

*Вне тематики номера  
Outside of the theme rooms*

**ОТРАСЛЕВАЯ ПСИХОЛОГИЯ  
SPECIAL (BRANCH) PSYCHOLOGY**

**Психофизиология исполнительных функций при печати на компьютере**

*Момотенко Д.А.*

*Санкт-Петербургский государственный университет (ФГБОУ ВО СПбГУ),  
г. Санкт-Петербург; Научно-технологический университет «Сириус» (НТУ «Сириус»),  
г. Сочи, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2544-5420>, e-mail: [daryamomotenko@gmail.com](mailto:daryamomotenko@gmail.com)*

В последние десятилетия печать на компьютере стала одним из основным инструментов для личного общения в повседневной жизни. Печать является многоуровневым иерархическим процессом, в котором задействовано большое количество психических и физиологических функций. Исполнительные функции (ИФ), такие как рабочая память и исполнительный контроль, активно влияют на ингибирующие и активационные процессы во время печати текстов. На примере ИФ можно наблюдать иерархическую организацию центральных и периферических отделов нервной системы при печати. Тем не менее исследований, направленных на изучение нейрофизиологии процесса печати, не так много, а работ, посвященных изучению ИФ при печати, обнаружено не было. В связи с этим в данной статье рассмотрены потенциальные возможности исследования ИФ путем печати на компьютере; приведены примеры экспериментов и моделей, которые могут быть использованы в подобных исследованиях. Также в статье описаны основные психофизиологические исследования, в которых была задействована печать и проведен обзор методов изучения и анализа печати.

**Ключевые слова:** печать, исполнительные функции, рабочая память, исполнительный контроль, ЭЭГ, потенциал подготовки моторного ответа, модель двух петель обратной связи, торможение, переключение, обновление.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-313-90046\20 «Психофизиологические модели письменной речи при печати»).

**Благодарности.** Автор благодарит за помощь в редакции, вычитке и корректировке статьи научного руководителя аспирантской исследовательской работы Е.Л. Григоренко и коллегу, психофизиолога А.А. Сукманову.

**Для цитаты:** Момотенко Д.А. Психофизиология исполнительных функций при печати на компьютере [Электронный ресурс] // Современная зарубежная психология. 2022. Том 11. № 3. С. 105—113. DOI: <https://orcid.org/10.17759/jmfp.2022110310>

**Executive function during typing on computer**

*Darya A. Momotenko*

*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg; Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2544-5420>, e-mail: [daryamomotenko@gmail.com](mailto:daryamomotenko@gmail.com)*

In recent decades, computer typing has become one of the fundamental tools for personal communication in everyday life. Typing is a multi-level hierarchical process that involves a large number of cognitive and physiological functions. Executive functions (EF), such as working memory and executive control, actively influence the inhibitory and activation processes during typing. Using the example of the work of the IF, one can observe the hierarchical organization of the central and peripheral parts of the nervous system during typing. However, there are not so many studies aimed at studying the neurophysiology of typing, and there were no works devoted to the study of EF in typing. In this regard, this article discusses the potential possibilities of studying EF by typing on a computer and

provides examples of experiments and models that can be used in such studies. The article also describes the main psychophysiological studies in which typing was involved and a review of methods for studying and analyzing typing was conducted.

**Keywords:** typing, executive functions, executive control, working memory, EEG, lateralized readiness potential, two feedback loops model, shifting, inhibition, updating.

**Funding.** This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 20-313-90046\20 «Psychophysiological models of written speech during typing»).

**Acknowledgements.** The author is grateful for the help in editing the article of the scientific supervisor Grigorenko E.L. and Sukmanova A.A.

**For citation:** Momotenko D.A. Executive function during typing on a computer. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2022. Vol. 11, no. 3, pp. 105—113. DOI: <https://orcid.org/10.17759/jmfp.2022110310> (In Russ.).

## Введение

Письменная речь — это форма речи, связанная с выражением слов с помощью графических обозначений. Письменная речь включает в себя анализ и синтез, как с грамматической, так и с фонетической и синтаксической точек зрения.

По мере развития компьютерных технологий письменная речь, в том числе, печать, становится все более распространенной, а в некоторых профессиях может практически полностью заменить устную речь в связи со сменой формы коммуникации.

Дошкольники могут печатать на планшетах или телефонах поисковые запросы для детских каналов, а пожилые люди начинают осваивать новые методы связи и общаться в социальных сетях [20]. Повсеместное использование клавиатур улучшило навык печати у обычных пользователей до автоматизированного (слепого или полуслеплого) [4].

Таким образом, исследования печати на компьютере становятся все более актуальными. Их результаты могут найти применение в различных практических областях — начиная от клинической диагностики речевых или когнитивных нарушений и заканчивая разработкой нейроинтерфейсов (технология обмена информацией между мозгом и внешними устройствами, например, компьютерами).

Большинство работ, посвященных психофизиологии печати, можно разделить на три группы. Исследования из первой группы отвечают на вопрос, как взаимосвязаны центральные и периферические отделы нервной системы при печати. Работы в данной области направлены на разработку различных теоретических и математических моделей печати [1; 26]. Вторая группа исследований изучает ингибирующие и активационные процессы в мозге при различных способах печати [21; 22; 24]. Третья группа исследований, наиболее часто встречающаяся в литературе, ставит своей целью изучение и разработку нетрадиционных способов печати (с помощью механических нажатий клавиш клавиатуры пальцами рук), например, нейроинтерфейсы, печать на сенсорной клавиатуре или печать с помощью датчиков в ротовой полости [1; 17;

23]. Данный блок направлен на практическое применение исследований печати и не будет анализирован в этой статье.

Учитывая распространенность навыка печати в современном мире, изучение данного феномена может дать информацию об уровнях иерархической работы нейрофизиологических систем при формировании навыков и сознательной регуляции деятельности, т. е. об исполнительном контроле деятельности [7].

## Перспективы исследования исполнительных функций при печати

### Исполнительные функции

В исследовательской литературе [2] исполнительные функции (ИФ) описываются как способность удерживать информацию в рабочей памяти и подавлять неосознанные реакции на внешнюю стимуляцию. ИФ являются основой для волевого исполнительного контроля поведения, а также задействованы в процессах эмоциональной регуляции, в планировании и принятии продуманных решений [2].

Необходимо отметить, что исполнительные функции обычно разделяют на «холодные» и «горячие». Согласно последней статье М.А. Салехинежада и коллег [7], к «холодным» функциям относят блок когнитивных процессов, таких как рабочая память, торможение, исполнительный контроль, решение задач, когнитивная гибкость, переключение между задачами, многозадачность, распознавание ошибок, мониторинг деятельности [7]. Тогда как к «горячим» функциям относятся эмоциональная регуляция, саморегуляция, социальные когниции, аффективные решения, рискованное поведение и прочие процессы, которые взаимосвязаны с эмоциональной обратной связью [7].

В данной статье мы остановимся на блоке «холодных» исполнительных функций. Зачастую в литературе упоминается, что ИФ по трехмерной модели А. Мияке [2; 7] включают в себя три блока: торможение, обновление и переключение [2]. В метаанализе П. Багетта и П.А. Александра [2] подробно систематизирована информация о всех трех блоках. Блок торможения

включает в себя исполнительный контроль, который рассматривается как целенаправленная и сознательная способность контролировать автоматизированные или импульсивные мысли и действия [2].

Второй блок — это блок переключения, или блок когнитивной гибкости [7], который демонстрирует способность человека рассматривать различные точки зрения, вставать на место другого человека, целенаправленно переключаться между задачами, мыслями и действиями [2]. Также этот блок включает в себя способность к намеренному переключению, фокусированию внимания [7], процессам целенаправленности и избирательности внимания. Третий блок — блок обновления — зачастую рассматривается через функционирование рабочей памяти. Рабочая память — это комплекс психических процессов, посредством которых ограниченный объем информации удерживается в состоянии временной доступности для обслуживания когнитивной деятельности [12]. Рабочая память отвечает за хранение и актуальную переработку информации. Она поддерживается процессами сохранения информации об актуальной задаче и обработкой уже хранящейся информации, которая имеет непосредственное отношение к данной задаче. Также функцией рабочей памяти является фильтрация необходимой информации в конкретной ситуации [12].

#### *Психофизиологические модели печати на компьютере*

Поскольку печать — это комплексный процесс, который задействует как когнитивные, так и моторные функции, анализ только речевой продукции недостаточен для формирования единой теории развития и функционирования речевых навыков при письме. Один из главных вопросов, возникающих в большинстве исследований, связан с ролью центральной и периферической нервной системы при печати. Ряд исследователей считают, что процесс печати происходит поэтапно, а значит, центральные и периферические отделы функционируют автономно, последовательно передавая друг другу контроль над процессом печати, что наблюдается, например, в ресурсных моделях Дж.Д. Коэна [18] или исследовании С. Ку и коллег [24]. Другие авторы говорят о существовании иерархической взаимосвязи между ними, в которой центральные отделы корректируют работу периферических систем на всем протяжении набора текста; в пример можно привести иерархические модели Г. Логана и М. Крампа [11] или исследование Е. Берлота и коллег [9].

В настоящий момент ведущая теория, описывающая процессы печати, — это модель двух петель обратной связи (two feedback loops) Г. Логана и М. Крампа [11]. Описанные в ней петли обладают специфическими свойствами, касающимися обработки слов. Эта модель основана на принципе иерархического контроля когнитивных процессов при печати и наиболее полно отражает нейрофизиологию печати на компьютере. Согласно данной модели, внешняя петля отвечает за процесс формулирования предложения. Она

начинается с понимания или формулирования речи и заканчивается в момент генерации серии слов, которые должны быть напечатаны. Внутренняя петля отвечает за непосредственную реализацию печати; она начинается с получения слова, которое требуется напечатать, и заканчивается последовательным нажатием клавиш. Данная модель в первую очередь рассматривает процессы центрального управления печатью, не детализируя моторную реализацию. Тогда как более ранние модели, например модель Д.Е. Румпельхарта и Д.А. Нормана, в первую очередь иллюстрирует моторный компонент процесса печати [19].

Согласно данной модели, печать — это сложная деятельность, включающая в себя множество последовательных действий, потому как нажатие клавиш управляется определенными моторными программами (motor schema) [19]. Они собраны в иерархические схемы, каждая из которых выполняет свою функцию. В частности, при печати задействованы две руки, поэтому необходим контроль за перемещением пальцев, положением плеча и предплечья [19].

Помимо параллельных процессов обработки информации, т. е. планирования движения для каждой клавиши, необходимо объединять их в моторные комбинации для набора целого слова. Комбинирование отдельных движений в паттерны происходит за счет процессов последовательного ингибирования при нажатии клавиш. При печати слова сначала активируется движение, связанное с набором первой буквы, а все последующие движения ингибируются. После набора первой буквы моторная схема перестраивается, и активным становится движение, связанное со следующей буквой.

Таким образом, возникает последовательная конгруэнтная система глобальной активации [19]. Моторным механизмам печати в литературе уделялось достаточно внимания, и в данных момент они подробно описаны.

#### *Изучение печати в когнитивных исследованиях*

В когнитивных исследованиях печать чаще всего изучается посредством оценки когнитивной нагрузки, связанной с различными условиями набора текста. Рассмотрим исследование С. Калфаоглу, Т. Стаффорд и Е. Милн [10], в котором респонденты, не имевшие возможности исправить ошибку в тексте, были более успешны: их скорость печати была выше, и они совершали меньше ошибок. Существует несколько условий, позволяющих снизить когнитивную нагрузку при печати и сделать ее автоматизированной: печать без исправления ошибок [18], знакомая клавиатура [6], навык слепой или полуслепой печати [8]. Когда печать перестает быть автоматизированной, появляется дополнительная когнитивная нагрузка. Процесс речевой продукции усложняется не только двигательными усилиями, необходимыми для набора слов, но и когнитивными усилиями по поиску определенных букв на клавиатуре. Эти когнитивные процессы задействуют пространственное

мышление, исполнительное внимание и рабочую память [3; 12; 18]. При автоматизированной печати когнитивные функции могут быть не задействованы, а набор текста будет осуществляться за счет механической памяти, как, например, в исследовании С. Ван и К. Чжан [26].

Таким образом, иерархия процессов формулировки и реализации текста при печати идет автономно, и деятельность становится продуктивнее. Несмотря на признание роли рабочей памяти при наборе текста, в современных когнитивных исследованиях не представлено комплексное изучение ИФ в процессе печати.

### Способы изучения нейрофизиологии печати и примеры экспериментов

В настоящее время крайне мало исследований, направленных на изучение нейрофизиологии печати [21]. Принципы работы головного мозга в процессе печати до конца не изучены, и не существует единого понимания природы нейрональных процессов, лежащих в их основе. Также остается открытым вопрос о возможностях применения знаний о нейрофизиологии печати в практике и диагностике. Ниже будут описаны некоторые работы, посвященные данной проблеме.

Существуют электрофизиологические (ЭЭГ) исследования, которые подтверждают активацию ипсилатеральной и контралатеральной [3; 12; 18] моторной коры перед нажатием клавиши. Например, в исследовании Е. Гасиа-Марко и коллег [13] обнаружено, что активность ипсилатеральной моторной коры увеличивается по мере усложнения производимого ответа. Снижение возбудимости ипсилатеральной моторной коры регистрируется с помощью ЭЭГ как положительный компонент, появляющийся до моторного ответа и рассматривающийся как ожидание ответа [6]. В экспериментах Смигасевич и коллег [8], оценивающих различие времени реакции при наборе текста левой и правой рукой, контралатеральная и ипсилатеральная активность могут модулироваться независимо друг от друга. Предполагается, что они являются различными процессами: контралатеральная кора активируется при наборе правильного ответа, а ипсилатеральная кора ингибируется при неправильных ответах.

### Вызванные потенциалы при печати

Два основных вызванных потенциала (ВП), которые используются при анализе движений в процессе печати — это условная отрицательная вариация (contingent negative variation, CNV) и латерализованный потенциал подготовки моторного ответа (lateralized readiness potential, LRP). Ранняя волна CNV рассматривается как реакция ориентации на предупреждающий сигнал [20]. Традиционно считается, что поздняя волна CNV отражает подготовку моторного ответа и, следовательно, идентична потенциалу готов-

ности (readiness potential, RP) [16], негативному потенциалу в ЭЭГ, предшествующему произвольным движениям [16]. LRP предшествует RP, который демонстрирует большую негативность в полушарии, противоположном реагирующей руке [20].

LRP — это вызванный потенциал (ВП), регистрируемый в моторной коре в ответ на начало движения [20]. LRP обычно вычисляется в задачах, требующих левосторонних и правосторонних реакций, путем вычитания ипсилатеральной и контралатеральной амплитуды ВП, таким образом фиксируя латерализацию ЭЭГ активности, генерируемой активацией специфической ответной руки [16]. В исследованиях печати чаще используется LRP, поскольку данный потенциал может отражать процессы ингибирования и активации в процессе печати.

При изучении ИФ нас интересует чередование ингибирования и активации, поскольку в головном мозге именно они отражают исполнительный контроль иерархических процессов, управляющих печатью, и процессов переключения между задачами. В исследовании С. Чжан и коллег [4] показано, что наиболее ярко функции ингибирования проявляются при печати двумя руками и предотвращают преждевременное нажатие клавиш, об активации которых уже был отправлен сигнал. Ингибирование должно достигать своего максимума перед первым нажатием клавиши, когда происходит суммация сигналов активации для всех последующих клавиш целевого слова, что иллюстрирует исследование С. Пинет и Н. Нозари [18]. Тогда как при печати двумя руками наблюдаются процессы ингибирования при печати букв противоположной рукой.

Этот механизм предполагает ингибирование противоположащих кортикальных структур ипсилатеральных для руки, совершающей движение [1]. С. Чжан и коллеги [4] сделали вывод, что вне зависимости от руки, которой производится печать, амплитуда LRP будет уменьшаться с нажатием каждой следующей буквы. Однако амплитуда от руки, которая первой приступила к печати, будет больше, чем амплитуда от второй руки.

Исследование Е. Берлот и коллег [9] демонстрирует, что печать опирается на параллельную обработку при нажатии клавиш. В ходе эксперимента участникам предъявлялось слово, а затем требовалось напечатать определенную букву. Когда в праймированном слове присутствовала предъявляемая буква, ее печать производилась быстрее, что иллюстрирует функционирование процессов переключения при печати. Местоположение буквы в слове при этом не влияло на скорость ответа.

Также исследование Р. Крюгер [14] и коллег показало, что анализ амплитуды LRP, зафиксированной до первого нажатия клавиши при печати, показал, что амплитуда была выше, если все буквы в слове требовалось набирать одной рукой. Амплитуда уменьшалась в зависимости от количества переключений между руками. Это также подтверждает, что планирование печати (формирование моторных репрезентаций) происходит до момента начала набора текста.

Также исследование М. Скалтритти, Ф. К. Аларио и М. Лонгкэмп [15] демонстрирует высокую прогностическую валидность LRP для определения последовательности набора букв при печати двумя пальцами на сенсорной клавиатуре [21]. Подобные исследования могут открыть новые перспективы развития нейроинтерфейсов, которые в настоящий момент чаще всего базируются на потенциале P300, возникающем в ответ на новый непривычный стимул [17]. Однако можно предположить, что при печати более продуктивно будет использование LRP, потому как он напрямую связан с набором букв.

### Спектральные вызванные потенциалы при печати

В литературе представлено несколько исследований, которые рассматривают спектральные ВП при печати. Так, подготовка моторного ответа может выражаться в виде колебаний в бета-диапазоне частот (15—30 Гц) [4]. Исследование М. Скалтритти, С. Суитнер и Ф. Перессотти [15] демонстрирует десинхронизацию, в диапазоне бета-частот во время подготовки унимануальных движений. В заданиях, требующих печати слов или предложений, спектральные потенциалы, связанные с событием, регистрируются билатерально в промежутке от 400 мс до начала движения, особенно в случае последовательного нажатия трех и более клавиш, как показано в исследовании Р. Крюгера и коллег [14].

Обычно считается, что данный эффект указывает на общий уровень моторной подготовки перед печатью слова. Тем не менее существуют различные исследования, рассматривающие данный эффект и как ингибирование, и как активацию в зависимости от контекста задачи, например, в исследовании С. Вана и К. Чжана [26]. Так отрицательный потенциал спектральной активации регистрируется в моторной коре контралатерально эффектору и соответствует печати верного ответа в экспериментальном задании, в то время как положительный потенциал активации индексирует ингибирование ипсилатеральной моторной коры, ответственной за подавление ошибочных ответов, как в исследовании С. Калфаоглу, Т. Стаффорд и Е. Милн [10]. Стоит отметить, что активность в бета-диапазоне также отражает уровень когнитивной нагрузки, возникающей в процессе печати и связанной с работой исполнительного контроля.

Таким образом, изучая спектральные потенциалы, можно оценить функционирование исполнительного контроля у различных респондентов, сравнивая эффекты активации и ингибирования при подготовке моторного ответа.

### Анализ фоновой ЭЭГ при печати

В современной литературе мало представлены работы, посвященные изучению фоновой ЭЭГ в процессе

печати. Немногие существующие исследования зачастую направлены на выявление спектральной активности, когерентности или коннективности в процессе печати, например, в исследованиях С. Чжана и коллег [4]. Одной из целей данных работ является определение уровня когнитивной нагрузки при печати, как в исследовании М. Скалтритти и коллег [15], или обучения нейросетей, как в исследовании Л. Сан и коллег [1].

Согласно исследованию А.Л. ван дер Меер и Ф.Р. Ван дер Вил [25], появление тета-активности в фронтально-медиальной области при копировании текста свидетельствует об общем повышении когнитивной нагрузки в процессе печати. Рассинхронизация в теменных и затылочных областях в диапазоне тета- и альфа-ритмов, проявляющаяся непосредственно после сенсорной печати, свидетельствует о распределении ресурсов, согласно исследованию Е. Берлот и коллег [9].

Анализ фоновой ЭЭГ при печати может стать ценным инструментом в диагностике дислексии. Результаты исследования П. Перера и коллег [5] показали, что в передней фронтальной зоне у детей с дислексией наблюдаются уникальные паттерны мозговой активности при сравнении с нормотипичными детьми.

Несмотря на существование работ, посвященных оценке когнитивной нагрузки при свободной печати (свободном формулировании предложений), ИФ практически не изучаются методом фоновой ЭЭГ. Учитывая, что печать — это сложный иерархический процесс, который в полном объеме задействует ИФ, подобные исследования были бы крайне актуальными.

### Обсуждение

На основании обзора литературы можно выделить несколько групп экспериментов, направленных на изучение печати. Каждая из этих групп освещает определенную проблематику, которую можно рассмотреть с позиции изучения психофизиологии исполнительных функций (ИФ). Отдельно хотелось бы отметить, что в настоящий момент отсутствуют разработанные стандартизированные эксперименты по изучению ИФ в процессе печати. Поэтому при изучении данного феномена необходимо добавлять в дизайн эксперимента методики или опросники, направленные на оценку ИФ.

#### 1. Торможение (Исполнительный контроль)

— Исследования по копированию слов одной или двумя руками направлены на анализ моторных схем, сформированных при автоматизации печати, а также для изучения процессов ингибирования и активации при реализации моторных команд [13]. На примере задания по копированию слов можно описать принцип работы ИФ в рамках модели двух петель обратной связи [11]. Во внешней петле происходит считывание и обработка стимула, а во внутреннюю петлю передаются команды по печати данного слова, которые там разделя-

ется на отдельные символы для реализации процесса печати. Каждый символ соответствует определенному моторному паттерну, который выражается через нажатие на клавишу. В подобных экспериментах возможно анализировать как ВП, так и фоновую ЭЭГ для изучения процессов торможения нервной системы.

— Исследования по изучению корректировки ошибок во время печати также могут иллюстрировать изучение исполнительного контроля [8; 10]. Внутренняя петля полагается на обратную связь непосредственно от движений рук (корректная ли клавиша нажата), а внешняя петля ориентируется на информацию, которая появляется на экране (верное ли слово напечатано). Так иллюстрируется процесс исполнительного контроля центральных отделов над периферическими. Появление ВП в ответ на нажатие клавиши «Backspace» и в момент исправления ошибки могут коррелировать с показателями ИФ респондента, измеренными с помощью поведенческих методик, тем самым иллюстрируя работу исполнительного контроля. Поскольку корректировка ошибок — это получение отрицательной обратной связи от периферии, можно сказать, что это также и способ реализации исполнительного контроля [8]. Обратная связь об ошибке может быть получена двумя путями. Респондент может увидеть ошибку на экране и исправить ее после написания слова. В этом случае иллюстрируется работа центрального исполнительного контроля. Если же ошибка была исправлена в процессе печати, исполнительный контроль будет реализован на периферии без участия центральных отделов. Для проверки данной гипотезы необходимо провести два эксперимента: копирование и свободное формулирование предложений. При формулировании предложений контроль за исправлением ошибок по большей части будет осуществляться в центральных отделах, а при копировании — на периферии. Это может быть связано с тем, что при формулировании предложений задействован не только исполнительный контроль за моторикой печати, но и другие психические процессы, которые обеспечивают большую когнитивную нагрузку. Тем самым исполнительный контроль также возможно зафиксировать путем спектрального анализа ЭЭГ данных.

## 2. Переключение (Когнитивная гибкость)

— Исследования моторных схем при печати слов и предложений иллюстрируют процесс переключения между активацией и торможением во время печати [26]. Процессы переключения также могут изучаться с помощью LRP. Данный потенциал позволяет предсказывать последовательность нажатия клавиш при печати. Высота амплитуды LRP может продемонстрировать чередование процессов ингибирования и активации при печати, тем самым иллюстрируя процесс переключения между передачей сигналов на правую или левую руку [25].

— Исследования по печати слов или предложений по изображениям могут иллюстрировать процессы

переключения при печати. Поскольку для печати слов по определенным изображениям (например, изображению яблока), требуется переключаться между различными модальностями, то при сравнении ЭЭГ данных при копировании слова и при печати по картинке можно наблюдать процессы переключения между вербальными и невербальными процессами [18].

## 3. Обновление (Рабочая память)

— В исследованиях по печати слов или предложений по памяти, как в видоизмененной задаче n-back (задача по припоминанию стимула, который предъявлялся «n» стимулов назад) [12], можно наблюдать не только объем припоминаемых слов, но и психофизиологию рабочей и семантической памяти при сравнении спектральной мощности в процессе копирования и припоминания предложений.

— Исследования по формулированию предложений по памяти также могут отражать процесс функционирования рабочей памяти. Внутренняя петля информационно изолирована: в ней обрабатывается только переданная на печать информация (слово). В свою очередь внешняя петля обладает более полной информацией (все предложение). Во внешней петле не хранится информации о том, какой рукой производится печать и как буквы размещаются на клавиатуре [11]. Данный феномен отражает процесс хранения и обработки информации, который реализуется в рабочей памяти. Поэтому, если продемонстрировать респонденту слово и просить его сформулировать предложение с использованием данного слова, можно проследить процессы нейрональной активации и ингибирования в процессе печати [12]. Поскольку слово будет задано предварительно, мы сможем проанализировать нейрофизиологию процессов рабочей памяти в зависимости от необходимости запоминания стимульного слова. В случае, когда слово будет представлено на экране во время выполнения задания, рабочая память не будет задействована, тогда как в случае его отсутствия респонденту придется задействовать рабочую память.

## Выводы

Одной из самых популярных психофизиологических моделей печати в настоящий момент является модель двух петель обратной связи, которая иллюстрирует взаимодействие центральных и периферических отделов головного мозга.

Рассмотренные в данной статье исследовательские данные о потенциалах CNV и LRP, а также об изучении фоновой ЭЭГ активности в процессе печати согласуются с моделью двух петель обратной связи, включающей в себя два уровня обработки информации и программирования движения. Соответственно, моторные области более высокого уровня выполняют абстрактное программирование, в то время как эффектор-специфиче-

ские процессы реализуют моторные акты посредством активации на более низком уровне. Соответственно, при анализе данных потенциалов можно сделать вывод о психофизиологии исполнительных функций путем спектрального анализа активации при печати или анализа ВП, которые возникают при подготовке моторного ответа в процессе набора букв.

Поскольку в процесс печати большой вклад вносят ИФ, важным шагом на пути их исследования будет разработка специфических экспериментов по их изучению, включающих в себя дополнительную оценку

этих функций с помощью экспериментальных методик или опросников.

Подводя итог, можно сказать, что печать является примером многоуровневой функциональной когнитивной деятельности, которая затрагивает комплекс психических процессов, включающих в себя ИФ. Соответственно, исследование печати может стать одним из способов изучения данных феноменов. Особое внимание стоит уделить изучению психофизиологии печати, поскольку подобные работы могут дать ценные сведения о реализации иерархических систем в головном мозге.

### Литература

1. A contralateral channel guided model for EEG based motor imagery classification / L. Sun, Z. Feng, B. Chen, N. Lu // *Biomedical Signal Processing and Control*. 2018. Vol. 41. P. 1—9. DOI:10.1016/j.bspc.2017.10.012
2. *Baggetta P., Alexander P.A.* Conceptualization and operationalization of executive function // *Mind, Brain, and Education*. 2016. Vol. 10. № 1. P. 10—33. DOI:10.1111/mbe.12100
3. Cognitive analysis of working memory load from EEG, by a deep recurrent neural network / S. Kuanar, V. Athitsos, N. Pradhan, A. Mishra, K.R. Rao // 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP): Calgary, 15—20 April 2018. Calgary: IEEE, 2018. P. 2576—2580. DOI:10.1109/ICASSP.2018.8462243
4. Converting your thoughts to texts: Enabling brain typing via deep feature learning of EEG signals / X. Zhang, L. Yao, Q.Z. Sheng, S.S. Kanhere, T. Gu, D. Zhang // 2018 IEEE international conference on pervasive computing and communications (PerCom): Athens, Greece, 19—23 March 2018. Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018. 10 p. DOI:10.1109/PERCOM.2018.8444575
5. EEG signal analysis of writing and typing between adults with dyslexia and normal controls / P. Perera, H. Harshani, M.F. Shiratuddin, K.W. Wong, K. Fullarton // *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 2018. Vol. 5. № 1. P. 62—67. DOI:10.9781/ijimai.2018.04.005
6. Executive function performance in obesity and overweight individuals: A meta-analysis and review / Y. Yang, G.S. Shields, C. Guo, Y. Liu // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2018. Vol. 84. P. 225—244. DOI:10.1016/j.neubiorev.2017.11.020
7. Hot and cold executive functions in the brain: A prefrontal-cingular network / M.A. Salehinejad, E. Ghanavati, M.H.A. Rashid, M.A. Nitsche // *Brain and Neuroscience Advances*. 2021. Vol. 5. P. 1—19. DOI:10.1177/23982128211007769
8. Inhibiting errors while they are produced: direct evidence for error monitoring and inhibitory control in children / K. Śmigasiewicz, S. Ambrosi, A. Blaye, B. Burle // *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2020. Vol. 41. Article ID 100742. 9 p. DOI:10.1016/j.dcn.2019.100742
9. Ipsilateral finger representations in the sensorimotor cortex are driven by active movement processes, not passive sensory input / E. Berlot, G. Prichard, J. O'Reilly, N. Ejaz, J. Diedrichsen // *Journal of neurophysiology*. 2019. Vol. 121. № 2. P. 418—426. DOI:10.1152/jn.00439.2018
10. *Kalfaoğlu Ç., Stafford T., Milne E.* Frontal theta band oscillations predict error correction and posterror slowing in typing // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2018. Vol. 44 (1). P. 69—88. DOI:10.1037/xhp0000417
11. *Logan G.D., Crump M.J.* Hierarchical control of cognitive processes: The case for skilled typewriting // *Psychology of learning and motivation* / Ed. B.H. Ross. Burlington: Academic Press, 2011. Vol. 54. P. 1—27. DOI:10.1016/B978-0-12-385527-5.00001-2
12. *Miller E.K., Lundqvist M., Bastos A.M.* Working Memory 2.0. // *Neuron*. 2018. Vol. 100. № 2. P. 463—475. DOI:10.1016/j.neuron.2018.09.023
13. Negation markers inhibit motor routines during typing of manual action verbs / E. García-Marco, Y. Morera, D. Beltrán, M. de Vega, E. Herrera, L. Sedeño, A. Ibáñez, A.M. García // *Cognition*. 2019. Vol. 182. P. 286—293. DOI:10.1016/j.cognition.2018.10.020
14. Neurological divide: an fMRI study of prose and code writing / R. Krueger, Y. Huang, X. Liu, T. Santander, W. Weimer, K. Leach // 2020 IEEE/ACM 42nd International Conference on Software Engineering (ICSE): Seoul, Republic of Korea, 23—29 May 2020. Seoul: IEEE, 2020. P. 678—690. DOI:10.1145/3377811.3380348
15. On the functional relationship between language and motor processing in typewriting: an EEG study / M. Scaltritti, S. Pinet, M. Longcamp, F.X. Alario // *Language, Cognition and Neuroscience*. 2017. Vol. 32. № 9. P. 1086—1101. DOI:10.1080/23273798.2017.1283427
16. *Perera H., Shiratuddin M.F., Wong K.W.* Review of EEG-based pattern classification frameworks for dyslexia // *Brain inform*. 2018. Vol. 5. № 2. P. 1—14. DOI:10.1186/s40708-018-0079-9

17. Performance Analysis of a Source-Space Low-Density EEG-Based Motor Imagery BCI / G. Soghoian, N. Smetanin, M. Lebedev, A. Ossadtchi // 9th International Conference on Cognitive Sciences, Intercognsci: Moscow, Russia, 10—16 October 2020 / Ed. B.M. Velichkovsky, P.M. Balaban, V.L. Ushakov. Ltzebuerg: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. P. 687—691. DOI:10.1007/978-3-030-71637-0\_79
18. Pinet S., Nozari N. Electrophysiological correlates of monitoring in typing with and without visual feedback // Journal of Cognitive Neuroscience. 2020. Vol. 32. № 4. P. 603—620. DOI:10.1162/jocn\_a\_01500
19. Rumelhart D.E., Norman D.A. Simulating a skilled typist: A study of skilled cognitive motor performance // Cognitive science. 1982. Vol. 6. № 1. P. 1—36. DOI:10.1207/s15516709cog0601\_1
20. Scaltritti M., Alario F.X., Longcamp M. The scope of planning serial actions during typing // Journal of cognitive neuroscience. 2018. Vol. 30. № 11. P. 1620—1629. DOI:10.1162/jocn\_a\_01305
21. Scaltritti M., Dufau S., Grainger J. Stimulus orientation and the first-letter advantage // Acta psychologica. 2018. Vol. 183. P. 37—42. DOI:10.1016/j.actpsy.2017.12.009
22. Scaltritti M., Suitner C., Peressotti F. Language and motor processing in reading and typing: Insights from beta-frequency band power modulations // Brain and Language. 2020. Vol. 204. Article ID 104758. 10 p. DOI:10.1016/j.bandl.2020.104758
23. Tyth-typing on your teeth: Tongue-teeth localization for human-computer interface / P. Nguyen, N. Bui, A. Nguyen, H. Truong, A. Suresh, M. Whitlock, D. Pham, T. Vu, T. Dinh // Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services: Munich, Germany, June 10—15, 2018 / Ed. Jrg Ott, Falko Dressler [et al.]. New York: Association for Computing Machinery, 2018. P. 269—282. DOI:10.1145/3210240.3210322
24. Using EEG to distinguish between writing and typing for the same cognitive task / X. Qu, Q. Mei, P. Liu, T. Hickey // International Conference on Brain Function Assessment in Learning: Crete, Greece, 9—11 October 2020 / Eds. C. Frasson, P. Bamidis, P. Vlamos. Ltzebuerg: Springer, 2020. P. 66—74. DOI:10.1007/978-3-030-60735-7\_7
25. Van der Meer A.L., Van der Weel F.R. Only three fingers write, but the whole brain works: a high-density EEG study showing advantages of drawing over typing for learning // Frontiers in psychology. 2017. Vol. 8. Article ID 706. 9 p. DOI:10.3389/fpsyg.2017.00706
26. Wang C., Zhang Q. Word frequency effect in written production: Evidence from ERPs and neural oscillations // Psychophysiology. 2021. Vol. 58. № 5. Article ID e13775. 9 p. DOI:10.1111/psyp.13775

## References

1. Sun L., Feng Z., Chen B., Lu N. A contralateral channel guided model for EEG based motor imagery classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2018. Vol. 41, pp. 1—9. DOI:10.1016/j.bspc.2017.10.012
2. Baggetta P., Alexander P.A. Conceptualization and operationalization of executive function. *Mind, Brain, and Education*, 2016. Vol. 10, no. 1, pp. 10—33. DOI:10.1111/mbe.12100
3. Kuanar S., Athitsos V., Pradhan N., Mishra A., Rao K.R. Cognitive analysis of working memory load from EEG, by a deep recurrent neural network. In *2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP): Calgary, 15—20 April 2018*. Calgary: IEEE, 2018, pp. 2576—2580. DOI:10.1109/ICASSP.2018.8462243
4. Zhang X., Yao L., Sheng Q.Z., Kanhere S.S., Gu T., Zhang D. Converting your thoughts to texts: Enabling brain typing via deep feature learning of EEG signals. In *2018 IEEE international conference on pervasive computing and communications (PerCom): Athens, Greece, 19—23 March 2018*. Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018, 10 p. DOI:10.1109/PERCOM.2018.8444575
5. Perera P., Harshani H., Shiratuddin M.F., Wong K.W., Fullarton K. EEG signal analysis of writing and typing between adults with dyslexia and normal controls. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 2018. Vol. 5, no. 1, pp. 62—67. DOI:10.9781/ijimai.2018.04.005
6. Yang Y., Shields G.S., Guo C., Liu Y. Executive function performance in obesity and overweight individuals: A meta-analysis and review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2018. Vol. 84, pp. 225—244. DOI:10.1016/j.neubiorev.2017.11.020
7. Salehinejad M.A., Ghanavati E., Rashid M.H.A., Nitsche M.A. Hot and cold executive functions in the brain: A prefrontal-cingular network. *Brain and Neuroscience Advances*, 2021. Vol. 5, pp. 1—19. DOI:10.1177/23982128211007769
8. Śmigasiewicz K., Ambrosi S., Blaye A., Burle B. Inhibiting errors while they are produced: direct evidence for error monitoring and inhibitory control in children. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2020. Vol. 41, article ID 100742. 9 p. DOI:10.1016/j.dcn.2019.100742
9. Berlot E., Prichard G., O'Reilly J., Ejaz N., Diedrichsen J. Ipsilateral finger representations in the sensorimotor cortex are driven by active movement processes, not passive sensory input. *Journal of neurophysiology*, 2019. Vol. 121, no. 2, pp. 418—426. DOI:10.1152/jn.00439.2018
10. Kalfaoğlu Ç., Stafford T., Milne E. Frontal theta band oscillations predict error correction and posterror slowing in typing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2018. Vol. 44 (1), 21 p. DOI:10.1037/xhp0000417
11. Logan G.D., Crump M.J. Hierarchical control of cognitive processes: The case for skilled typewriting. In Ross B.H. (ed.), *Psychology of learning and motivation*. Burlington: Academic Press, 2011. Vol. 54, pp. 1—27. DOI:10.1016/B978-0-12-385527-5.00001-2

12. Miller E.K., Lundqvist M., Bastos A.M. Working Memory 2.0. *Neuron*, 2018. Vol. 100, no. 2, pp. 463—475. DOI:10.1016/j.neuron.2018.09.023
13. García-Marco E., Morera Y., Beltrán D., de Vega M., Herrera E., Sedeño L., Ibáñez A., García A.M. Negation markers inhibit motor routines during typing of manual action verbs. *Cognition*, 2019. Vol. 182, pp. 286—293. DOI:10.1016/j.cognition.2018.10.020
14. Krueger R., Huang Y., Liu X., Santander T., Weimer W., Leach K. Neurological divide: an fMRI study of prose and code writing. In 2020 IEEE/ACM 42nd International Conference on Software Engineering (ICSE): Seoul, Republic of Korea, 23—29 May 2020. Seoul: IEEE, 2020, pp. 678—690. DOI:10.1145/3377811.3380348
15. Scaltritti M., Pinet S., Longcamp M., Alario F.X. On the functional relationship between language and motor processing in typewriting: an EEG study. *Language, Cognition and Neuroscience*, 2017. Vol. 32, no. 9, pp. 1086—1101. DOI:10.1080/23273798.2017.1283427
16. Perera H., Shiratuddin M.F., Wong K.W. Review of EEG-based pattern classification frameworks for dyslexia. *Brain inform*, 2018. Vol. 5, no. 2, pp. 1—14. DOI:10.1186/s40708-018-0079-9
17. Soghoian G., Smetanin N., Lebedev M., Ossadtchi A. Performance Analysis of a Source-Space Low-Density EEG-Based Motor Imagery BCI. In Velichkovsky B.M., Balaban P.M., Ushakov V.L. (eds.), *9th International Conference on Cognitive Sciences, Intercognsci: Moscow, Russia, 10—16 October 2020*. Ltzebuerg: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021, pp. 687—691. DOI:10.1007/978-3-030-71637-0\_79
18. Pinet S., Nozari N. Electrophysiological correlates of monitoring in typing with and without visual feedback. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2020. Vol. 32, no. 4, pp. 603—620. DOI:10.1162/jocn\_a\_01500
19. Rumelhart D.E., Norman D.A. Simulating a skilled typist: A study of skilled cognitive motor performance. *Cognitive science*, 1982. Vol. 6, no. 1, pp. 1—36. DOI:10.1207/s15516709cog0601\_1
20. Scaltritti M., Alario F.X., Longcamp M. The scope of planning serial actions during typing. *Journal of cognitive neuroscience*, 2018. Vol. 30, no. 11, pp. 1620—1629. DOI:10.1162/jocn\_a\_01305
21. Scaltritti M., Dufau S., Grainger J. Stimulus orientation and the first-letter advantage. *Acta psychologica*, 2018. Vol. 183, pp. 37—42. DOI:10.1016/j.actpsy.2017.12.009
22. Scaltritti M., Suitner C., Peressotti F. Language and motor processing in reading and typing: Insights from beta-frequency band power modulations. *Brain and Language*, 2020. Vol. 204, article ID 104758. 10 p. DOI:10.1016/j.bandl.2020.104758
23. Nguyen P., Bui N., Nguyen A., Truong H., Suresh A., Whitlock M., Pham D., Vu T., Dinh T. Tyth-typing on your teeth: Tongue-teeth localization for human-computer interface. In Jrg Ott, Falko Dressler et al. (eds.), *Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services: Munich, Germany, 2018, June*. New York: Association for Computing Machinery, 2018, pp. 269—282. DOI:10.1145/3210240.3210322
24. Qu X., Mei Q., Liu P., Hickey T. Using EEG to distinguish between writing and typing for the same cognitive task. In Frasson C., Bamidis P., Vlamos P. (eds.), *International Conference on Brain Function Assessment in Learning: Crete, Greece, 9—11 October 2020*. Ltzebuerg: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 66—74. DOI:10.1007/978-3-030-60735-7\_7
25. Van der Meer A.L., Van der Weel F.R. Only three fingers write, but the whole brain works: a high-density EEG study showing advantages of drawing over typing for learning. *Frontiers in psychology*, 2017. Vol. 8, article ID 706. 9 p. DOI:10.3389/fpsyg.2017.00706
26. Wang C., Zhang Q. Word frequency effect in written production: Evidence from ERPs and neural oscillations. *Psychophysiology*, 2021. Vol. 58, no. 5, article ID e13775. 9 p. DOI:10.1111/psyp.13775

### **Информация об авторах**

Момотенко Дарья Анатольевна, аспирант, инженер-исследователь лаборатории междисциплинарных исследований развития человека, Санкт-Петербургский государственный университет (ФГБОУ ВО СПбГУ), г. Санкт-Петербург; младший научный сотрудник Центра Когнитивных Исследований, Научно-технологический университет «Сириус», г. Сочи, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2544-5420>, e-mail: [daryamomotenko@gmail.com](mailto:daryamomotenko@gmail.com)

### **Information about the authors**

Darya A. Momotenko, PhD student, research engineer in the Laboratory for Interdisciplinary Research of Human Development, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia; Research Scientist, Center for Cognitive Research, Sirius University of Science and Technology, Sochi, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2544-5420>, e-mail: [daryamomotenko@gmail.com](mailto:daryamomotenko@gmail.com)

Получена 26.09.2021

Принята в печать 27.06.2022

Received 26.09.2021

Accepted 27.06.2022