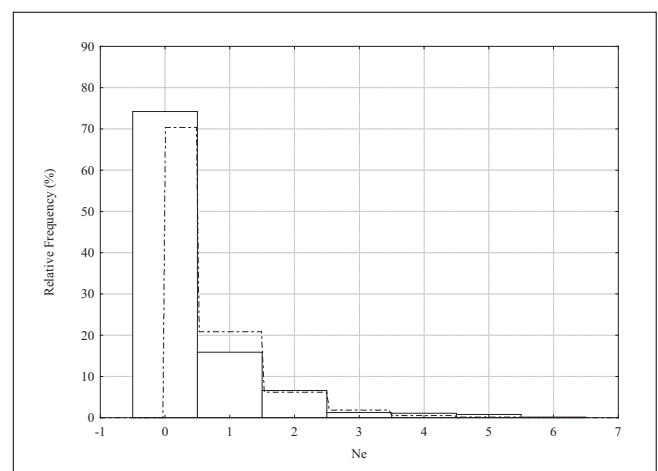


Рис. 5. Распределение относительных частот ошибок при выборе студентами группы G2 вариантов ответов из 8 возможных в 12 задачах теста Дж. Кагана.

Время первого ответа и числа ошибок

Группа	Время первого ответа, с.			Число ошибок		
	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана
A	28.38	26.57	20.6	1.49	1.72	1
B	28.62	28.24	19.85	0.42	0.89	0

линией. Среднее значение числа ошибок $\mu = 0.42$, что означает, что испытуемый находил верное решение с первой-второй попытки, стандартное отклонение $\sigma = 0.89$ в выборке группы G2.

Результаты подтверждают гипотезу: при увеличении степени полноты изображений стимулов (в методике В) уменьшается среднее число ошибок.

3. Среднее время первого ответа. В таблице 3 и на рис. 6 приведены результаты времени первого ответа T_1 по методикам А и В.

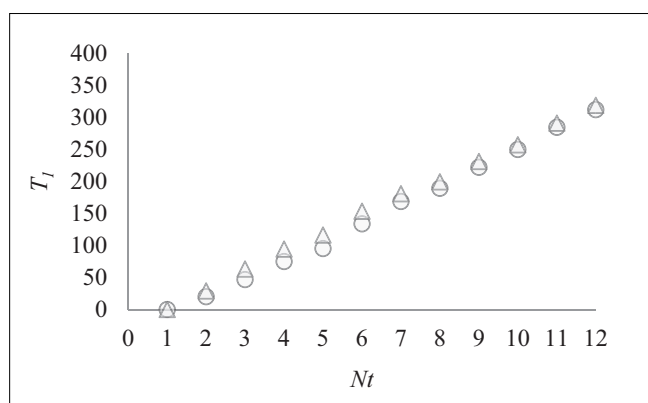


Рис. 6. График среднего времени первого ответа (T_1) при решении серии из 12 задач (Nt) в группах G1 (круглые точки) и G2 (треугольные точки).

Среднее время первого ответа оказалось одинаковым в группах А и В (рис. 6), что подтверждает однородность выборки студентов.

4. Анализ когнитивных стилей по шкале «импульсивность-рефлексивность».

Классификация по шкале «импульсивность/рефлексивность» осуществляется на основе средних значений времени первого ответа и числа допущенных ошибок.

Результаты тестирования изображены на рис. 7 и рис. 8. По оси абсцисс указано среднее время первого ответа. По оси ординат показано среднее число ошибок.

Студенты группы G1 классифицированы на 4 подкласса:

- 1 — «быстрый и неточный» (верхний левый квадрант), 19%;
- 2 — «медленный и точный» (нижний правый квадрант), 62%;
- 3 — «быстрый и точный» (нижний левый квадрант), 18%;
- 4 — «медленный и неточный» (верхний правый квадрант), 1%.

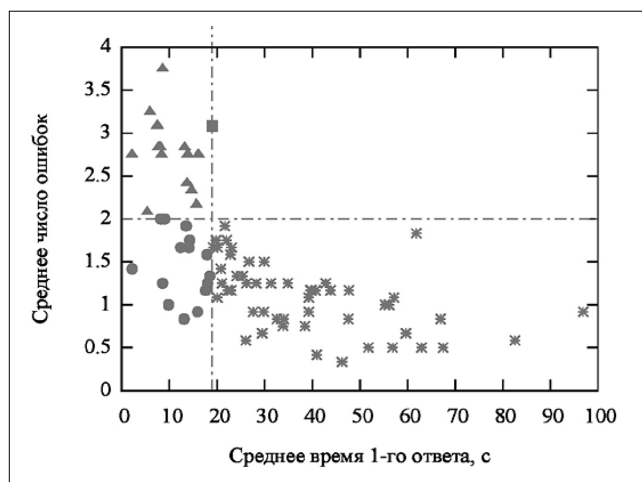


Рис. 7. Классификация студентов по шкале «импульсивность-рефлексивность» (группа G1).

Студенты группы G2 классифицированы на 2 подкласса (рис. 8):

- 2 — «медленный и точный» (нижний правый квадрант, 53%;
- 3 — «быстрый и точный» (нижний левый квадрант), 47%;

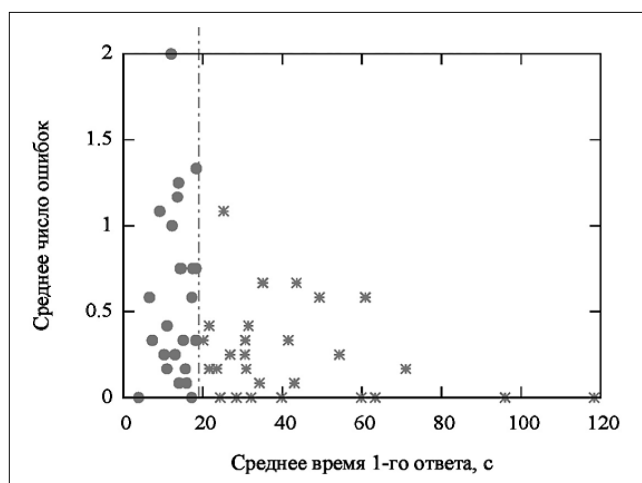


Рис. 8. Классификация студентов по шкале «импульсивность-рефлексивность» (группа G2).

Результаты выполнения методики В демонстрируют, что студенты группы G2 решили задачи с точностью до двух ошибок, т. е. точнее, чем в группе G1, при примерно одинаковом среднем времени первого ответа. В связи с отсутствием классов импульсивный и «медленный и неточный» на рис. 8 результаты группы G2 трудно сопоставить с известными результатами

классической методики Дж. Кагана. Поэтому интерес вызывает применение параметров когнитивной модели студентов группы G2 в имитационном моделировании (методика ВА) и оценка результатов когнитивной деятельности для случая тестирования по классической (А) методике Дж. Кагана.

4. Имитационное моделирование результатов когнитивной деятельности с неполными изображениями

Моделирование результатов когнитивной деятельности, которые могли бы быть получены студентами группы G2 в классической методике А с неполными изображениями включает:

- когнитивную модель студентов G2 с использованием значений параметров, полученных в предыдущем тесте В (среднего числа ошибок (e_0) и др.);
- модель когнитивной нагрузки методики ВА со значениями параметров методики А: когнитивной нагрузки (H_I, H_K), полноты изображений (I), оценки числа попыток решения (α);
- расчеты по модели ожидаемого числа ошибок и времени первого ответа для всех студентов группы G2;
- классификацию студентов по шкале когнитивного стиля «импульсивность-рефлексивность» с использованием модельных данных.

В результате моделирования выполнения методики А группой G2 получено среднее число ошибок 1.25. Зависимость среднего числа ошибок от количества алгоритмической энтропии изображена на рис. 9. По данным моделирования среднее число ошибок (e) группы G2 выросло в 3.46 раз по сравнению с методикой В.

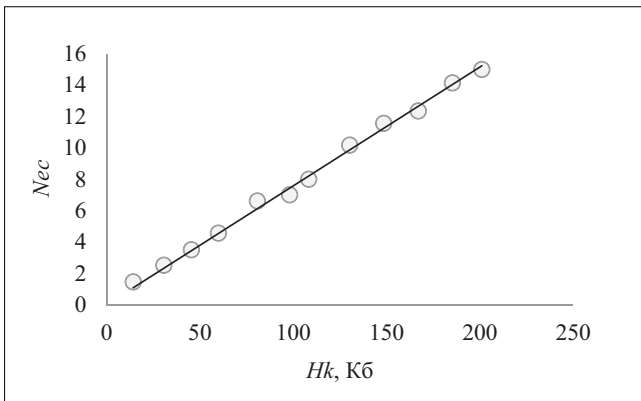


Рис. 9. Моделирование зависимости среднего числа ошибок при решении серии задач в группе G2 (круглые точки) по методике А от количества алгоритмической энтропии.

По результатам моделирования студенты классифицированы на 4 подкласса (рис. 10):

- 1 — «быстрый и неточный» (верхний левый квадрант), 21%;
- 2 — «медленный и точный» (нижний правый квадрант), 47%;
- 3 — «быстрый и точный» (нижний левый квадрант), 26%;
- 4 — «медленный и неточный» (верхний правый квадрант), 6%.

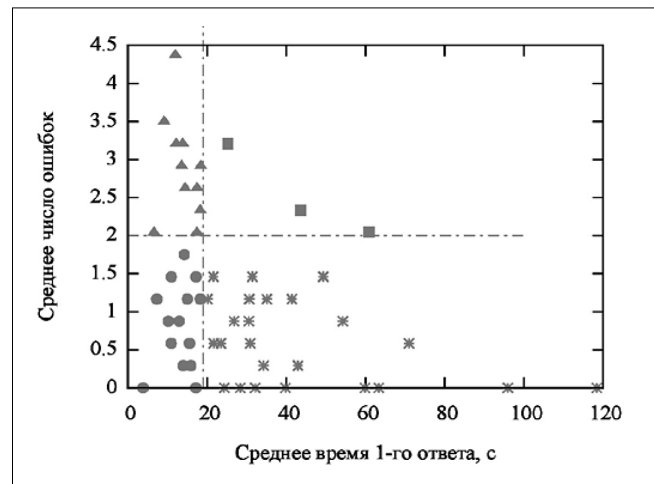


Рис. 10. Классификация по шкале «импульсивность/рефлексивность» по результатам моделирования выполнения методики А студентами группы G2.

Соотношение числа студентов экспериментальной группы G2 в классах по шкале «импульсивность-рефлексивность», полученных в результате моделирования, сопоставимо с результатами, полученными контрольной группой G1.

5. Дискуссия и выводы

Разработка персонализированных учебных материалов, учитывающих когнитивно-стилевые особенности студентов по восприятию визуальной информации и решению когнитивных задач, представляет собой актуальную проблему повышения качества учебного процесса. Когнитивные стили по шкале «импульсивность-рефлексивность» Дж. Кагана влияют на академическую успеваемость студентов.

В статье представлены результаты исследования разработанных компьютерных модификаций методики Дж. Кагана, отличающихся степенью полноты изображений стимулов, что позволяет объяснить возникающие различия в когнитивной деятельности, характеризующейся точностью и временем принятия решений. В тестировании разработанных методик принимали участие две группы студентов технического профиля обучения. Контрольная группа G1 выполняла методику с неполными изображениями вариантов ответов, соответствующими классической («бумажной») версии теста Дж. Кагана. Экспериментальной группе G2 предьявлялись точные копии эталонных изображений в вариантах изображений-ответов методики.

Анализ результатов выполнения студентами двух версий компьютерной модифицированной методики Дж. Кагана показал, что:

- разработанные модели (1) — (5) оценки когнитивной деятельности (времени и среднего числа ошибок в серии перцептивно-когнитивных задач, рис. 1) описывают экспериментальные данные с точностью коэффициентов детерминации $R^2=0.99$;
- на выполнение серии задач в методике А с неполными изображениями стимулов потребовалось приблизительно на 30% больше общего времени, чем в методике В с полными изображениями;

- среднее время принятия решения (в частности, первого ответа в заданиях) совпадает в двух группах, выполнявших тестирование по методикам А и В;
- студенты допускают большее число ошибок в серии задач А с неполными изображениями стимулов, чем в методике В с полными изображениями;
- увеличение приблизительно в четыре раза числа ошибок у студентов в серии задач А с неполными изображениями стимулов может быть объяснено с помощью моделей (4) – (5), учитывающих факторы информационной и алгоритмической энтропии, показатель когнитивной нагрузки в измерении полноты изображений и числа альтернатив выбора, превышающих среднее пороговое значение.

В таблице 4. приведены результаты классификации студентов по когнитивному стилю «импульсивность-рефлексивность» в трех модифицированных методиках Дж. Кагана, а также данные из примера исследования [12].

Таблица 4.

Число студентов (%), классифицированных по шкале когнитивного стиля «импульсивность-рефлексивность» в четырех методиках

Класс	Методика			
	А	В	ВА	К [12]
«быстрый и неточный», или импульсивный (I)	19		21	30
«медленный и точный», или рефлексивный (R)	62	53	47	30
«быстрый и точный» (FA)	18	47	26	28
«медленный и неточный» (SI)	1		6	12
«продуктивный по точности» (R+FA)	80	100	73	
«менее продуктивный» (I+SI)	20	0	27	
«полюса шкалы» (R+I) (2/3)	81	53	68	
«середина шкалы» (FA+SI) (1/3)	19	47	32	

Расшифровка обозначений:

R – reflective;
 FA – fast-accurate;
 SI – slow inaccurate;
 I – impulsive.

В методике А использовались изображения стимулов (вариантов ответов), соответствующие классическому («бумажному») тесту Дж. Кагана. В методике В изображения правильных ответов были заменены на точные копии эталонных изображений, более простых для восприятия и значительно отличающихся от остальных неполных изображений стимулов. Студенты группы G1 выполняли тестирование по методике А, а группа G2 – по методике В. Методика ВА предусматривала использование параметров когнитивного стиля студентов группы G2 (среднего числа ошибок, темпа и скорости решения элементарных перцептивно-когнитивных задач бинарного выбора) для моделирования выполнения методики А с непол-

ными изображениями. В работе [12] представлены результаты (методика К в таблице) в соответствии с классическим («бумажным») тестом (группа испытуемых из 136 студентов гуманитарного и технического профиля обучения) [12].

Методика В оказалась более простой для студентов, что заметно по отсутствию «неточных» студентов, классифицированных как импульсивный и «медленный и неточный». Результаты методики В не соответствуют классической методике, что затрудняет их дальнейшее использование.

Тем не менее, применение измеренных когнитивных параметров студентов для моделирования по методике ВА позволило получить данные, которые более соответствуют классической методике.

Также, как и в классической методике К, доля продуктивных студентов «продуктивный» (R+FA) по результатам моделирования в методике ВА (74%) выше, чем число остальных студентов («менее продуктивный», I+SI). По этому показателю методика ВА ближе к оценкам методики А (80%), в выполнении которой принимали участие студенты того же факультета и того же возраста.

Известно, что в исследованиях по классической методике Дж. Кагана в среднем 2/3 испытуемых составляют два полюса шкалы [14, 39], что также подтверждается в ряде публикаций: (R+I) 72.2% [40], 76.2% [41], 66.6% [42].

Наиболее точно эта закономерность наблюдается в методике ВА: рефлексивные и импульсивные испытуемые составляют 68%. Эта закономерность наблюдается и в результатах методики К: 60% – «полюса шкалы» (R+I) и 40% – «середина шкалы» (FA+SI).

Таким образом, в результате выполненных исследований подтверждена гипотеза: результаты выполнения модифицированного теста Дж. Кагана и классификация когнитивного стиля студентов по шкале «импульсивность-рефлексивность» зависят от степени полноты соответствия изображений стимулов эталонным изображениям:

- при увеличении степени полноты изображений стимулов (в методике В) уменьшается среднее число ошибок и среднее время решения серии задач;
- более заметным различиям в сравниваемых рисунках модифицированных тестов (в методике В) соответствует меньшее время выбора решения; На продуктивность когнитивной деятельности существенное влияние оказывают факторы:
- когнитивной нагрузки, измеряемой на основе теоретико-информационного подхода, мер информационной и алгоритмической энтропии;
- индивидуального КСП, в частности, когнитивного стиля «импульсивность-рефлексивность» студента;
- степени полноты визуального представления стимулов.

В дальнейшем планируется продолжить исследование продуктивности когнитивной деятельности (например, решения перцептивно-когнитивных задач выбора) по другим методикам с учетом индивидуальных параметров когнитивной сферы, в задачах принятия решений с ограничением времени и в ситуациях контрольного тестирования по учебным дисциплинам.

Список использованных источников

- Anderson T. Rivera-Vargas P. A critical look at educational technology from a distance education perspective//Digital Education Review. 2020. No. 37. Pp. 208–29.
- Guàrdia L., Clougher D., Anderson T., Maina M. International Review of Research in Open and Distributed Learning. 2021. Vol. 22. No. 2.
- Салахова В. Б., Уколова Л. И. Глобальные риски XXI века: кризис образования в условиях пандемии COVID-19. Образование личности. 2020. № 1–2. С. 35–43.
- Вайнштейн Ю. В. Персонализированное адаптивное обучение в цифровой среде вуза. Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании Материалы V Международной научной конференции. В 2-х частях. Под общей редакцией М. В. Носкова. Красноярск. 2021. С. 83–86.
- Уваров А. Ю. Три сценария развития образования и его цифровая трансформация//Continuum. Математика. Информатика. Образование. 2020. № 3. С. 61–74.
- Баева Л. В. Образование для социальной устойчивости перед лицом вызовов XXI века//Этнодиалоги. 2021. № 1 (63). С. 45–60.
- Henderikx P., Jansen D. The changing pedagogical landscape: In search of patterns in policies and practices of new modes of teaching and learning. European Association of Distance Teaching Universities (EADTU). 2018. 113 p.
- Romero D., Bernus P., Noran O., Stahre J., Fast-Berglund A. The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems//IFIP international conference on advances in production management systems. Springer. Cham. 2016. Pp. 677–686.
- Kagan J. Reflection-impulsivity: The generality and dynamics of conceptual tempo. Journal of abnormal psychology. 1966. Vol. 71. No. 1. Pp. 17–24.
- Yokoyama R. et al. Regional gray matter density associated with cognitive reflectivity–impulsivity: Evidence from voxel-based morphometry. PLoS one. 2015. Vol. 10. No. 3. 12 p.
- Чекалина А. И., Гусев А. Н. Влияние импульсивности-рефлексивности на эффективность решения сенсорных задач с разным уровнем информационной нагрузки. [Электронный ресурс]//Психологические исследования: электрон. науч. журн. 2011. № 2 (16). Доступ: <http://psystudy.ru> (дата обращения 7.01.2022)
- Кибальченко И. А., Подберезный В. В., Забулаева А. И. Структурные особенности творческих способностей студентов вуза с рефлексивным и импульсивным когнитивными стилями//Российский психологический журнал. 2017. № 3. С. 48–69.
- Холодная М. А. Основные теоретические линии формирования понятия «интеллект»: ретроспективный анализ//Разработка понятий современной психологии. Серия: Методология, теория и история психологии. М. 2018. С. 214–244.
- Холодная М. А. Когнитивные стили: О природе индивидуального ума. СПб.: Питер. 2004. 384 с.
- Meyer D. E., Irwin D. P., Osman A. M., Kounios J. The dynamics of cognition and action: mental processes inferred from speed-accuracy decomposition. Psychological review. 1988. Vol. 95. No. 2. Pp. 183–237.
- Скотникова И. Г., Большакова С. П., Воробьев К. В., Грищенко Я. И. Модификация теста Дж. Кагана «Рефлексивность — Импульсивность» для диагностики отношения работника к безопасности труда//Экспериментальная психология. 2018. Т. 11. № 3. С. 140–151.
- Котова Е. Е., Падерно П. И. Экспресс-диагностика когнитивно-стилевого потенциала обучающихся в интегрированной образовательной среде//Образовательные технологии и общество. 2015. Т. 18. № 1. С. 561–576.
- Prain V., Tytler R. Theorising Learning in Science Through Integrating Multimodal Representations//Research in Science Education. 2021. Pp. 1–13.
- Svensson K., Lundqvist J., Campos E., Eriksson U. Active and passive transductions—definitions and implications for learning//European Journal of Physics. 2021. Pp. 1–17. DOI: 10.1088/1361-6404/ac3493
- Jensen A. R. Clocking the mind: Mental chronometry and individual differences. Elsevier. 2006. 287 p.
- Hick W. E. On the rate of gain of information//Quarterly Journal of experimental psychology. 1952. Vol. 4. No. 1. Pp. 11–26.
- Hyman R. Stimulus information as a determinant of reaction time//Journal of experimental psychology. 1953. Vol. 45. No. 3. Pp. 188. doi:10.1037/h0056940
- Jamieson R. K., Mewhort D. J. K. Applying an exemplar model to the serial reaction-time task: Anticipating from experience//Quarterly Journal of Experimental Psychology. 2009. Vol. 62. No. 9. Pp. 1757–1783.
- Rammesayer T. H., Pahud O., Troche S. J. Decomposing the functional relationship between speed of information processing in the Hick paradigm and mental ability: A fixed-lisks modeling approach//Personality and individual differences. 2017. Vol. 118. Pp. 17–21.
- Piéron H. II. Recherches sur les lois de variation des temps de latence sensorielle en fonction des intensités excitatrices//L'année psychologique. 1913. Vol. 20. No. 1. Pp. 17–96.
- Van Maanen L., Grasman R. P., Forstmann B. U., Wagenmakers E. J., Piéron's law and optimal behavior in perceptual decision-making//Frontiers in neuroscience. 2012. Vol. 5. Pp. 143.
- Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация. М.: КомКнига. 2007. 512 с.
- Fitts P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement//Journal of experimental psychology. 1954. Vol. 47. No. 6. Pp. 381–391.
- Kolmogorov A. N. Three approaches to the quantitative definition of information//International journal of computer mathematics. 1968. Vol. 2. No. 1–4. Pp. 157–168.
- Kotova E. E., Pisarev I. A. Researching Cognitive Tasks Solving Taking into Account Visual Uncertainty. 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). IEEE. 2021. Pp. 127–130.
- Котова Е. Е., Писарев А. С. Анализ производительности решения когнитивных задач студентами в электронной среде обучения. В сборнике: Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании. Материалы V Международной научной конференции. В 2-х частях. Под общей редакцией М. В. Носкова. Красноярск, 2021. С. 250–256.
- Kotova E. E. Management of Cognitive Load in Integrated Educational Environment taking into account the Factor of Visual Uncertainty. IV International Conference on Control in Technical Systems (CTS). IEEE. 2021. Pp. 162–166.
- Деца Е. И., Деца М. М. Энциклопедический словарь расстояний. М.: Наука. 2008. 448 с.
- Gollin E. S. Developmental studies of visual recognition of incomplete objects//Perceptual and Motor Skills. 1960. Vol. 11. No. 3. Pp. 289–298.
- Шелепин Ю. Е., Шелепин Ю. Е. Инвариантность зрительного восприятия//Экспериментальная психология. 2008. Том. 1. № 1. С. 7–33.
- Писарев И. А., Котова Е. Е., Писарев А. С. Программа решения перцептивно-когнитивных задач выбора в условиях визуальной неопределенности «Перцептивно-когнитивный агент САРТНА-Е». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021669054, 23.11.2021. Заявка № 2021668335 от 18.11.2021.
- Weinhaus F. Accelerated template matching using local statistics and fourier transforms. 2014. 18 p.
- Котова Е. Е., Писарев А. С. Программа интеллектуального анализа продуктивности решения когнитивных задач в электронной среде (Эксперт-Аналитик ART). Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2020667345 от 22.12.2020.
- Бокова О. А., Мельникова Ю. А. Когнитивные стили как метаспособность: теоретические предпосылки исследования//Новое в психолого-педагогических исследованиях. 2019. № 3. С. 85–99.
- Cintamulya I. Analysis of students' critical thinking skills with reflective and impulsive cognitive styles on conservation and environmental knowledge learning. Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching. The Education University of Hong Kong, Department of Science and Environmental Studies. 2019. Vol. 20. No. 1. Pp. 1–14.
- Rozencwajg P., Corroyer D. Cognitive processes in the reflective-impulsive cognitive style//The Journal of genetic psychology. 2005. Vol. 166. No. 4. Pp. 451–463.
- Cintamulya I. Analysis of learning outcomes of biology based reflective and impulsive cognitive style. Proceeding of 3rd International Conference Research, Implementation and Education of Mathematics and Science. 2016. Pp. 13–18.

References:

- Anderson T. Rivera-Vargas P. A critical look at educational technology from a distance education perspective//Digital Education Review. 2020. No. 37. Pp. 208–29.
- Guàrdia L., Clougher D., Anderson T., Maina M. International Review of Research in Open and Distributed Learning. 2021. Vol. 22. No. 2.
- Salakhova V. B., Ukolova L. I. Global risks of the 21st century: the crisis of education in the context of the COVID-19 pandemic. Obrazovanielichnosti [Personal education]. 2020. No. 1–2. Pp. 35–43. (in Russian)
- Vainshtein Yu. V. Personalized adaptive learning in the digital environment of the university. Informatization of education and e-learning methodology: digital technologies in education. Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. V 2-kh chastyakh. Pod obshchey redaktsiyey M. V. Noskova [Proceedings of the V International Scientific Conference. In 2 parts. Under the general editorship of M. V. Noskov]. Krasnoyarsk. 2021. Pp. 83–86. (in Russian)
- Uvarov A. Yu. Three scenarios for the development of education and its digital transformation. Continuum. Matematika. Informatika. Obrazovanie [Continuum. Mathematics. Informatics. Education]. 2020. No. 3. Pp. 61–74. (in Russian)
- Baeva L. V. Education for social sustainability in the face of the challenges of the 21st century. Etnodiologi [Ethnodiologies]. 2021. No. 1 (63). Pp. 45–60. (in Russian)
- Henderikx P., Jansen D. The changing pedagogical landscape: In search of patterns in policies and practices of new modes of teaching and learning. European Association of Distance Teaching Universities (EADTU). 2018. 113 p.
- Romero D., Bernus P., Noran O., Stahre J., Fast-Berglund A. The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems//IFIP international conference on advances in production management systems. Springer. Cham. 2016. Pp. 677–686.
- Kagan J. Reflection-impulsivity: The generality and dynamics of conceptual tempo. Journal of abnormal psychology. 1966. Vol. 71. No. 1. Pp. 17–24.
- Yokoyama R., Nozawa T., Takeuchi H., Taki Y., Sekiguchi A., Nouchi R., Kawashima R. Regional gray matter density associated with cognitive reflectivity–impulsivity: Evidence from voxel-based morphometry. PLoS one. 2015. Vol. 10. No. 3. 12 p.

11. Chekalina A. I., Gusev A. N. Influence of impulsivity-reflexivity on the efficiency of solving sensory problems with different levels of information load. *Psikhologicheskie issledovaniya: elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Psychological research: electron. scientific magazine]. 2011. No. 2 (16). Access: <http://psystudy.ru> (accessed 01/07/2022) (in Russian)
12. Kibalchenko I. A., Podbereznyy V. V., Zabalueva A. I. Structural features of the creative abilities of university students with reflective and impulsive cognitive styles. *Rossiyskiy psikhologicheskiy zhurnal* [Russian psychological journal]. 2017. No. 3. Pp. 48–69. (in Russian)
13. Kholodnaya M. A. The main theoretical lines of the formation of the concept of «intelligence»: a retrospective analysis. *Razrabotka ponyatiy sovremennoy psikhologii. Seriya: Metodologiya, teoriya i istoriya psikhologii* [Development of concepts of modern psychology. Series: Methodology, theory and history of psychology]. M. 2018. Pp. 214–244. (in Russian)
14. Kholodnaya M. A. *Cognitive styles: On the nature of the individual mind*. SPb.: Peter. 2004. 384 p. (in Russian)
15. Meyer D. E., Irwin D. E., Osman A. M., Kounios J. The dynamics of cognition and action: mental processes inferred from speed-accuracy decomposition. *Psychological review*. 1988. Vol. 95. No. 2. Pp. 183–237.
16. Skotnikova I. G., Bolshakova S. P., Vorobyov K. V., Grishchenko Ya. I. Modification of J. Kagan's "Reflectivity-Impulsivity" test for diagnosing an employee's attitude to labor safety. *Eksperimental'naya psikhologiya* [Experimental psychology]. 2018. Vol. 11. No. 3. Pp. 140–151. (in Russian)
17. Kotova E. E., Paderno P. I. Express diagnostics of the cognitive-style potential of students in an integrated educational environment. *Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo* [Educational technologies and society]. 2015. Vol. 18. No. 1. Pp. 561–576. (in Russian)
18. Prain V., Tytler R. Theorising Learning in Science Through Integrating Multimodal Representations // *Research in Science Education*. 2021. Pp. 1–13.
19. Svensson K., Lundqvist J., Campos E., Eriksson U. Active and passive transductions—definitions and implications for learning // *European Journal of Physics*. 2021. Pp. 1–17. DOI: 10.1088/1361-6404/ac3493
20. Jensen A. R. Clocking the mind: Mental chronometry and individual differences. Elsevier. 2006. 287 p.
21. Hick W. E. On the rate of gain of information // *Quarterly Journal of experimental psychology*. 1952. Vol. 4. No. 1. Pp. 11–26.
22. Hyman R. Stimulus information as a determinant of reaction time // *Journal of experimental psychology*. 1953. Vol. 45. No. 3. Pp. 188. doi:10.1037/h0056940
23. Jamieson R. K., Mewhort D. J. K. Applying an exemplar model to the serial reaction-time task: Anticipating from experience // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2009. Vol. 62. No. 9. Pp. 1757–1783.
24. Rammsayer T. H., Pahl O., Troche S. J. Decomposing the functional relationship between speed of information processing in the Hick paradigm and mental ability: A fixed-lisks modeling approach // *Personality and individual differences*. 2017. Vol. 118. Pp. 17–21.
25. Piéron H. II. Recherches sur les lois de variation des temps de latence sensorielle en fonction des intensités excitatrices // *L'année psychologique*. 1913. Vol. 20. No. 1. Pp. 17–96.
26. Van Maanen L., Grasman R. P., Forstmann B. U., Wagenmakers E. J. Piéron's law and optimal behavior in perceptual decision-making // *Frontiers in neuroscience*. 2012. Vol. 5. Pp. 143.
27. Yaglom A. M., Yaglom I. M. *Probability and information*. M.: Komkniga. 2007. 512 p. (in Russian)
28. Fitts P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement // *Journal of experimental psychology*. 1954. Vol. 47. No. 6. Pp. 381–391.
29. Kolmogorov A. N. Three approaches to the quantitative definition of information // *International journal of computer mathematics*. 1968. Vol. 2. No. 1–4. Pp. 157–168.
30. Kotova E. E., Pisarev I. A. Researching Cognitive Tasks Solving Taking into Account Visual Uncertainty. 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). IEEE. 2021. Pp. 127–130.
31. Kotova E. E., Pisarev A. S. Analysis of the performance of solving cognitive problems by students in an electronic learning environment. *V sbornike: Informatizatsiya obrazovaniya i metodika elektronnoy obucheniya: tsifrovyye tekhnologii v obrazovanii. Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. V 2-kh chastyakh. Pod obshchey redaktsiyei M. V. Noskova* [In the collection: Informatization of education and e-learning methodology: digital technologies in education. Proceedings of the V International Scientific Conference. In 2 parts. Under the general editorship of M. V. Noskov]. Krasnoyarsk. 2021. Pp. 250–256. (in Russian)
32. Kotova E. E. Management of Cognitive Load in Integrated Educational Environment taking into account the Factor of Visual Uncertainty. IV International Conference on Control in Technical Systems (CTS). IEEE. 2021. Pp. 162–166.
33. Deza E. I., Deza M. M. *Encyclopedic Dictionary of Distances*. M.: Nauka [M.: Science]. 2008. 448 p. (in Russian)
34. Gollin E. S. Developmental studies of visual recognition of incomplete objects // *Perceptual and Motor Skills*. 1960. Vol. 11. No. 3. Pp. 289–298.
35. Shelepin Yu. E., Shelepin Yu. E. Invariance of visual perception // *Eksperimental'naya psikhologiya* [Experimental psychology]. 2008. Vol. 1. No. 1. Pp. 7–33. (in Russian)
36. Pisarev I. A., Kotova E. E., Pisarev A. S. The program for solving perceptual-cognitive problems of choice under conditions of visual uncertainty «Perceptual-cognitive agent CAPTCHA-E». *Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM* [Certificate of registration of the computer program] 2021669054, 11/23/2021. Application no. 2021668335 dated 11/18/2021. (in Russian)
37. Weinhaus F. Accelerated template matching using local statistics and fourier transforms. 2014. 18 p.
38. Kotova E. E., Pisarev A. S. The program for intellectual analysis of the productivity of solving cognitive problems in an electronic environment (Expert-Analyst ART). *Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM* [Certificate of state registration of the computer program] no. 2020667345 dated 12/22/2020. (in Russian)
39. Bokova O. A., Melnikova Yu. A. Cognitive styles as a meta-ability: theoretical background of the study // *Novoe v psikhologo-pedagogicheskikh issledovaniyakh* [New in psychological and pedagogical research]. 2019. No. 3. Pp. 85–99. (in Russian)
40. Cintamulya I. Analysis of students' critical thinking skills with reflective and impulsive cognitive styles on conservation and environmental knowledge learning. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching. The Education University of Hong Kong, Department of Science and Environmental Studies*. 2019. Vol. 20. No. 1. Pp. 1–14.
41. Rozencwajg P., Corroyer D. Cognitive processes in the reflective-impulsive cognitive style // *The Journal of genetic psychology*. 2005. Vol. 166. No. 4. Pp. 451–463.
42. Cintamulya I. Analysis of learning outcomes of biology based reflective and impulsive cognitive style. *Proceeding of 3rd International Conference Research, Implementation and Education of Mathematics and Science*. 2016. Pp. 13–18.