

# Перспективы мониторинга состояния тепловых сетей путем тепловизионного обследования\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-149-154>

Существующие методы мониторинга трубопроводного хозяйства имеют значительные ограничения по сложности, стоимости, что затрудняет их использование для контроля состояния городских тепловых сетей. В работе рассматриваются аэрофотосъемки и тепловизионные съемки для мониторинга надземных тепловых сетей города Кемерово. В ходе исследования был получен цифровой двойник надземных тепловых сетей в видимом и инфракрасном спектрах. Данные тепловизионной съемки позволяют идентифицировать участки сетей с повышенной температурой, соответствующей разным степеням повреждений труб и их изоляции. В результате проведенных работ собственнику тепловых сетей была предоставлена полная информация по температурным аномалиям труб с указанием точных географических координат. Это позволило значительно быстрее и эффективнее планировать ремонты, поскольку отпадает необходимость в сплошном обследовании труб, можно анализировать только уже выявленные проблемные участки.

**Ключевые слова:** сканирование объекта, тепловые сети, утечки тепла, тепловизионная съемка, беспилотное воздушное судно, геоинформационные системы, цифровое управление, разработка программного обеспечения.

**Для цитирования:** Перспективы мониторинга состояния тепловых сетей путем тепловизионного обследования / А.О. Рада, А.Д. Кузнецов, Р.Е. Зверев и др. // Уголь. 2022. № 512. С. 149-154. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-149-154>.

## ВВЕДЕНИЕ

Традиционной особенностью жилищно-коммунального хозяйства России является централизованное производство горячей воды и пара для бытовых, производственных нужд на крупных тепловых электростанциях или в котельных. Такой подход к теплофикации городов позволяет снизить себестоимость тепловой энергии для потребителей, утилизировать отводимое от электростанций тепло, обеспечить надежное, сравнительно дешевое теплоснабжение. Одновременно с этим возникает необходимость мониторинга состояния тепловых сетей большой протяжен-

## РАДА А.О.

Канд. экон. наук,  
директор Института цифры  
ФГБОУ ВО «Кемеровский  
государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: rada.ao@kemsu.ru

## КУЗНЕЦОВ А.Д.

Директор Центра компьютерного инжиниринга  
Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский  
государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: adkuz@inbox.ru

## ЗВЕРЕВ Р.Е.

Аспирант, специалист по управлению БПЛА  
Центра компьютерного инжиниринга  
Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский  
государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: r.zverev@i-digit.ru

## АКУЛОВ А.О.

Канд. экон. наук, доцент кафедры «Менеджмент»  
Института экономики и управления им. И.П. Поварича,  
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650056, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: akuanatolij@yandex.ru

\* Работа выполнена в рамках Соглашения № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет».

ности, расположенных на значительных площадях. Например, в таком областном центре, как Кемерово, протяженность тепловых сетей составляет около 1 тыс. км (в одно-трубном исчислении).

Учитывая существенную изношенность сетей, часть которых построена еще в советское время, велика вероятность возникновения аварий и повреждений, возникает научно-техническая задача мониторинга данных объектов. При этом крайне желательно не просто своевременно реагировать на нарушения в работе тепловых сетей и утечки тепла, но и превентивно выявлять возможные проблемы. Опережающий подход дает возможность снизить размеры ущерба, не допускать перебоев в теплоснабжении, предотвращать утечки тепловой энергии и финансовые потери. Для реализации такого подхода нужны адекватные технологические решения, отвечающие критериям скорости, надежности, а также экономичности с точки зрения финансовых и трудовых затрат.

Мировой опыт свидетельствует, что задачи мониторинга состояния различных объектов инфраструктуры с высокой точностью информации при приемлемом уровне затрат успешно решаются на основе цифровых технологий, создания цифровых двойников. Базовым приемом создания цифрового двойника реального объекта часто выступает съемка с беспилотного воздушного судна (БВС), которая может быть традиционной визуальной и (или) тепловизионной в инфракрасном спектре. Результаты съемки используются для оценки состояния объекта и принятия соответствующих решений с высоким качеством и скоростью.

В литературе описаны технологии цифрового мониторинга на основе съемки с БВС для решения самого широкого круга задач. Например, определение состояния сельскохозяйственных культур [1], уточнение кадастровых данных, идентификация объектов недвижимости [2], наблюдение за горными работами [3], поиск мест аварий на высоковольтных линиях электропередачи в труднодоступных районах [4], планирование рекультивации земель на нарушенных горными работами территориях [5], прогнозирование и контроль самовозгораний отвалов отработанной породы [6] и др. Представляется, что технология съемки с БВС для контроля состояния таких линейных объектов, как тепловые трассы, также имеет определенные перспективы в силу скорости, полноты получения информации, приемлемой стоимости.

### **ОБЗОР МЕТОДОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА**

Наиболее распространенными методами диагностики трубопроводов и тепловых сетей в настоящее время являются акустическая эмиссия, ультразвуковое сканирование, магнитная томография, внутритрубная диагностика [7, 8, 9, 10]. Акустическая эмиссия используется для поиска поврежденных и разрушенных участков труб (по преимуществу по причине коррозии). Вследствие наличия изоляции на трубах тепловых сетей, а также в случае их подземного размещения непосредственное визуальное наблюдение очагов коррозии затруднено или невозможно. Поэтому участок трубы может постепенно разрушаться, а собственник сетей узнает об этом лишь после аварии. Метод

же акустической эмиссии разработан для оценки состояния трубы без снятия изоляции и прекращения перекачки по ней полезного продукта.

Данный метод основан на принципе изменения акустических волн при их прохождении через участки металла, имеющие трещины и другие нарушения целостности. Аппаратный комплекс включает датчики, регистрирующие акустические волны, усилители сигнала, кабели, устройства сбора данных. Пьезоэлектрические датчики преобразуют локальное динамическое смещение материала, вызванное волной напряжения, в электрический сигнал. Далее устройство сбора данных выполняет аналогово-цифровое преобразование сигналов, фильтрацию, идентификацию полезных сигналов (т.е. искажений прохождения волн, вызванных нарушениями целостности материала труб), расшифровку данных и их выдачу пользователю.

Данный метод позволяет вести неразрушающий контроль труб без их вскрытия и снятия изоляции на участках до сотен метров за один сеанс обследования, поскольку доступ к трубе нужен только для установки датчиков [11]. Соответственно, на всем исследуемом участке могут быть обнаружены трещины, очаги коррозии, утечки, пока они еще не повлекли серьезной аварии. Техническим ограничением использования метода является в ряде случаев трудность выделения, идентификации полезных сигналов в условиях помех. Иными словами, результаты акустической эмиссии не всегда безошибочны, возможны как пропуск поврежденных участков, так и ложное обнаружение неисправностей.

Также для неразрушающего контроля труб применяется ультразвуковое сканирование. Принцип действия основан на направлении высокочастотных ультразвуковых направленных волн к объекту диагностики и последующем анализе изменения их колебаний. Пересекая границу металла, например с воздухом, волна отразится от этой границы и вернется к источнику. На основании этого судят о нарушении целостности объекта. Аппаратный комплекс для ультразвукового сканирования включает сканер, устройство сбора данных и визуализации, источник питания, датчики, ультразвуковые преобразователи [12].

Возможны два варианта сканирования – отражение и затухание. При использовании режима отражения преобразователь отправляет и принимает импульсные волны таким образом, что отраженная волна достигает стенки трубы либо повреждения в ней и возвращается обратно к источнику. Устройство сбора данных выводит результат сканирования в виде сигнала с амплитудой, отражающей интенсивность и время прибытия отраженной волны. В режиме затухания передатчик отправляет волну через поверхность, а приемник фиксирует ее на другой поверхности после прохождения через металл трубы. Если он имеет повреждения, то количество переданного звука будет меньше.

Ультразвуковое сканирование обладает такими преимуществами, как высокая проникающая способность и чувствительность, значительная точность, возможность определения конкретных характеристик дефекта. В то же время метод весьма требователен к квалификации исполнителей, требует специальной подготовки поверхности (очистки, удаления краски). Ультразвуковое сканирование тем сложнее, чем меньше размер дефектов. Кроме того, оба рассмо-

тренных метода построены на аналоговых технологиях, а также связаны с большими трудозатратами.

Магнитная томография основана на взаимосвязи параметров магнитного поля трубопровода с уровнем механических напряжений в металле трубы. На трубопроводы устанавливаются специальные бесконтактные датчики, которые отслеживают механические напряжения в режиме реального времени. Данный метод имеет ряд преимуществ – высокая точность и производительность, полнота диагностики, возможность держать состояние труб под полным контролем, возможность автоматизации, работа в зонах любой длины сколь угодно долгий промежуток времени. Однако этот метод связан с очень высокими затратами и фактически используется только для важнейших объектов, таких как магистральные нефтепроводы и газопроводы [13].

Также возможно использование внутритрубных дефектоскопов – роботов с комплексом модулей неразрушающего контроля (ультразвуковых, лазерных, акустических). Это значительно повышает качество обследования за счет одновременного использования ряда методов, построенных на разных физико-технических принципах, но, как и в предыдущем случае, требует значительных затрат. Дефектоскопы также применяются по преимуществу на магистральных трубопроводах.

Значительную перспективу, на взгляд авторов, имеет использование тепловизионной съемки с БВС для выявления участков теплотрасс с аномальными потерями. Такая съемка дает возможность преобразовать тепловое излучение от наблюдаемых объектов в визуальное изображение и выявить участки с повышенной температурой. Соответственно, при тепловизионном обследовании труб могут быть обнаружены участки с большой интенсивностью теплового излучения, то есть места разрушений, утечек, коррозии. Тепловизионная съемка различных объектов для поиска и устранения утечек тепловой энергии сейчас достаточно широко распространена на практике, но проводится вручную, что требует больших затрат труда. Для мониторинга таких протяженных объектов, как тепловые сети крупного города, необходимо использовать БВС для быстрой и дешевой съемки, а также соответствующее программное обеспечение для интерпретации результатов.

## ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ НАДЗЕМНЫХ ТЕПЛОТРАСС В ГОРОДЕ КЕМЕРОВО

Тепловизионное обследование надземных теплотрасс города Кемерово проводилось нами в следующей последовательности. Первоначально был составлен ортофотоплан с векторным слоем, отражающим расположение надземных тепловых сетей посредством съемки с БВС «DJI Mavic Pro 2». Были уточнены расположение, конфигурация около 130 км надземных тепловых сетей. Пример соответствующего ортофотоплана представлен на рис. 1.

Векторный слой надземных тепловых сетей далее был наложен на топографическую карту города Кемерово. Этот этап работы был необходим потому, что имеющиеся сведения о расположении сетей содержали определенные ошибки, неточности вследствие несвоевременного обновления данных, «человеческого фактора» и других причин. Составление ортофотоплана дало возможность точного планирования тепловизионной съемки для выявления утечек, нарушений изоляции, проблемных участков сетей. Целью проводимой работы было создание тепловой карты надземных сетей в картографической проекции, позволяющей выявить утечки тепла и разрушения труб.

Тепловизионная съемка проводилась на высоте 100–150 м (в зависимости от конкретных условий) поздней осенью, в такой период, когда тепловые сети уже находятся в рабочем режиме (отопление запущено), но снежный покров еще отсутствует. Для исключения искажающего эффекта солнечной инсоляции полеты проводились либо в ночное время, либо в дни, когда наблюдалась высокая облачность.

Для съемки в исследовании использовались БВС типа «квадрокоптер» «DJI Matrice 210 RTK» и тепловизионная камера «Zenmuse XT ZXTA13SP», основным элементом которой является микроболометр на основе ванадия без охлаждения. Данная камера позволяет получить снимки для определения температуры на каждом участке трубы. В ходе исследования был запланирован маршрут БВС, управление на маршруте проводилось по координатам GPS с обменом информацией в режиме реального времени. При заходе на каждый новый маршрут начиналась тепловизионная съемка, ее результаты записывались и



Рис. 1. Пример ортофотоплана с фиксацией положения участка тепловой сети

Fig. 1. An example of an orthophotomap with the fixed location of a heat supply network segment

## Граничные значения тепловых потерь для оценки состояния тепловых сетей

Boundary values of heat losses to assess the condition of heat supply networks

Тип потерь	Потери тепла, процентов	Интерпретация
Нормальные тепловые потери	5–10	Сухая и цельная изоляция трубопроводов, минимальный тепловой поток от теплоносителя к поверхности земли. Нормальная ситуация, не требующая от эксплуатанта дальнейших действий
Увеличенные тепловые потери	10–15	Мокрая или поврежденная изоляция трубопроводов, которая способствует зарождению коррозионных повреждений; в тепловом поле могут отображаться четкая аномалия среднего уровня яркости и увеличенная ширина теплового следа. Необходимо запланировать ремонтные работы
Высокие тепловые потери	15–20	Поврежденная и влажная изоляция трубопроводов, канал часто заполняется водой из соседних водопроводов с грунтовыми или талыми водами; в тепловом поле отображается высококонтрастная аномалия с шириной, в несколько раз превышающей норму. Необходимы ремонтные работы
Аварийное состояние	более 20	Аномалии теплового поля имеют очень высокую контрастность и широкую нечеткую форму из-за особенностей микрорельефа. Требуется незамедлительный ремонт

передавались в центр управления. Там они обрабатывались с применением специального программного обеспечения. Далее материалы съемки дешифровались (интерпретировались) для выделения тепловых аномалий, их привязки к географическим координатам. Все аномалии были нанесены на картографическую основу. Для интерпретации тепловых аномалий использован подход, изложенный в [14] (см. таблицу).

В результате съемок были получены снимки, четко иллюстрирующие температуру надземных труб теплоснабжения, окружающей обстановки, показывающие наличие или отсутствие тепловых аномалий. На рис. 2 приведен пример первичного снимка (в инфракрасном спектре) в левой части рисунка и визуальная интерпретация с окраской, соответствующей тепловым потерям. Видно, что трубопровод «светится», т.е. имеет недостаточную теплоизоляцию в ряде мест, а один из его участков имеет серьезные коррозионные повреждения.

На рис. 3, 4 можно видеть примеры исходных тепловизионных снимков (левая часть рисунков) и их интерпретации в видимом спектре (правая часть рисунков), что позволяет выявить тепловые аномалии. На рис. 3 при этом представлен пример нормального состояния участка надземной тепловой сети, на рис. 4 – пример обнаружения опасной ситуации с существенными дефектами изоляции, что влечет необходимость проведения ремонтных работ.

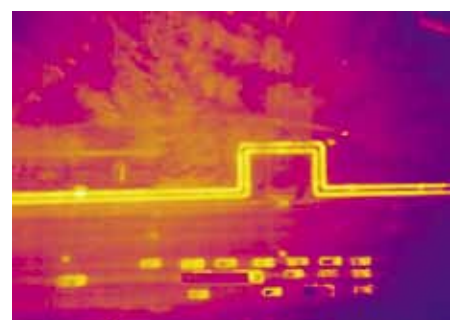


Рис. 2. Пример тепловизионного снимка трубопровода

Fig. 2. An example of a thermal image of a pipeline

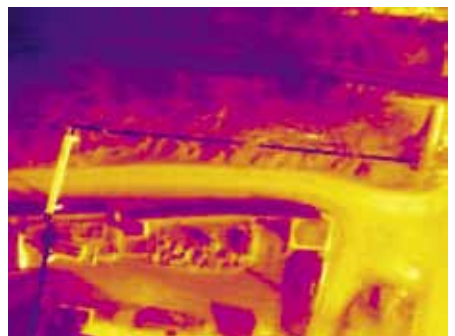


Рис. 3. Пример тепловизионного снимка трубопровода

в нормальном техническом состоянии

Fig. 3. An example of a thermal image of a pipeline in normal technical condition

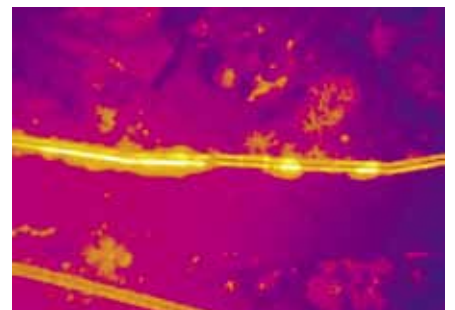


Рис. 4. Пример тепловизионного снимка трубопровода с дефектами изоляции, требующими ремонта

Fig. 4. An example of a thermal image of a pipeline with insulation defects that need to be fixed

Как видно из приведенных данных, тепловизионная съемка позволяет выявить участки надземных тепловых сетей с тепловым излучением интенсивнее нормального уровня и тем самым определить, где требуются ремонтные работы (сварочные, замена фрагментов труб, восстановление изоляции и т.п.). Кроме того, по результатам исследования на ортофотоплане создан векторный слой с маркерами, отражающими интенсивность теплового излучения на каждом пикселе участка тепловых трасс (см. рис. 1). Разные цвета маркеров соответствуют разным уровням утечки тепла (например, красный – максимальные потери, требующие быстрого реагирования). Наряду с этим каждый маркер содержит данные о времени и дате съемки, температуре окружающей среды.

Все эти данные были загружены в веб-приложение в форме геоинформационной системы, содержащей снимок и другие сведения по каждому участку надземной тепловой трассы. Приложение использовано предприятием теплосетевого хозяйства для планирования профилактических осмотров и ремонтов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большие масштабы городского теплового хозяйства требуют мониторинга и контроля сетей, но существующие методы имеют значительные ограничения по стоимости работы, сложности и доступности оборудования, предполагают большие затраты труда либо запретительно дороги для коммунальных предприятий. Проведенное исследование показало, что достаточно быстрое, точное, приемлемое по стоимости обследование надземных тепловых трасс может быть проведено с использованием классической технологии создания цифрового двойника – съемки с БВС, причем целесообразно комбинировать съемку в видимом спектре и ИК-спектре.

В ходе исследования было проведено обследование тепловых сетей г. Кемерово. Работы включали составление ортофотоплана путем традиционной фотосъемки с БВС для уточнения координат и конфигурации тепловых сетей, непосредственное тепловизионное обследование для выявления аномалий теплового излучения на протяженности около 130 км, создание тепловых карт по каждому пикселю изображения, привязку тепловизионных снимков и тепловых карт к конкретным маркерам в рамках геоинформационной системы. На снимках и тепловых картах идентифицированы все значимые тепловые аномалии, которые требуют немедленных или плановых ремонтов. Это позволило получить достоверную картину состояния тепловых сетей города при приемлемых затратах. Другие методы при сплошном обследовании надземных трубопроводов обошлись бы значительно дороже, а также потребовали бы намного больше времени.

Таким образом, тепловизионная съемка с БВС позволяет быстро выполнить бесконтактное обследование тепловых сетей большой протяженности в достаточно короткие сроки, на этой основе определить участки с повышенными тепловыми потерями, обследовать именно их (а не всю протяженность коммуникаций), запланировать ремонты. Однако следует отметить, что тепловизионная съемка по

физико-техническому принципу, лежащему в ее основе, не может оценить непосредственно состояние металла трубопроводов, поскольку фиксирует именно потери тепла (они могут быть вызваны, например, разрушением изоляции). Тем не менее быстрое сканирование всех надземных сетей позволяет существенно сократить затраты, поскольку последующее обследование другими методами охватывает только проблемные участки, а не всю протяженность надземных трубопроводов. Кроме того, тепловизионная съемка с БВС впервые в практике эксплуатации тепловых сетей г. Кемерово дала возможность полного обследования всех надземных теплопроводов.

## Список литературы

1. Measures of canopy structure from low-cost UAS for monitoring crop nutrient status / K. Montgomery, J.B. Henry, M.C. Vann et al. // Drones. 2020. Vol. 4. No. 3. Article no. 36. DOI: 10.3390/drones4030036.
2. Rada A.O., Kuznetsov A.D. Digital inventory of agricultural land plots in the Kemerovo Region // Foods and Raw Materials. 2022. Vol. 10. No. 2. P. 206-215. DOI: 10.21603/2308-4057-2022-2-529.
3. Advantages of unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry for landscape analysis compared with satellite data: A case study of post mining sites in Indonesia / K. Iizuka, M. Itoh, S. Shiodera et al. // Cogent Geoscience. 2018. Vol. 4. No. 1. Article no. 1498180. DOI: 10.1080/23312041.2018.1498180.
4. Li J., Zhou L., Ying B. A study on intelligent recognition method of high-voltage line faults in mountainous areas based on UAV aerial photography // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 2037. No. 1. Article no. 012100. DOI:10.1088/1742-6596/2037/1/012100.
5. Фотина Н.В., Емельяненко В.П., Воробьева Е.Е., Бузова Н.В., Остапова Е.В. Современные биологические методы восстановления и очистки нарушенных угледобычей земель в условиях Кемеровской области – Кузбасса // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 4. С. 869-882. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882.
6. Monitoring potential spontaneous combustion in a coal waste dump after reclamation through unmanned aerial vehicle RGB imagery based on alfalfa aboveground biomass / H. Ren, Y. Zhao, W. Xiao et al. // Land Degradation & Development. 2022. Vol. 33. No. 15. P. 2728-2742. DOI: 10.1002/ldr.4297.
7. Yankovskaya A., Travkov A. Bases of intelligent system construction of the pipeline technical condition diagnostics // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1145. Article no. 012009. DOI: 10.1088/1742-6596/1145/1/012009.
8. Song S.P., Ni Y.J. Ultrasound imaging of pipeline crack based on composite transducer array // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2018. Vol. 31. Article no. 81. DOI: 10.1186/s10033-018-0280-z.
9. Погодин А.К. Внутритрубная диагностика трубопроводов методом ультразвуковой панорамной толщинометрии // Энергобезопасность и энергосбережение. 2018. № 2. С. 34-37.
10. Гольшев С.Н., Донченко М.А. Диагностика состояния полимерных армированных трубопроводов с несвязанными слоями // Газовая промышленность. 2021. № 51 С. 144-147.
11. Acoustic emission leak detection on a metal pipeline buried in sandy soil / T.M. Juliano, J.N. Meegoda, F. Asce et al. // Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice. 2013. Vol. 4. No. 3. P. 149-155. DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000134.

12. Пронин В.В. Новые технологии ультразвуковой толщинометрии: от линейного сканирования до многосхемных методов цифровой фокусировки антенной решетки // *Диагностика*. 2017. № 1. С. 14-19.
13. О методах неразрушающего контроля, применяемых для диагностики трубопроводов тепловых сетей / Л.В. Поленова, Н.Б. Черновец, Н.В. Иванов и др. // В мире неразрушающего контроля. 2009. № 4. С. 25-28.
14. Zaporozhets A. System for diagnosing main pipelines of heat networks based on UAVs // *International Journal "NDT Days"*. 2019. Vol. 2. No. 1. P. 69-77.

## Original Paper

UDC 64.7:681.5 © A.O. Rada, A.D. Kuznetsov, R.E. Zverev, A.O. Akulov, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № S12, pp. 149-154  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-149-154>

## Title

## PROSPECTS FOR MONITORING THE STATE OF THERMAL NETWORKS BY THERMAL VISION SURVEY

## Authors

Rada A.O.<sup>1</sup>, Kuznetsov A.D.<sup>1</sup>, Zverev R.E.<sup>1</sup>, Akulov A.O.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

## Authors Information

**Rada A.O.**, PhD (Economic), Director of Institute of Digitalization, e-mail: [rada.ao@kemsu.ru](mailto:rada.ao@kemsu.ru)

**Kuznetsov A.D.**, Director of the Center for Computer Engineering of Institute of Digitalization, e-mail: [adkuz@inbox.ru](mailto:adkuz@inbox.ru)

**Zverev R.E.**, UAV control specialist of the Center for Computer Engineering of Institute of Digitalization, Postgraduate, e-mail: [r.zverev@i-digit.ru](mailto:r.zverev@i-digit.ru)

**Akulov A.O.**, PhD (Economic), Associate Professor of the Department of Management named in honor I.P. Povarich; e-mail: [akuanatolij@yandex.ru](mailto:akuanatolij@yandex.ru)

## Abstract

Existing methods for monitoring the pipeline economy have significant limitations in terms of complexity and cost, which makes it difficult to use them to control the state of urban heating networks. The paper considers the use of photography and thermal imaging for monitoring over ground heating networks of the city of Kemerovo. In the course of the study, a digital twin of above-ground heating networks was obtained in the visible and infrared spectra. Thermal imaging data allow identifying sections of networks with elevated temperatures corresponding to different degrees of damage to pipes and their insulation. The thermal imaging image corresponds to one pixel of the section of the heating main under consideration. As a result of the work, the owner of the heating networks was provided with complete information on temperature anomalies of pipes, indicating the exact geographical coordinates. This made it possible to plan repairs much faster and more efficiently, since there is no need for a complete inspection of pipes; only problem areas that have already been identified can be analyzed.

## Keywords

Object scanning, Thermal networks, Heat leakage, Thermal imaging, Unmanned aerial vehicle, Geographic information systems, Digital control, Software development.

## References

- Montgomery K., Henry J.B., Vann M.C., Whipker B.E., Huseth A.S. & Mitasova H. Measures of canopy structure from low-cost UAS for monitoring crop nutrient status. *Drones*, 2020, 4(3), 36. DOI: 10.3390/drones4030036.
- Rada A.O. & Kuznetsov A.D. Digital inventory of agricultural land plots in the Kemerovo Region. *Foods and Raw Materials*, 2022, 10(2), pp. 206-215. DOI: 10.21603/2308-4057-2022-2-529.
- Iizuka K., Itoh M., Shiodera S., Matsubara T., Dohar M. & Watanabe K. Advantages of unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry for landscape analysis compared with satellite data: A case study of post mining sites in Indonesia. *Cogent Geoscience*, 2018, 4(1), 1498180. DOI: 10.1080/23312041.2018.1498180.
- Li J., Zhou L. & Ying B. A study on intelligent recognition method of high-voltage line faults in mountainous areas based on UAV aerial photography. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, 2037(1), 012100. DOI: 10.1088/1742-6596/2037/1/012100.

5. Fotina N.V., Emelianenko V.P., Vorob'eva E.E., Burova N.V. & Ostapova E.V. Contemporary biological methods of mine reclamation in the Kemerovo Region – Kuzbass. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, 51(4), pp. 869-882. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882.

6. Ren H., Zhao Y., Xiao W., Yang X., Ding B. & Chen C. Monitoring potential spontaneous combustion in a coal waste dump after reclamation through unmanned aerial vehicle RGB imagery based on alfalfa aboveground biomass. *Land Degradation & Development*, 2022, 33(15), pp. 2728-2742. DOI: 10.1002/ldr.4297.

7. Yankovskaya A. & Travkov A. Bases of intelligent system construction of the pipeline technical condition diagnostics. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, (1145), 012009. DOI: 10.1088/1742-6596/1145/1/012009.

8. Song S.P. & Ni Y.J. Ultrasound imaging of pipeline crack based on composite transducer array. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2018, (31). DOI: 10.1186/s10033-018-0280-z.

9. Pogodin A.K. In-pipe diagnostics of pipelines by ultrasonic panoramic thickness measurement. *Energy Security and Energy Saving*, 2018, (2), pp. 34-37. (In Russ.).

10. Golyshev S.N. & Donchenko M.A. Diagnosis of the state of polymer reinforced pipelines with unbound layers. *Gas Industry*, 2021, (S1), pp. 144-147. (In Russ.).

11. Juliano T.M., Meegoda J.N., Asce F. & Watts D.J. Acoustic emission leak detection on a metal pipeline buried in sandy soil. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 2013, 4(3), pp. 149-155. DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000134.

12. Pronin V.V. New technologies for ultrasonic thickness measurement: from linear scanning to multi-circuit methods for digital focusing of an antenna array. *Diagnostics*, 2017, (1), pp. 14-19. (In Russ.).

13. Polenova L.V., Chernovets N.B., Ivanov N.V. & Chuiko D.E. On the methods of non-destructive testing used to diagnose pipelines of heating networks. *In The World of Non-Destructive Testing*, 2009, (4), pp. 25-28. (In Russ.).

14. Zaporozhets A. System for diagnosing main pipelines of heat networks based on UAVs. *International Journal "NDT Days"*, 2019, 2(1), pp. 69-77.

## Acknowledgements

The work was performed under agreement No. 075-15-2022-1195 dated September 30, 2022, concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University".

## For citation

Rada A.O., Kuznetsov A.D., Zverev R.E. & Akulov A.O. Prospects for monitoring the state of thermal networks by thermal vision survey. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 149-154. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-149-154.

## Paper info

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022

# Исследование рынка беспилотных летательных аппаратов для цифрового управления в угольной промышленности России\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-155-160>

Угольная промышленность – одна из перспективных сфер применения беспилотных воздушных судов (БВС), но соответствующий рынок пока очень мало исследован. Цель работы – определение состояния, перспектив российского рынка БВС для угольной промышленности на основе маркетинговых исследований. В условиях ограниченности информации о рынке БВС были использованы качественная исследовательская стратегия и экспертные оценки авторов, а также SWOT-анализ. Систематизированы и обобщены отдельные количественные данные по динамике и структуре рынка. Исследование показало, что на рынке есть конкурентоспособное предложение российских БВС, которые могут применяться в угольной промышленности. В 2016–2021 гг. рынок вырос в 1,5 раза, появилось большое число стартапов. Их конкурентная борьба определяет степень концентрации рынка, которая остается высокой. Несколько крупных компаний продают БВС на один миллиард рублей в год и более. Импортная техника постепенно вытесняется. SWOT-анализ показал, что БВС в угольной промышленности имеют большие конкурентные преимущества, но для их реализации нужно развивать нормативную базу. Наиболее перспективная стратегия развития рынка – разработка программно-аппаратных комплексов для создания цифровых двойников угольных разрезов. БВС в такой схеме будут наиболее востребованы, а конкурентоспособность угольных предприятий существенно возрастет.

**Ключевые слова:** угольная промышленность, беспилотное воздушное судно, цифровое управление, SWOT-анализ, цифровой двойник, комплексные научно-технические программы полного инновационного цикла, большие данные, себестоимость добычи, мониторинг работ.

## РАДА А.О.

Канд. экон. наук, директор Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: rada.ao@kemsu.ru

## КУЗНЕЦОВ А.Д.

Директор Центра компьютерного инжиниринга Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия  
e-mail: adkuz@inbox.ru

## ЗВЕРЕВ Р.Е.

Аспирант, специалист по управлению БПЛА Центра компьютерного инжиниринга Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: r.zverev@i-digit.ru

## САЛЬКОВА О.С.

Канд. экон. наук, доцент кафедры экономической теории и государственного управления ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: o\_salkova\_72@mail.ru

\* Работа выполнена в рамках Соглашения № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет».

**Для цитирования:** Рада А.О., Кузнецов А.Д., Зверев Р.Е. и др. Исследование рынка беспилотных летательных аппаратов для цифрового управления в угольной промышленности России // Уголь. 2022. № S12. С. 155-160. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-155-160>.

## ВВЕДЕНИЕ

Крупные компании из различных отраслей топливно-энергетического комплекса (ТЭК), такие, как угольные, нефтяные или энергетические, работают в рамках стратегии лидерства по издержкам (поскольку их продукт сложно или невозможно дифференцировать, позиционировать как премиальный) [1]. Кроме того, предприятия по добыче углеводородных топлив периодически сталкиваются с неблагоприятной ценовой конъюнктурой на мировых рынках [2]. Это требует использования современных инновационных технологий, включая цифровые решения.

В ТЭК активно формируется Индустрия 4.0, используются большие данные, искусственный интеллект, виртуальная и дополненная реальность. Это позволяет создать цифрового двойника предприятия ТЭК, его цифровую модель, позволяющую принимать оптимальные решения в режиме онлайн [3, 4]. В частности, в современной угольной промышленности стал актуальным ряд новых технологий снижения затрат, основанных на больших данных:

1. Создание 3D-моделей запасов добытого угля, вскрышных пород и отвалов для рационального управления движением горной массы и контроля производства на угольном карьере [5].

2. Геотехническое моделирование открытых горных работ, построение цифровых копий для предотвращения обвалов, обеспечения устойчивости откосов [6].

3. Контроль состояния технологических дорог для своевременного ремонта и снижения износа транспорта, а также проверка состояния технологического оборудования [7].

4. Оптимальное по критерию стоимости использование транспорта с помощью анализа потоковых данных по логистике шахты или разреза [8].

С помощью этих инструментов, как показывает практика, операционные затраты крупных угольных карьеров могут быть снижены на 30-40%. Однако построение цифровых двойников горных предприятий требует сбора огромного объема информации. Так, маркшейдерская съемка, выполняемая специалистами, даже с использованием современных тахеометров и лазерных сканеров, дает слишком мало информации для оптимального управления горными работами.

Кроме того, она требует значительных затрат на оплату квалифицированных маркшейдеров. Также существует временная лаг между проведением съемки и обработкой данных для принятия решений. Обеспечить низкие затраты, быстрое накопление информации и принятие решений в режиме онлайн можно только с помощью БВС, которые значительно дешевле традиционной авиации [9]. Еще одно преимущество БВС – возможность наблюдения в опасных зонах, где существует угроза здоровью и жизни работников.

Мировой рынок БВС в 2000-х годах быстро растет, опережая прогнозы. Так, в 2016 г. он составлял менее 7,2 млрд дол. США, а в 2021 г., уже 27,4 млрд дол. США (по предварительной оценке), хотя большинство прогнозов предполагало рост только до 10-12 млрд дол. США [10]. Если первоначально БВС применялись в основном для военных целей, то с 2010-х годов динамично развивается также гражданский сегмент.

Горная промышленность входит в число пяти отраслей с наиболее высокими темпами продвижения технологий беспилотной авиации. Потенциал БВС для управления предприятиями угольной промышленности очень велик благодаря их возможностям по сбору и передаче данных. Например, в компании «Nelson Aggregates» (Канада) построение трехмерной модели рельефа для планирования горных работ путем традиционных наземных измерений занимало 20 часов. После использования БВС затраты времени сократились до 2 часов (включая время на переработку информации и построение модели). Кроме того, снизились расходы на оплату труда [11].

Таким образом, обеспечение конкурентоспособности и снижение затрат на угольных предприятиях России в рамках Индустрии 4.0 требует широкого внедрения БВС. Для этого важны исследование трендов, структуры, особенностей рынка БВС, определение стратегических направлений его развития, особенно с учетом ограничения доступности техники вследствие санкций. Однако специальных маркетинговых исследований российского рынка БВС, в особенности отдельно для угольной промышленности пока практически не проводилось в академических публикациях. Большинство российских работ рассматривает только технические и правовые аспекты использования БВС для решения конкретных задач [12, 13, 14]. Учитывая все сказанное, цель исследования – определение состояния, перспектив российского рынка БВС для угольной промышленности на основе маркетинговых исследований.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методология исследования базируется по преимуществу на качественном подходе, поскольку количественные данные по рынку БВС для использования в угольной промышленности ограничены и не систематизированы. Первоначально на основе изучения коммерческой информации, анализа предложения на рынке был определен потенциал для использования БВС в угольной промышленности с учетом ее особенностей. Выполнен обзор характеристик иностранных и российских БВС, которые могут быть задействованы в данной отрасли.

Известные количественные данные об объеме, структуре послужили основой для разработки авторского видения развития рынка БВС, основанного на личном экспертном опыте работы по использованию беспилотной техники в угольной промышленности Кемеровской области – Кузбасса. После этого была разработана модель SWOT-анализа, позволившая выделить основные альтернативы развития рынка на среднесрочную перспективу, продемонстрировать основные тренды, которые должны учитывать поставщики и потребители.



## РЕЗУЛЬТАТЫ

Обычно в коммерческих целях используются БВС с массой от 0,25 до 30 кг (более легкие БВС предназначены для потребительских целей, а более тяжелые – для военных). С целью промышленной съемки и картографирования в России, как показывает опыт авторов, чаще всего применяются такие модели, как «Phantom 3», «Phantom 3 Pro», «Phantom 4», «Phantom 4 Pro», «Mavic Pro», стоимостью до 2000 дол. США. Следовательно, барьеры входа на анализируемом рынке достаточно низкие.

Лидером мирового рынка БВС остается китайская компания «DJI». В целом в Китае производится около 520 моделей коммерческих БВС, второе место занимает США с 320 моделями. Однако на рынке БВС для нужд угольной промышленности присутствуют также российские модели (около 75). Россия входит в топ-5 производителей БВС по числу моделей (наряду с Израилем и Францией). Целесообразно рассмотреть основные характеристики БВС, которые чаще всего используются в горнорудной, в частности, в угольной промышленности (табл. 1).

Из данных табл. 1 установлено, что в России производится широкий ассортимент БВС, соответствующий мировым аналогам по длительности, дальности и скорости

полета, а также массе. Кроме того, в России выпускается новый тип БВС, который может применяться в угольной промышленности – «Орлан-10». За счет использования двигателя внутреннего сгорания он имеет большую длительность нахождения в воздухе (более половины суток) и может управляться на расстоянии до 1000 километров от поста оператора. Однако для угольных предприятий эти рекордные характеристики могут и не быть востребованы. В целом на российском рынке имеется конкурентоспособное предложение коммерческих БВС для угольной промышленности, что благоприятствует развитию соответствующих технологий даже в условиях санкций.

В то же время российский рынок гражданских БВС в целом еще недостаточно развит, но быстро растет. По данным ассоциации «Аэронет» [15], которые коррелируют с личными экспертными оценками авторов, емкость рынка БВС составляет в 2020-2021 гг. около 250 млн дол. США (более 15 млрд рублей). Это лишь 2% от величины мирового рынка гражданских БВС (в стоимостном выражении), однако за 2016-2021 гг. наблюдался рост в 1,5 раза.

Отметим, что в сегменте военных БВС доля России значительно выше и достигает, как минимум, 15%. Следовательно, существуют компетенции и научно-технический

Таблица 1

### Основные характеристики моделей БВС, чаще всего используемых в угольной промышленности

Key features of the unmanned aerial vehicles models that are most frequently used in the coal industry

Производитель	Модель	Двигатель	Длительность полета, минут	Максимальная скорость, км/ч	Максимальная высота, м	Радиус радиоканала, км	Взлетная масса, кг
Китай, DJI	Matrice 210 RTK	Мультиротор (квадрокоптер)	32	82,8	500	7,0	6,14
	Inspire 1 Pro	Мультиротор	15	64,8	500	5,0	35,00
	Phantom 4 Pro v 2.0	Мультиротор	30	72,0	500	7,0	13,75
Китай, Yuneec	Typhoon H520	Мультиротор	30	72,0	500	1,6	18,90
Китай, 3DR	Solo	Мультиротор	25	89,0	260	8,0	18,00
Швейцария, Sense Fly	eBee X RTK/PPK	Самолетное крыло	90	110,0	2000	8,0	1,40
Израиль, Airobotics	Optimus-01	Мультиротор	30	36,0	–	–	7,50
Россия, «Беспилотные системы»	Supercam S-250	Самолетное крыло	180	120,0	3600	90,0	9,50
	Supercam X6M2	Мультиротор	60	60,0	500	7,0	6,00
Россия, «Zala Aero Group»	ZALA 421-16E	Самолетное крыло	240	110,0	3600	70	10,5
	ZALA 421-22	Мультиротор	35	30,0	1000	5,0	8,00
Россия, Геоскан	Геоскан 201 Геодезия	Самолетное крыло	180	130,0	4000	30,0	8,50
	Геоскан 401 Геодезия	Мультиротор	60	50,0	500	15,0	9,30
ООО «Специальный технологический центр»	Орлан-10	Самолет	840	150,0	5000	1000	18,00

Источник: расчеты авторов.

задел для тиражирования в сферу коммерческой беспилотной техники (тем более, что она существенно проще, к ней предъявляется меньше требований по сравнению с военной).

Количество игроков на рынке гражданских БВС авторы оценивают в 170-210 компаний. Большинство из них – это мелкие фирмы, существующие не более 3-5 лет, с менее чем 10 работниками. Они по преимуществу занимают дистрибьюцией иностранных БВС. Также существуют более крупные компании, которые производят собственные модели БВС. Около 30% фирм, работающих на этом рынке, оказывают различные услуги в использовании БВС.

В сегменте потребительских БВС, которые используются для фотосъемок, развлечений, доминируют китайские производители, в частности «DJI». Российские модели занимают только 5% рынка. Но удельный вес российских моделей на рынке коммерческих БВС в 2016-2020 гг. возрос с 20% до 40%. Следовательно, импортная техника вытесняется, на что влияет не только непосредственно валютный курс, но и рост конкурентоспособности российских БВС.

Авторами по данным финансовой отчетности 40 крупнейших участников российского рынка БВС рассчитано, что их совокупная выручка в 2021 г. составила около 20,6 млрд руб. Из этой суммы от 9 до 15 млрд руб. пришлось непосредственно на выпуск российских моделей БВС и комплектующих к ним. Лидируют на рынке три компании: ООО «Специальный технологический центр» (выручка – около 8 млрд руб.), НПО «Радар ММС» (выручка – около 6,5 млрд руб.) и группа компаний «Кронштадт» (выручка – около 2,5 млрд руб.). Однако следует учитывать, что производство БВС не является для них единственным видом деятельности. Это многопрофильные компании, которые производят изделия микроэлектроники, радиотехнику, навигационное оборудование и др.

Крупнейшими специализированными компаниями по выпуску БВС являются группа компаний «Беспилотные системы» (выручка в 2021 г. – около 700 млн руб.), «Геоскан Групп» (около 1400 млн руб.), «Zala Aero Group» (около 1100 млн руб.). Структура рынка БВС в России с исклю-

чением неспециализированных организаций представлена в *табл. 2*.

Рынок специализированных компаний по производству БВС продолжает оставаться высококонцентрированным. На долю трех крупнейших поставщиков (показатель CR3) приходится 85,4% рынка, индекс Херфиндала–Хиршмана (если не учитывать 11 мелких компаний) составляет 2661,5. Угольные предприятия, так или иначе, вынуждены обращаться к ограниченному кругу поставщиков.

Однако они обладают достаточной рыночной властью, чтобы не зависеть от своих партнеров, а специализированные поставщики БВС присутствуют практически в каждом федеральном округе России. Кроме того, в этой сфере за несколько лет появился и вышел на точку безубыточности ряд новых стартапов. Это создает благоприятные условия для продвижения беспилотных технологий в угольную промышленность.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основе анализа глобальных и локальных трендов развития беспилотной авиации, угольной промышленности авторами была разработана модель SWOT-анализа российского рынка БВС в угольной промышленности (*табл. 3*). Отметим, что пока угольная промышленность еще не стала основным пользователем БВС, они чаще применяются, например, в сельском хозяйстве. Проникновение беспилотной авиации в угольную отрасль будет зависеть от использования сильных сторон и сокращения слабостей, угроз.

Из данных *табл. 3* видно, что будущее использования БВС в угольной промышленности будет определяться развитием законодательной базы (включая возможности для страхования), а также способностью выдержать конкуренцию с другими технологиями наблюдения и дистанционного зондирования Земли. Важны также продвижение БВС в угольную промышленность и внедрение новых технологических решений, где беспилотная авиация будет продуктивной и сможет повысить производительность, снизить риски и затраты.

Наиболее перспективно, по мнению авторов, разрабатывать и внедрять систему управления горными ра-

Таблица 2

### Структура российского рынка коммерческих БВС (без учета неспециализированных компаний)

Structure of the Russian market of commercial unmanned aerial vehicles (exclusive of non-specialized companies)

Производитель, локализация	Выручка, млн руб.	Доля рынка, %
«Геоскан групп» (Санкт-Петербург, филиалы – Москва, Белгород, Сургут)	1337,6	37,6
«Zala Aero Group» (Ижевск)	1025,6	28,9
«Беспилотные системы» (Ижевск)	670,8	18,9
ООО «Аэрокон» (Московская область)	216,0	6,1
АО «Беспилотные вертолетные системы» (Москва)	105,0	3,0
ООО «ОКБ Авиарешения» (Казань)	48,2	1,4
ООО «Автономные аэрокосмические системы» (Красноярск)	38,3	1,1
ООО «Ас-Кам» (Ростов-на-Дону)	16,8	0,5
Прочие (11 специализированных компаний)	95,8	2,7
<b>Всего</b>	<b>3554,1</b>	<b>100,0</b>

Источник: расчеты авторов.

**SWOT-анализ российского рынка БВС для угольной промышленности**  
SWOT-analysis of the Russian market of unmanned aerial vehicles for the coal industry

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>Возможность снижения углеродного следа вследствие использования электродвигателей;</p> <p>Быстрый и легкий доступ на удаленные территории;</p> <p>Низкий порог входа на рынок (по сравнению с другими технологиями съемки и дистанционного зондирования);</p> <p>Наименьший уровень затрат по сравнению с другими технологиями;</p> <p>Отсутствует угроза травм и гибели людей;</p> <p>Возможность накопления и использования больших данных.</p>	<p>Нормативные ограничения (БВС не в полной мере соответствуют нормативным требованиям к средствам измерения в России);</p> <p>Сложности использования малых высот (около 100 метров) из-за сложности процедур получения разрешений;</p> <p>Технические ограничения на длительность и дальность полета;</p> <p>Высокие затраты на исследования в сфере разработки БВС;</p> <p>Отсутствует общенациональная система получения и подтверждения квалификации операторов БВС массой до 30 килограммов;</p> <p>Сложности страхования БВС и возможного ущерба от них.</p>
Возможности	Угрозы
<p>Расширение сферы применения в угольной промышленности за счет внедрения новых типов полезной нагрузки;</p> <p>Развитие новых сегментов рынка, обслуживающих угольную промышленность, например доставка запасных частей, взрывчатых веществ;</p> <p>Повышение производительности, дальности и длительности полета за счет новых инженерных решений;</p> <p>Переход к полностью автономной автоматической работе БВС;</p> <p>Внедрение технологий «рой-дронов» с управлением искусственным интеллектом.</p>	<p>Ужесточение нормативных требований к полетам БВС;</p> <p>Рост конкуренции со стороны космических спутников вследствие снижения стоимости снимков;</p> <p>Создание принципиально новых технологий постоянного сканирования поверхности Земли с низкими затратами (например, аэростаты на солнечных батареях).</p>

Источник: расчеты авторов.

ботами, включающую специализированное программное обеспечение, большую группу полностью автономных БВС, которые будут проводить съемку горных работ в высоком разрешении. В режиме реального времени будут накапливаться и обрабатываться данные о строении уступов карьера, складах угля, накоплении горной массы, движении транспорта, состоянии производственных объектов. На основании этого будут приниматься оптимальные решения об управлении работой угольного карьера. Разработка такой технологии может быть серьезным конкурентным преимуществом российской угольной промышленности.

Значительное место в развитии беспилотных технологий для угольной промышленности занимают эффект масштаба и кривая опыта, которые реализуются по мере удешевления БВС, их все более частого использования. Также будут предлагаться все более удобные для пользователя готовые решения по использованию БВС или услуги аутсорсинга. В этом случае можно говорить о переходе угольной промышленности на новый технологический уровень, соответствующий Индустрии 4.0.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обеспечения конкурентоспособности российской угольной промышленности необходим переход к модели Индустрии 4.0. Это, в свою очередь, требует использования соответствующих средств сбора информации для построения цифровых двойников, например угольных карьеров. В исследовании выполнен анализ рынка БВС

России для нужд угольной промышленности. В результате выявлено, что на национальном рынке есть конкурентоспособное предложение БВС, по основным характеристикам модели сравнимых с иностранными аналогами. При этом российские БВС постепенно вытесняют импортные. В 2016–2021 гг. объем рынка быстро возрос, появилось много стартапов, вышедших на стадию зрелости бизнеса. Несколько компаний уже продают собственных БВС на 1 млрд руб. в год и более. Таким образом, сложились выгодные условия для широкого внедрения БВС в угольную промышленность, особенно в открытую добычу угля.

Проведенный в исследовании SWOT-анализ рынка показал, что перспективы массированного применения БВС в угольной промышленности будут зависеть от развития нормативной базы, поддержания конкурентоспособности БВС по сравнению с другими технологиями наблюдения и зондирования Земли. Стратегические перспективы рынка БВС для угольной промышленности будут определяться возможностями получить эффект от масштаба и кривой опыта. Для этого наиболее рационально создавать технологические комплексы для построения цифровых двойников угольных карьеров. В них большое число БВС, управляемых без операторов, будет осуществлять постоянный мониторинг всех зон работы карьера для принятия оптимальных решений. Это позволит значительно сократить издержки угольной промышленности страны.

### Список литературы – см. References

Original Paper

UDC 662.66+65.011.56 © A.O. Rada, A.D. Kuznetsov, R.E. Zverev, O.S. Salkova, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № S12, pp. 155-160  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-155-160>

**Title****RESEARCH OF THE MARKET OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR DIGITAL CONTROL IN THE RUSSIAN COAL INDUSTRY****Authors**Rada A.O.<sup>1</sup>, Kuznetsov A.D.<sup>1</sup>, Zverev R.E.<sup>1</sup>, Salkova O.S.<sup>1</sup><sup>1</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation**Authors Information**

**Rada A.O.**, PhD (Economic), Director of Institute of Digitalization, e-mail: [rada.ao@kemsu.ru](mailto:rada.ao@kemsu.ru)

**Kuznetsov A.D.**, Director of the Center for Computer Engineering of Institute of Digitalization, e-mail: [adkuz@inbox.ru](mailto:adkuz@inbox.ru)

**Zverev R.E.**, Unmanned Aerial Vehicle Control Specialist of the Center for Computer Engineering of Institute of Digitalization, Postgraduate, e-mail: [r.zverev@i-digit.ru](mailto:r.zverev@i-digit.ru)

**Salkova O.S.**, PhD (Economic), associate Professor of the Department of Economic Theory and Public Administration, e-mail: [o\\_salkova\\_72@mail.ru](mailto:o_salkova_72@mail.ru)

**Abstract**

The coal industry is one of the promising areas for the use of unmanned aerial vehicles (UAVs), but the corresponding market has so far been very little explored. The purpose of the work is to determine the state and prospects of the Russian UAV market for the coal industry based on marketing research. In the context of limited information about the UA market, a qualitative research strategy and expert assessments of the authors, as well as a SWOT analysis, were used. Separate quantitative data on the dynamics and structure of the market are systematized and summarized. The study showed that there is a competitive offer of Russian UAVs on the market that can be used in the coal industry. In 2016-2021 the market grew by 1.5 times, a large number of startups appeared. Their competitive struggle determines the degree of market concentration, which remains high. Several large companies sell UAS for 1 billion rubles a year or more. Imported equipment is gradually being replaced. SWOT analysis has shown that UAS in the coal industry have great competitive advantages, but for their implementation it is necessary to develop the regulatory framework. The most promising market development strategy is the development of software and hardware systems for creating digital twins of coal mines. UAVs in such a scheme will be most in demand, and the competitiveness of coal enterprises will increase significantly.

**Keywords**

Coal industry, Unmanned aerial vehicle, Digital control, SWOT analysis, Digital twin, Integrated scientific and technical programs of the full innovation cycle, Big data, Production cost, Monitoring of work.

**References**

- Dach G. & Wegmann U. Strategy of a global coal company for sustainable development. *Energy & Environment*, 2021, (13), pp. 579–589.
- Setyawan D. The Impacts of the Domestic Fuel Increases on Prices of the Indonesian Economic Sectors. *Energy Procedia*, 2014, (47), pp. 47-55. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.01.195.
- Raj A., Dwivedi G., Sharma A., Sousa Jabbour A.B. & Rajak S. Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 2019, (224), 107546. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.107546.
- Ghobakhloo M. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 2020, (252), pp. 119-128. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119869.
- Yasitli N.E. & Unver B. 3D numerical modeling of longwall mining with top-coal caving. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2005, (42), pp. 219–235.

6. Song Z. Determination of inventory for mining production with a real options approach and comparison with other classic methods *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2017, (31), pp. 346-363. DOI: 10.1080/17480930.2016.1156871.

7. Mvula M., Jiskani I.M., Mvula J., Peter C., Kaunda R., Bowa V.M. & Wei Z. Smart mining through the application of unmanned aerial vehicles (UAV) and internet of things (IoT). *Proceedings of the engineering institution of Zambia "2021 symposium"*, Livingstone: The Engineering Institution of Zambia, 2021, pp. 118-129.

8. Shahmoradi J., Talebi E., Roghanchi P. & Hassanalian M. A comprehensive review of applications of drone technology in the mining industry. *Drones*, 2020, (4), 34. DOI: 10.3390/drones4030034/

9. Kovalev I.V., Voroshilova A.A. & Karaseva V.V. Analysis of the current situation and development trend of the international cargo UAV market. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, (1399), 055095. DOI 10.1088/1742-6596/1399/5/055095.

10. UAV market potential and development issues. Available at: [https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en\\_ru/topics/advisory/ey-uav-survey-eng.pdf](https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_ru/topics/advisory/ey-uav-survey-eng.pdf) (accessed 15.11.2022).

11. Koblun J. Aerial Intelligence and how it serves the aggregate industry. Available at: <https://www.rocktoroad.com/aerial-intelligence-and-how-it-serves-the-aggregate-industry/> (accessed 15.11.2022).

12. Kitonsa H. Drone technology for last-mile delivery in Russia: a tool to develop local markets. *R-Economy*, 2018, (4), pp. 51-58. DOI: 10.15826/recon.2018.4.2.008.

13. Rada A.O. & Kuznetsov A.D. Digital inventory of agricultural land plots in the Kemerovo region. *Foods and Raw Materials*, 2022, (10), pp. 206-215. DOI: 10.21603/2308-4057-2022-2-529.

14. Mizanbekova S.K., Bogomolova I.P. & Shatohina N.M. Prospects for digital and innovative technologies in management competitiveness of enterprises. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2020, (50), pp. 372-383. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2020-2-372-383.

15. Aeronext. The aviation of Future. Available at: <https://aeronext.aero/documents/otchetnost/> (accessed 15.11.2022).

**Acknowledgements**

The work was performed under agreement No. 075-15-2022-1195 dated September 30, 2022, concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kemerovo State University».

**For citation**

Rada A.O., Kuznetsov A.D., Zverev R.E. & Salkova O.S. Research of the market of unmanned aerial vehicles for digital control in the Russian coal industry. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 155-160. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-155-160.

**Paper info**

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022