УДК 338.2

Д.Ю. Шутова, Е.А. Павлова
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск, email: daria-smolensk@mail.ru

ВОЗМОЖНОСТИ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМИ ИННОВАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Ключевые слова: инновационные системы и процессы, инновационно-телекоммуникационная инфраструктура, цифровая экономика, сетевая инфраструктура, интеграция, научно-промышленные кластеры, LSTM-сети

Охарактеризованы современные региональные инновационные процессы, выявлены их специфические черты и особенности реализации. Определены основные факторы развития таких систем и отмечены ключевые аспекты, оказывающие влияние на развитие и эффективное управление региональной инновационной системой. Обоснована необходимость межорганизационного кооперационного взаимодействия региональных субъектов на основе ИКТ и принципов цифровой экономики. Рассмотрены существующие методы по управлению развитием инновационных систем, описаны основные особенности инструментов, которые используются при управлении инновационными процессами в рамках нейросетевого подхода. Рассмотрены возможности прогнозирования на основе анализа временных рядов с помощью рекуррентных нейронных сетей, среди которых выделены LSTM сети.

D.Yu. Shutova, E.A. Pavlova
Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» in Smolensk, Smolensk, email: daria-smolensk@mail.ru

POSSIBILITIES OF FUZZY-LOGIC METHODS FOR MANAGING REGIONAL INNOVATION SYSTEMS

Keywords: innovative systems and processes, innovation and telecommunications infrastructure, digital economy, network infrastructure, integration, scientific and industrial clusters, LSTM-networks.

The article presents the features of modern regional innovation processes, reveals their specific features and features of implementation in modern conditions. The key factors of the development of such innovation systems were identified and important aspects affecting this development and effective management of the regional innovation system were identified. The necessity of interdepartmental cooperation of regional entities based on the principles of information and communication technologies and the digital economy is substantiated. The existing methods of managing the development of innovative systems were also considered, the main characteristics of the tools that can be used in the management of innovative processes within the framework of the neural network approach were described. The possibilities of forecasting based on time series analysis using recursive neural networks, in which LSTS-networks are distinguished, are also considered.

Управление инновационными процессами на региональном уровне представляется достаточно сложной, многомерной и многоаспектной задачей, поскольку затрагивает большое число взаимосвязанных факторов, оказывающих непосредственное воздействие на социально-экономические показатели его деятельности, а также определяющей реализацию стратегических целей и приоритетных направлений развития территории в рамках технологической модернизации государства и реализации программ импортозамещения. Одной из основных предпосылок устойчивого роста промышленного производства выделяется повышение экономической эффективности предприятий высокотехнологичных отраслей, обеспечивающих значительный вклад в развитие страны [1]. Мировые тенденции сегодня определяются высокими темпами научно-технического прогресса, эффективным использованием инвестиционных и человеческих ресурсов, усилением глобализации посредством улучшения

восприимчивости каждого субъекта интеграции к достижениям мирового технологического процесса. Необходимо отметить превалирование сетевой модели реализации инновационного процесса в современных условиях хозяйствования, так как именно она дает возможности разделения рисков, создания общей базы знаний, обмена необходимыми компетенциями и предложения рынку более привлекательной ценности при существенном сокращении сроков выхода продукта и/или услуги на рынок, формирования общей ресурсной базы для снижения издержек ее эксплуатации и воспроизводства, максимизации совокупных доходов за счет синергетического и мультипликативного эффектов [2,3].

Цель исследования

Рассмотрение возможностей методов прогнозирования временных рядов и определение наиболее подходящего из них под выявленные критерии на основе сравнительного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

В российской практике можно выделить пристальное внимание, которое уделяется сейчас переходу промышленности и производственно-хозяйственной системы в целом на инновационный путь развития, в значительной степени опирающийся на повышение эффективности кооперационного взаимодействия отдельных субъектов промышленно-экономической деятельности и инфраструктурных региональных элементов на основе снижения издержек, связанных с материально-техническими, информационными, кадровыми и другим видами потоков [4]. Особое внимание к кластерам как к одному из инструментов инновационной политики на федеральном и региональном уровнях привело к построению системы комплексных мер стимулирования их создания и развития. Формирование кластеров отражается как одна из стратегических задач развития российского промышленного комплекса. Также подчеркивается важность развития кластерных образований промышленности для генерации непрерывного потока инноваций обеспечения устойчивости всей экономики [5,6]. Данный факт определяет целесообразность формирования и развития одного из видов таких образований – научно-промышленных кластеров, включающих промышленные предприятия, предприятия инновационной, транспортной и информационно-телекоммуникационной инфраструктур, а также организации по подготовке кадров. В тоже время эффективность реализации инновационных процессов напрямую зависит от уровня развития «поддерживающих» бизнес-процессов и обеспечивающей инфраструктуры [7], представляющие собой среду, именно которая дает возможность осуществления всех эффектов, способствует созданию новых продуктов и услуг, а также их переводу их из разовых в масштабное широкое производство. В методических нормативно-правовых актах отмечается насущная потребность формирования следующих условий для эффективного функционирования сложных социально-экономических систем, к которым относятся такие кластерные формирования:

– создание сетевой инфраструктуры, позволяющей реализовывать непрерывное взаимодействие всех элементов и процессов в едином механизме, координировать деятельность отдельных субъектов кластера, оптимально задействуя их ресурсы и минимизируя издержки;

– формирование возможностей, в том числе цифровых, для реализации управленческих функций в рамках генерации инновационных идей и предложений, а также диффузии такого опыта как базиса развития территории локализации кластера, раскрывающего научно-исследовательский, промышленных и кадровый потенциал региона.

Это особенно важно поскольку чтобы создать все условия для перехода страны в целом и отдельных ее регионов к развитию на основе инновационных преобразований, необходимо обеспечить эффективное взаимодействие всех участников данного процесса в регионе, должным образом скоординировать все этапы инновационного цикла, обеспечить преемственность и диффузию научно-технических знаний, их доступность и возможность их коммерциализации. Здесь огромную роль играет инновационная инфраструктура региона, общую схему которой можно представить на рисунке 1.

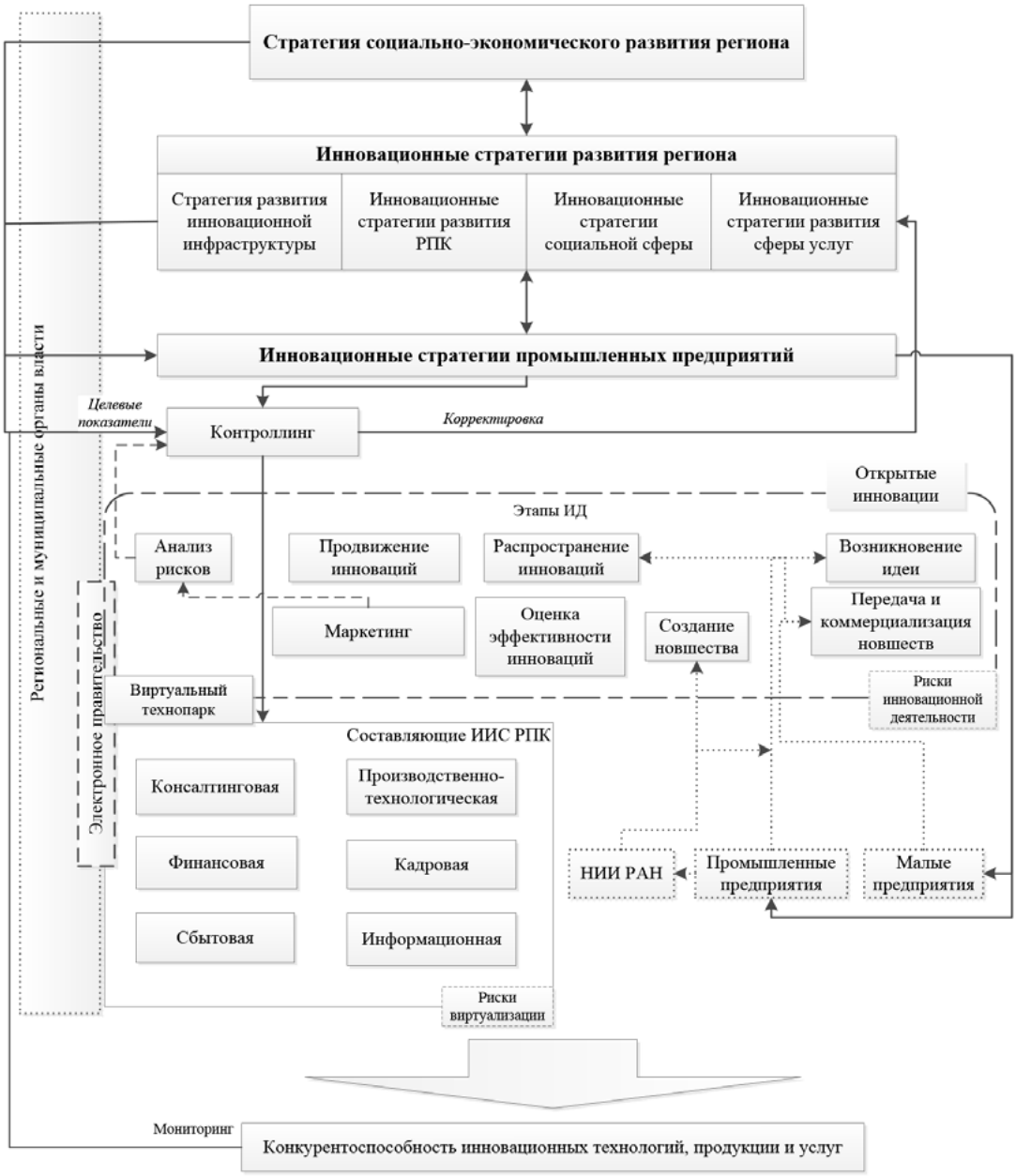

Рис. 1. Схема модели механизма формирования и функционирования инновационной инфраструктуры регионального научно-промышленного кластера

В настоящее время в условиях становления цифровой экономики [8], оказывающей существенное влияние не только на потребителей, но и на производителей возрастает значение временного фактора. Существенно сокращается срок жизни товара. Кроме того, рынок услуг и послепродажного обслуживания за счет возможностей их удаленного оказания и цифровых платформ [9], представляющих доступ к информации в открытой форме 24/7 при минимальных затратах, оказываются весомой частью потребительской ценности [10]. Исходя из этого, становится очевидным, что процессы формирования и развития интеграционных образований должны учитывать особенности текущего технологического уклада, а также предпосылки разработки комплексной цифровой среды таких научно-промышленных кластеров и внедрения

киберсетевых элементов для обеспечения синергетических эффектов на основе взаимовыгодного сотрудничества объединений предприятий [4]. Важным параметром при реализации инновационного процесса в рамках таких сложных систем является форма интеграции, представляющая собой способ организации взаимодействия интегрирующихся взаимосвязанных и взаимозависимых единиц. В общем случае форма интеграции бывает жесткой или мягкой. При жесткой форме интеграции отношения закрепляются юридическими документами. В качестве примеров таких образований можно назвать холдинг, финансово-промышленная группа, синдикат и пр. При такой форме интеграции инновационная составляющая различных продуктов может быть сгенерирована и развита в рамках единого научно-технического центра либо опытно-констукторского производства. Даже при затруднительности коалиционного ведения наукоемких разработок интегрированные формирования имеют доступ к общему патентному пулу, различным внутрикорпоративным базам знаний, технологии проведения испытательных и экспериментальных процедур и т.п. Вместе с тем интегрирующаяся организация частично теряет самостоятельность в пользу управляющей структуры высшего звена. В связи с этим значительно более перспективной в плане гибкости и способности предоставить интегрирующимся инновационным субъектам возможности для самостоятельных научных исследований и разработок является мягкая форма интеграции, которая предполагает согласование интересов без подписания юридически обязывающего документа и принимает форму взаимного участия в прибылях либо обмена пакетами акций. В большинстве случаев современные территориальные научно-промышленные кластеры формируются на принципах «мягкой» интеграции, что требует высокую степень обоснованности и прозрачности решений для всех участников кластерного образования [4]. Данный факт приводит к увеличению числа и усложнению характера связей между отдельными элементами в рамках таких кластерных систем, что определяет потребность в развитии методических основ и практических инструментов формирования, обеспечения безопасности и регенеративной поддержки взаимодействия бизнес-процессов в рамках территориальных научно-промышленных кластеров.

В тоже время на данный момент процессы кооперационного взаимодействия научно-промышленных субъектов при реализации инновационных процессов в региональных кластерах включают в себя ряд разрозненных суб-систем, позволяющих лишь точечно осуществлять обработку и передачу информации о наличии возможностей и ресурсов каждого из них, а также степени их загруженности и потенциале изменений. При этом роль этапов планирования, анализа и мониторинга реализации управляющих воздействий по достижению установленных характеристик инновационного и научно-технологического развития таких систем, а также их сравнение с текущими изменениями только возрастает. Данные этапы представляются особо важными в силу необходимости обоснования и принятия решений по инновационному развитию при ограниченности возможностей бюджетного финансирования, а также локальной специализации того или иного региона на определенном виде деятельности в связи с концентрацией ресурсов и/или компетенций в каждом из них. Это обуславливает потребность в формировании инструментов комплексного управления инновационными процессами в региональных системах и их координации в рамках государства в целом. Координация межорганизационных взаимоотношений отдельных субъектов, в данном случае, нацелена на достижение оптимальной организационной эффективности посредством регулирования и задействования информационных потоков и ресурсов, что дает возможности обеспечения распределение зон ответственности, налаживания необходимого уровня коммуникаций, согласованности во времени и пространстве действий, ресурсов и способностей отдельных организаций как элементов единой производственно-экономической системы друг с другом, а также с внешней средой.

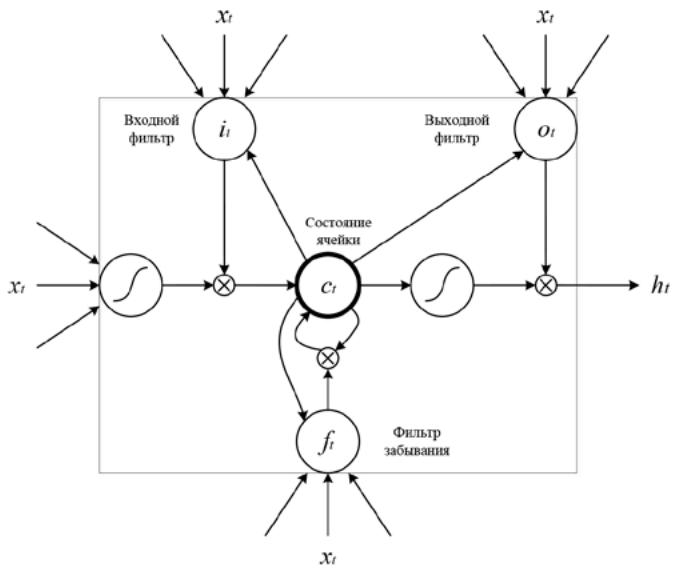

Рис. 2. LSTM-ячейка

При выборе подходов и инструментов эффективного управления реализацией инновационных процессов в таких системах необходимо учитывать следующие ее отличительные черты: весьма большая распределенность и удаленность различных объектов и систем в пространстве; невозможность рассмотрения отдельно каждого субъекта (без установления соответствующих связей с иными субъектами и внешней средой), неопределенность, проявляющаяся в существенном количестве всевозможных состояний региональной инновационной системы, а также неопределенность достоверности поступающей исходной информации, адаптивность (в частности, приспосабливаемость системы к различным возмущающим факторам воздействия со стороны внешней среды), разнообразие вариантов путей и способов достижения поставленной цели функционирования.

Необходимо отметить, что совокупность субъектов и их взаимоотношения в рамках региональной инновационной системы являются не статичными, а представляют собой постоянно меняющуюся комбинацию свойств, параметров, навыков, компетенций, интересов и способностей, что обуславливает сложность идентификации и описания объекта управления. В качестве основных групп, включающих в себя множество вышеуказанных факторов инновационного развития, можно выделить следующие:

– результаты оценки состоятельности инновационного процесса;

– оценка потребности ресурсов;

– вариативность реализации инновационного процесса;

– возможности процесса реализации инноваций;

– угрозы процесса реализации инноваций.

Указанные факторы, при корректном прогнозировании взаимосвязанных элементов позволят осуществлять принятие критических решений на всех этапах инновационного процесса региона, оперативно отслеживать динамику внутренней и внешней среды без существенных затрат на модификацию используемых моделей и алгоритмов.

Особенности таких сетевых формирований и необходимость учета специфики их создания, закономерностей развития, не позволяют использовать существующий для единичных субъектов и отдельных задач инструментарий. Одним из перспективных подходов к решению задач обеспечения безопасности информационно-коммуникационного

взаимодействия в рамках научно-промышленных кластеров представляется интеграция в них интеллектуальных моделей и алгоритмов для систем поддержки принятия решений на основе нейросетевых технологий. Рассматриваемая сфера позволяет моделировать различные обстоятельства и прогнозировать поведение систем на основе предоставления массивного набора данных. Наиболее часто нейронные сети применяются в задачах прогнозирования, классификаций состояний сложных систем, группировки, кластеризации, распознавания образов, нелинейной оптимизации и моделирования. Применение данных методов позволяет обосновывать принятие решений в различных слабоструктурированных условиях, а также при нехватке времени и ограниченности других ресурсов. Это дает возможность учитывать нелинейные взаимодействия между теми или иными характеристиками субъектов, что весьма важно в сложных системах для осуществления предварительного этапа анализа либо отбора, а также обнаружения возможных ошибок в принятии решений. Возможности оценки и учета качественных параметров систем, которых в социально-экономических кластерных формированиях достаточно большое число и при этом играющие в таких образованиях значительную роль, практически имеют возможности реализации при применении методов на основе аппарата нечеткой логики. В сравнении с традиционными статистическими методами подход на основе нейронных сетей предоставляет существенные преимущества в задачах прогнозирования и исходя из особенностей инновационного процесса и специфики региональных инновационных систем. Иерархическая структура многофункциональных взаимосвязей между модулями целевого функционала нейронной сети в тоже время представляет серьёзную угрозу и возможность многогранного исследования уязвимостей. В ввиду данных фактов можно сказать, что интеграция традиционных нейронных сетей глубокого обучения не представляет на выходе требуемого результата.

В рамках управления региональной инновационной системой при решении задач прогнозирования изменений значений системы и ее составных элементов во времени, где каждое последующее наблюдение зависит от предыдущих, целесообразно опираться на анализ временных рядов. При этом для наибольшего распространения в указанной сфере получили сети долговременной и кратковременной памяти (LSTM), сети GRU и сети Vanilla. LSTM (*Long short-term memory*) – особая разновидность архитектуры рекуррентных нейронных сетей, способная к обучению долговременным зависимостям. Данные сети специально созданы таким образом, чтобы избежать проблемы долгосрочных зависимостей [11]. Впервые наиболее подробно данную сеть описали S. Hochreiter и J. Schmidhuber [12]. LSTM разработаны специально, чтобы избежать проблемы долговременной зависимости. Главным ее отличием от простой сети с обратными связями является тот факт, что каждый нейрон скрытого слоя сети заменен так называемой «ячейкой памяти», что отражено на рисунке 2.

Для обучения LSTM-сети используют алгоритм обратного распространения ошибки во времени (BPTT), который является модификацией одноименного алгоритма для многослойного персептрона. Достаточно близкими в LSTM являются GRU сети. Например, в исследовании [13] отмечается, что в случае наличия между важными событиями временного ряда некоторого запаздывания неизвестной продолжительности, следует использовать сети LSTM, при этом ведут они себя более надежно, чем GRU. Сравнения сетей в решениях различных прикладных задач, проводимые в работах [14,15] показывают, что наиболее часто сети с долговременной и кратковременной памятью более трудоемкие и требуют больше времени на работу, но и при этом имеют более высокую точность. Учитывая особенности управления региональными инновационными системами, можно сказать, что для прогнозирования изменений характеристик их субъектов и процессов целесообразнее использовать LSTM сети.

Выводы

Таким образом, информационно-коммуникационные технологии, а также

инструменты анализа и прогнозирования, применяемые в сложных интеграционных формированиях на их основе, которые в наибольшей мере отвечают современным потребностям в инновационных принципах качественных преобразований, позволяют осуществлять поддержку инициации и массовой реализации таких процессов лишь точечно в рамках отдельных организаций. При этом вопросы поддержки и обеспечения реализации эффективного функционирования инновационной системы имеют многофакторный комплексный характер, затрагивая большое число, в том числе описательных слабо предсказуемых и взаимоувязанных параметров. Существующие методы и решения не в полной мере учитывают специфику предметной области и важные параметры рассматриваемой сложной системы. Рассмотрены возможности методов и моделей прогнозирования временных рядов, в том числе и с помощью рекуррентных нейронных сетей, среди которых выделены LSTM сети, которые по результатам сравнительного анализа были определены как наиболее подходящие под особенности управления региональных инновационных систем.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00487).

Библиографический список

1 Кириллова Е.А. Исследование теоретических подходов и практик управления взаимодействием основных субъектов, способствующих обеспечению устойчивого развития региона в стратегической перспективе // Наука Красноярья. 2021. Т. 10. № 4. С. 143-160.

2 Kirillova E.A., Lazarev A.I., Kultygin O.P. Neural network model to support decision-making on managing cooperative relations in innovative ecosystems. Journal of Applied Informatics. 2022. V. 17. № 2 (98). P. 79-92.

3 Апенько С.Н., Попова О.В. Объединение ресурсов в рамках совместных проектов как фактор включения малых предприятий в процессы инновационного развития региона // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2015. № 3 (21). С. 130-136.

4 Заенчковский А.Э. Контроллинг инновационных процессов в промышленных кластерах // Контроллинг. 2016. № 62. С. 58-65.

5 Заенчковский А.Э. Методы моделирования логистики инноваций в условиях трудноформализуемого описания внешней среды // Экономические науки. 2011. № 82. С. 145-148.

6 Мешалкин В.П., Дли М.И., Какатунова Т.В. Анализ эффективности инновационной деятельности региональных промышленных комплексов северо-западного федерального округа России // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2013. № 4 (35). С. 66а-70.

7 Дли М.И., Какатунова Т.В. Процедура распространения результатов инновационной деятельности в регионах // Журнал правовых и экономических исследований. 2010. № 1. С. 5-9.

8 Kalayda S.A. Model of creating an economic ecosystem in the framework of economic convergence under the influence of digitalization. Journal of Applied Informatics. 2021. V. 16. № 6 (96). P. 28-42.

9 Chernova G.V., Kalayda S.A., Khalin V.G., Yurkov A.V. SBER ecosystem – the product of digitalization impact on intersectoral economic convergence. Journal of Applied Informatics. 2021. V.16. № 3 (93). P. 57-68.

10 Дерябина Г.Г., Трубникова Н.В. Диджитализация коммерческого направления деятельности российских компаний как фактор повышения их конкурентоспособности // Современная конкуренция. 2021. Т. 15. № 3(83). С. 131-143.

11 Масалимов К.А., Мунасыпов Р.А. Интеллектуальные модели на основе нейронных сетей с долгой кратковременной памятью для диагностики состояния станков в машиностроении // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2018. Т. 22. № 2 (80). С. 138-145.

12 Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory. Neural Computation.1997. V. 9. Is. 8. P. 1735-1780.

13 Мочалов В.А., Мочалова А.В. Применение долгой краткосрочной памяти и управляемых рекуррентных блоков для прогнозирования значений геомагнитных индексов // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2020. Т. 33. № 4. С. 110-121.

14 Chung J., Gulcehre C., Cho K., Bengio Y. Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling. NIPS 2014 Workshop on Deep Learning. 2014. [Электронный ресурс]. URL: https://arxiv.org/pdf/1412.3555v1.pdf (дата обращения: 20.11.2022).

15 Гринин И.Л. Работа модели генерации текста с помощью нейронных сетей как составной системы: модульный анализ. Модуль третий. Нейронные сети – структура и машинное обучение // Инновации и инвестиции. 2020. № 9. С. 140-143.