



АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДЕОФАЙЛА ДЛЯ ОЦИФРОВКИ КОЛЕБАНИЙ АНАЛОГОВОГО ИНДИКАТОРА НА ПРИМЕРЕ КВАРЦЕВОГО ГРАВИМЕТРА ГНУ-КВ

А.М. ЛОБАНОВ¹, А.П. БЕЛОВ^{1,*}, А.М. ЕРОХИН², К.В. ВЕНЕДИКТОВ²

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

² ООО «Петровайзер»
4, корп. 2, ул. Макарова, г. Тверь 170002, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. На современном этапе геологических и геофизических исследований используются передовые технологии для детального анализа инструментальных данных. Данное исследование сосредоточено на изучении временных вариаций гравитационного поля, которые имеют ключевое значение для понимания кинематики и динамики движений земной коры, вызванных внутренними геодинамическими процессами, такими как землетрясения и вулканизм.

Цель исследования: повысить точность и автоматизацию гравиметрических исследований за счёт нового применения видеотехнологий.

Материалы и методы. В исследовании использовались гравиметр ГНУ-КВ и специализированная видеокамера для цифровой фиксации показаний. Данные с видеокамеры обрабатывались с помощью специально разработанного алгоритма распознавания видео, что обеспечило точный анализ вариаций гравитации.

Результаты. Интеграция видеокамеры с гравиметром позволила точно цифровать колебания указателя гравиметра. Применение алгоритма распознавания видео позволило детально анализировать динамику гравитационных изменений, выявив значительные улучшения в качестве данных и глубине анализа.

Заключение. Внедрение видеотехнологий в гравиметрические исследования расширяет аналитические возможности для изучения геологических процессов, существенно повышая точность данных и оперативность работы.

Ключевые слова: гравиметр, ГНУ-КВ, видеокамера, цифровизация, алгоритм распознавания видео, вариации гравитации, геологические исследования

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Лобанов А.М., Белов А.П., Ерохин А.М., Венедиктов К.В. Алгоритм распознавания видеофайла для оцифровки колебаний аналогового индикатора на примере кварцевого гравиметра ГНУ-КВ. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):128—134. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-128-134>

Статья поступила в редакцию 25.10.2023

Принята к публикации 15.03.2024

Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

ALGORITHM OF VIDEO FILE RECOGNITION FOR DIGITIZATION OF ANALOG INDICATOR OSCILLATIONS ON THE EXAMPLE OF GNU-KV QUARTZ GRAVIMETER

ALEXANDER M. LOBANOV¹, ALEXEY P. BELOV^{1,*}, ALEXANDR M. EROKHIN², KONSTANTIN V. VENEDIKTOV²

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

² *“Petroviser”
4 bld. 2, Makarova str., Tver 170002, Russia*

ABSTRACT

Background. The advancement of geological and geophysical research leverages modern technology to enhance the analysis of instrumental data, particularly focusing on long-wave components of potential fields. This includes studies on temporal gravity variations, which are crucial for understanding the Earth's kinematics and dynamics, including processes related to earthquakes and volcanism. These variations serve as precursors to such geodynamic events, aiding in the development of predictive models.

Aim. This study explores the use of video technology to enhance the digitization and analysis of gravity field variations using the GNU-KV quartz gravimeter.

Materials and methods. The research employed a GNU-KV gravimeter coupled with a specialized video camera. Data captured by this setup were processed using an innovative video recognition algorithm designed for precise and reliable measurement of gravity variations.

Results. The integration of the video camera with the gravimeter facilitated precise digitization of the indicator oscillations. The video recognition algorithm enabled detailed analysis of the gravity variations, improving the accuracy of the results.

Conclusion. Incorporating video technology into gravimetric studies significantly enhances the ability to analyze geological processes, broadening the scope and depth of research in geophysical studies.

Keywords: gravimeter, GNU-KV, video camera, digitalization, video recognition algorithm, gravity variations, geological research

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosures: no financial support was provided for this study.

For citation: Lobanov A.M., Belov A.P., Erokhin A.M., Venediktov K.V. Algorithm of video file recognition for digitization of analog indicator oscillations on the example of GNU-KV quartz gravimeter. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2024;66(1):128—134. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-128-134>

Manuscript received 25 October 2023

Accepted 15 March 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

В современные геологические исследования активно внедряют новейшие технологические решения для более точного и глубокого анализа данных. Одной из ключевых областей является разработка и применение передовых методов для обработки данных гравиметрии. В этом контексте стоит обратить внимание на гравиметры наземные узкодиапазонные с кварцевой чувствительной системой

класса В, обозначаемые аббревиатурой ГНУ-КВ. Этот прибор использует кварцевую чувствительную систему для выявления и численного измерения низкочастотных вариаций силы тяжести. Благодаря своей высокой точности ГНУ-КВ занимает ведущие позиции в сегменте наземных гравиметров [5]. Обнаруживаемые им колебания представляют собой отклик на изменения гравитационного поля

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Земли, обусловленные геологическими особенностями строения земной коры, приливными процессами, вулканической деятельностью, а также процессами внутри земной коры и верхней мантии.

Изначально методика использования гравиметра ГНУ-КВ заключалась в прямом наблюдении через окуляр индикатора и регистрации единичных показателей. Современные технологические решения позволяют не только записывать данные показатели, но и проводить детализированный анализ всех регистрируемых колебаний. В частности, возможно исследование низкочастотных колебаний на частотах в диапазоне 0,05—0,5 Гц.

С учетом этих технических инноваций появилась возможность детектировать и анализировать даже минимальные флуктуации, которые ранее были недоступны для наблюдения. Методика, включающая в себя оцифровку колебаний ГНУ-КВ и применение алгоритмов распознавания видео [4], расширяет инструментарий в геологических исследованиях. Такой подход обеспечивает более детальное изучение геологической структуры и предоставляет доступ к данным, ранее недоступным для математического анализа.

Для оптимизации точности и методики сбора данных традиционный окуляр был заменен на видеокамеру. В качестве устройства был выбран

цифровой микроскоп Levenhuk M35 с параметрами разрешения 640x480 и частотой кадров 30 кадров/с. Данная замена обеспечила автоматизацию регистрации данных, предназначенных для дальнейшего анализа.

Использование видеокамеры обусловлено спецификацией индикатора ГНУ-КВ, представляющего собой специальную пружину, которая теоретически имела бы нулевую длину в нерастянутом состоянии и оказывала бы нулевое усилие. Электромагнитные методы неприменимы для детекции положения индикатора из-за возможного воздействия на его динамику движения [3]. Несмотря на существование альтернативных технологий, таких как лазерные дальномеры, их стоимостные характеристики и сложность калибровки и интеграции в данный прибор ограничивают применение. В свою очередь, видеокамера, не воздействуя на индикатор, исключает искажения и обеспечивает надежную и точную регистрацию данных, что делает ее наилучшим выбором для решения поставленных задач исследования.

Оцифровка данных с гравиметра ГНУ-КВ включает следующие этапы.

1. Замена традиционного окуляра на видеокамеру на устройстве ГНУ-КВ.
2. Видеозапись с использованием штатного программного обеспечения Levenhuk.
3. Мониторинг колебаний индикатора в режиме реального времени с последующим сохранением видеофайла.
4. Обработка видеофайла с целью выделения характерных зон визуально определяемых колебаний.
5. Применение специально разработанного нами алгоритма для идентификации и анализа колебательных явлений на видеоматериале.
6. Конвертация оцифрованных данных для последующего математического анализа и геологической интерпретации.

Преобразование колебаний индикатора в видео осуществляется при частоте съемки 30 Гц. Затем видеоматериал конвертируется в цифровую форму при помощи специально разработанного нами алгоритма. Данный алгоритм, работая покадрово, регистрирует положение индикатора, детектируя его границы. После определения границ индикатора алгоритм вычисляет его центр, что и является фактическим положением индикатора. Усиливая контрастность каждого кадра, что обусловлено ярко выраженным контрастом между светлым индикатором и темным фоном, алгоритм обеспечивает высокую точность в определении положения



Рис. 1. Гравиметр ГНУ-КВ с установленной камерой-микроскопом Levenhuk M35

Fig. 1. GNU-KV gravimeter with Levenhuk M35 microscope camera installed

индикатора. Данный алгоритм сочетает в себе методы машинного обучения и компьютерного зрения для анализа контраста изображения. В качестве основной модели в методах машинного обучения использовалась архитектура сети LSTM, выбранная на основе серии экспериментов. Отметим, что выбранная архитектура может быть изменена в будущем. Для детализированного мониторинга движения индикатора в ходе видеозаписи

применяются методы усиления границ и пороговой обработки.

Процедура обработки состоит из этапов сглаживания, шумоподавления и фильтрации [1]. Видеоданные первоначально обрабатываются с использованием программного обеспечения на языке Python, после чего результаты сохраняются для последующего анализа в программном окружении «MATLAB».

ВХОД: Видеофайл

ВЫХОД: Оцифрованные данные положения индикатора

1. ЗАГРУЗИТЬ видеофайл.
2. ПОДГОТОВИТЬ видеопоток для чтения кадров.
3. ИНИЦИАЛИЗИРОВАТЬ модель LSTM с предварительно обученными весами.
4. ДЛЯ каждого кадра в видео:
 - 4.1. УСИЛИТЬ контрастность кадра.
 - 4.2. СГЛАДИТЬ кадр.
 - 4.3. ПРИМЕНИТЬ методы шумоподавления.
 - 4.4. ПРИМЕНИТЬ методы машинного обучения и компьютерного зрения для детекции границ индикатора.
 - 4.5. НАЙТИ центр индикатора на основе обнаруженных границ.
 - 4.6. ПРОГНОЗИРОВАТЬ положение индикатора на следующем кадре с использованием LSTM.
 - 4.7. СРАВНИТЬ прогнозируемое и фактическое положение.
 - 4.8. ЕСЛИ разница между прогнозируемым и фактическим положением превышает пороговое значение:
 - 4.8.1. ПОВТОРНО анализировать кадр или применить коррекцию.
 - 4.9. СОХРАНИТЬ координаты центра в массив оцифрованных данных.
5. ПРОИЗВЕСТИ фильтрацию или сглаживание массива оцифрованных данных (если необходимо).
6. СОХРАНИТЬ оцифрованные данные для последующего анализа.

Псевдокод программы

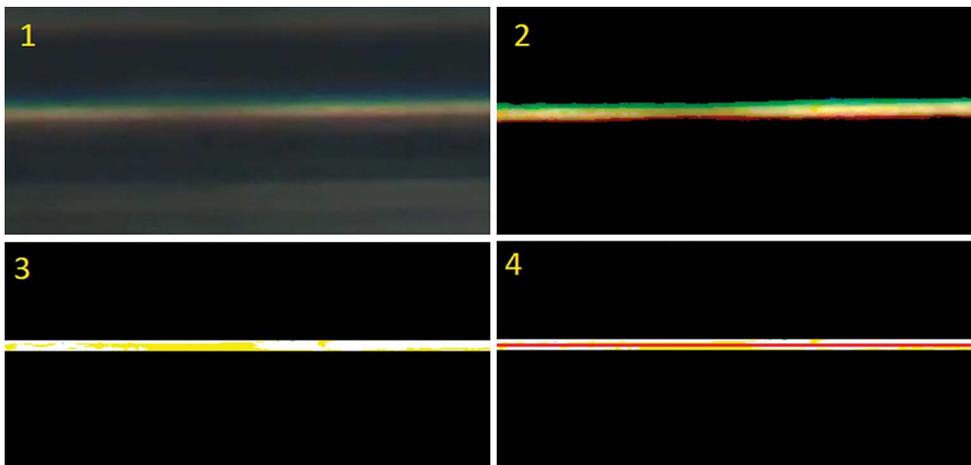


Рис. 2. Шаги преобразования кадра исходных данных (кадр положения индикатора из видео) в цифровой вид. С каждым шагом происходит улучшение качества данных и повышается пригодность для дальнейшей обработки, применяются методы сглаживания, шумоснижения, фильтрации и другие методы статистической обработки данных, в итоге определяется точное положение индикатора для каждого кадра

Fig. 2. The steps of converting the frame of the source data (the frame of the indicator position from the video) into a digital view. With each step, data quality and suitability for further processing are improved, namely smoothing, noise reduction, filtering and other methods of statistical data processing, as a result, the exact position of the indicator for each frame is determined

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Ключевым этапом исследования является оценка погрешности использованного метода. Ошибки при оцифровке минимизируются благодаря механизму проверки, интегрированному в алгоритм. Этот механизм основывается на предпосылке, что положение индикатора не должно резко изменяться между двумя соседними кадрами. В случае обнаружения аномалий или неожиданных сдвигов в положении индикатора кадр подвергается повторному анализу для верификации результатов [8].

Тестирование алгоритма распознавания выявило его точность в 99,5%, процент ошибки составил 0,5%, это говорит о том, что в большинстве экспериментальных наблюдений алгоритм эффективно определяет положение индикатора. Для определения точности была применена обучающая выборка, после чего алгоритм был протестирован на тестовой выборке, размеченной нами вручную. Сравнение результатов подтвердило минимальное отклонение.

$$\text{Точность алгоритма (Accuracy)} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{400}{400 + 2} = 0,995, \text{ или } 99,5\%,$$

где TP (True Positives) — количество случаев, когда алгоритм правильно определил положение индикатора; FP (False Positives) — количество случаев, когда алгоритм ошибочно определил положение индикатора.

$$\text{Вероятность ошибки (Error Rate)} = 1 - 0,995 = 0,005, \text{ или } 0,5\%.$$

При использовании алгоритма распознавания видео и метода оцифровки были получены данные, отражающие временные ряды колебаний индикатора. Эти данные выявляют специфические характеристики и отклонения в динамике колебаний. В отличие от традиционного метода наблюдения через окуляр данный метод обеспечивает детализированную цифровую обработку данных, расширяя аналитический потенциал исследований.

Применяемая методика обеспечивает систематизированный сбор данных в различных геологических локациях, придавая исследованиям до-

полнительную информационную ценность. Задача по оцифровке успешно решена, и ее результат предоставляет дополнительный инструмент для детального изучения и анализа периодичности вариаций гравитационного поля исследуемого региона. Данная работа нацелена на возможность определять статистические, спектральные и другие характеристики вариаций гравитационного поля в зонах с разным геологическим строением, что, в свою очередь, необходимо для решения задач по точному определению зон разломов, выявлению гетерогенностей грунтов и коррекции границ месторождений, расширяя аналитические возможности специалистов в области изучения природных ресурсов [7].

Ограничения нашего метода

1. Метод функционирует исключительно в офлайн-режиме, завися от компьютера для обработки данных.

2. Исходная запись создает видеофайлы со значительным объемом (около 1 ГБ данных за 1 час записи), что увеличивает временные затраты на их обработку.

3. Процесс оцифровки данных предполагает выполнение дополнительных операций обработки и анализа, что может привести к задержке в предоставлении результатов.

Перспективы развития

1. Предполагается модернизация методики оцифровки данных в онлайн-режиме, без предварительного сохранения видеофайла, что сократит использование дискового пространства и уменьшит время получения результатов.

2. Планируется разработка интегрированной аппаратной платформы, исключающей необходимость подключения внешних устройств; другими словами, замена ноутбука на простое, автономное, более энергоэффективное устройство.

3. Рассматривается возможность автономной эксплуатации прибора с функцией автоматического запуска и завершения записи в соответствии с заданными параметрами.

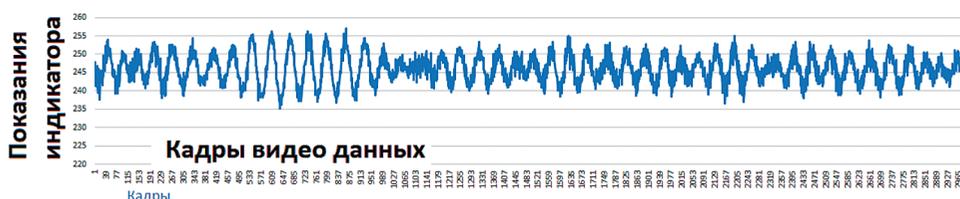


Рис. 3. Полученные оцифрованные данные
Fig. 3. The digitized data obtained

4. Данный подход возможно адаптировать и применять для оцифровки аналоговых индикаторов других приборов.

Заключение

В рамках проведенного исследования была разработана и рассмотрена методика оцифровки колебаний индикатора гравиметра ГНУ-КВ. Интеграция современных устройств и передовых алгоритмов позволила методике обеспечить превосходство над классическими подходами. Описанный метод и алгоритмы характеризуются высокой точностью и скоростью реагирования, обеспечивая вывод числового ряда для анализа низкочастотных вариаций гравитационного поля. На основании

полученных результатов можно утверждать о потенциально широком применении данной методики в геологической сфере и ее возможном вкладе в будущие научные достижения и совершенствование методов исследования земной коры; в частности, она может быть использована для непрерывного мониторинга многих геологических процессов. При откачке подземных вод, нефти или газа, как и в районах геотермальных источников, одновременно с оседаниями дневной поверхности происходят и изменения силы тяжести, при этом локальные изменения зависят от типа осадочных пород и процесса опускания. Можно также использовать контрольные съемки для изучения запасов месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов А.П., Лобанов А.М., Ерохин А.М. Опыт амплитудно-частотной оценки колебания грунтов в диапазоне 0,05—0,5 Гц с использованием чувствительного элемента гравиметра ГНУ-КВ // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 2. С. 67—73.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989. 540 с.
3. Визильтер Ю.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: курс лекций и практических занятий. М.: Физматкнига, 2010. 671 с.
4. Инструкция по развитию высокоточной государственной гравиметрической сети России. Требования к высокоточным сетям. Абсолютные измерения ускорения силы тяжести баллистическими гравиметрами. М.: ЦНИИГАиК, 2001. 66 с.
5. Торге В. Гравиметрия / Под ред. А.П. Юзефовича. М.: Мир, 1999. 429 с.
6. Barnes P.R., Van Dyke J.W. The effects of electromagnetic interference on electronic equipment // Proceedings of the IEEE. 1993. Vol. 81, no. 3. P. 384—392.
7. Bradski, G., & Kaehler, A. Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. O'Reilly Media, Inc. 2008.
8. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer. 2010.

REFERENCES

1. Belov A.P., Lobanov A.M., Erokhin A.M. The experience of amplitude-frequency estimation of ground vibrations in the range of 0.05—0.5 Hz using a sensitive element of the GNU-KV gravimeter // Izvestia of Higher educational Institutions. Geology and exploration. 2023. No. 2. P. 67—73 (In Russian).
2. Bendat J., Pearsol A. Applied analysis of random data. Moscow: Mir, 1989. 540 p. (In Russian).
3. Visilter Yu.V. Image processing and analysis in machine vision problems: a course of lectures and practical exercises. Moscow: Fizmatkniga, 2010. 671 p. (In Russian).
4. Instructions for the development of the high-precision state gravimetric network of Russia. Requirements for high-precision networks. Absolute measurements of gravity acceleration by ballistic gravimeters. Moscow: TsNIIGAiK, 2001. 66 p. (In Russian).
5. Torge V. Gravimetry / Edited by A.P. Yuzefovich. Moscow: Mir, 1999. 429 p. (In Russian).
6. Barnes P.R., Van Dyke J.W. The effects of electromagnetic interference on electronic equipment // Proceedings of the IEEE. 1993. Vol. 81, no. 3. P. 384—392.
7. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. O'Reilly Media, Inc. 2008.
8. Szeliski, R. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer. 2010.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Лобанов А.М. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, сформулировал основные идеи описанного метода, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexander M. Lobanov — made the main contribution to the development of the concept of the article, formulated the main ideas of the described method, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Белов А.П. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ерохин А.М. — внес вклад в разработку концепции статьи, подобрал математический аппарат для обеспечения расчетов, указанных в статье, присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Венедиктов К.В. — внес вклад в разработку концепции статьи, разработал программное обеспечение для проведения анализа исходных данных, присоединился к подбору математического аппарата и подготовке текста статьи, обеспечил графическое представление данных, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexey P. Belov — made the main contribution to the development of the concept of the article, joined the preparation of the text of the article, finally approved the published version and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Alexander M. Erokhin — contributed to the development of the concept of the article, selected a mathematical apparatus to ensure the calculations specified in the article, joined the preparation of the text of the article, finally approved the published version and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Konstantin V. Venediktov — contributed to the development of the concept of the article, developed software for analyzing the source data, joined the selection of mathematical apparatus and the preparation of the text of the article, provided a graphical representation of the data, finally approved the published version and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лобанов Александр Михайлович — кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: lobanovam@mgri.ru тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-52 SPIN-код: 8713-9468

Alexander M. Lobanov — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: lobanovam@mgri.ru tel.: +7 (495) 255-15-10, ext. 21-52 SPIN-code: 8713-9468

Белов Алексей Павлович* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: belovap@mgri.ru тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-52

Alexey P. Belov* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: belovap@mgri.ru tel.: +7 (495) 255-15-10, ext. 21-52

Ерохин Александр Михайлович — руководитель экспертно-методической группы подразделения ИТ ООО «Петровайзер». 4, корп. 2, Макарова ул., г. Тверь 170002, Россия e-mail: erokhin_am@petroviser.ru тел.: + 7 (915) 724-82-76

Alexander M. Erokhin — Head of the Expert and Methodological Group of the IT department, “Petroviser” LLC. 4, bld. 2, Makarova str., Tver 170002, Russia e-mail: erokhin_am@petroviser.ru tel.: + 7 (915) 724-82-76

Венедиктов Константин Витальевич — аналитик экспертно-методической группы Управления ИТ ООО «Петровайзер». 4, корп. 2, Макарова ул., г. Тверь 170002, Россия e-mail: venediktov_kv@petroviser.ru тел.: + 7 (910) 536-72-68

Konstantin V. Venediktov — Analyst of the Expert and Methodological Group of IT Management of “Petroviser” LLC. 4, building 2, Makarova str., Tver 170002, Russia e-mail: venediktov_kv@petroviser.ru tel.: + 7 (910) 536-72-68

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author