

# К вопросу оценки автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-11-84-88>

## ТАРАСЕНКО И.А.

Инженер-проектировщик  
систем автоматизации и сетей связи  
ООО «ААА ИНЖИНИРИНГ +»,  
127015, г. Москва, Россия,  
e-mail: tarasenko\_k\_2020@list.ru

## КУЛИКОВА А.А.

Старший преподаватель  
НИТУ «МИСИС»,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: alexaza\_@mail.ru

## КОВАЛЕВА А.М.

Студент  
НИТУ «МИСИС»,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: asya-kovaleva2001@yandex.ru

Выполнен анализ патентного поиска по вопросам дегазации угольных шахт. Установлено, что наибольшая изобретательская активность в вопросах дегазации наблюдается в России (42%), Китае (36%), США (10%), Германии (7%). Разработка системы автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси является развивающейся отраслью. С учетом современной геополитической ситуации при разработке системы автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси стоит отдавать предпочтение отечественному производителю ввиду возникших проблем с поставками оборудования, его комплектующих и следующей из этого сложности в эксплуатации таких систем. Предлагается использовать: контроллер Granch SBTC2 совместно с контроллером «МС8» и модулем расширения «МЕ 20.2»; пропорционально-интегрально-дифференцирующее (ПИД) регулирование; интерфейс Ethernet; протокол Modbus; современные исполнительные и измерительные механизмы. В результате использования ПИД-регулирования снизятся количество и величины перерегулирований работы электродвигателей насосов вакуум-насосной станции, что обеспечит оптимальный режим работы электродвигателей и повышение качества и надежности работы электрооборудования.

**Ключевые слова:** дегазация, патентообладатели, автоматизированная система управления, контроль параметров метановоздушной смеси, пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор, электродвигатели насосов вакуум-насосных станций.

**Для цитирования:** Тарасенко И.А., Куликова А.А., Ковалева А.М. К вопросу оценки автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси // Уголь. 2022. № 11. С. 84-88. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-84-88.

## ВВЕДЕНИЕ

Метан угольных пластов имеет свойства, близкие с природным газом, в связи с чем может использоваться в качестве сырья, благодаря чему он стал самостоятельным полезным ископаемым [1, 2]. Как ресурс метан угольных пластов является важным и значительным, но уровень его освоенности на данный момент еще не достиг своего пика. По оценкам специалистов, мировые запасы метана варьируются в диапазоне 230-250 трлн куб. м. Запасы такого шахтного газа в основном сконцентрированы в следующих странах: Россия, Великобритания, США, Польша, Китай, ЮАР, Германия, Австралия, Индия.

Проведя патентные исследования по вопросам дегазации шахт путем информационного поиска, базирующегося на применении сочетания различных поисковых индексов и ключевых слов, были выявлены следующие тенденции развития автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси:

установлено, что наибольшая изобретательская активность в вопросах дегазации наблюдается в России (42%), Китае (36%), США (10%), Германии (7%) и др.;

лидеры по числу патентов в России по вопросам дегазации – Зубурдяев В.С. (33%), Рубан А.Д. (13%), Коликов К.С. (13%) и Институт проблем комплексного освоения РАН (8%) и др.;

большинство изобретений по вопросам дегазации направлено на совершенствование имеющихся и изобретение новых способов дегазации.

Разработка системы автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси является развивающейся отраслью, и особенно актуально и перспективно это направление для России, процент утилизации шахтного метана в которой ниже, чем в большинстве других развитых стран. Актуальность вопросов развития систем автоматизации как параметров метановоздушных смесей в дегазационных газопроводах, так и концентрации метана в горных выработках возрастает в условиях отработки высокогазоносных угольных пластов, опасных по внезапным выбросам, взрывам пыли, самовозгоранию, что характеризуется значительными аэрологическими рисками и требует оперативного аэрогазового контроля [3, 4, 5]. После 2016-2017 годов изобретательская активность в данном направлении начала резко расти (рис. 1). Это свидетельствует о том, что заданная область поиска активно развивается в настоящее время.

Стоит также отметить, что в современной действительности, а именно геополитической ситуации при разработке системы автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси стоит отдавать предпочтение отечественному производителю ввиду возникших проблем с поставками оборудования, его комплектующих и следующей из этого сложности в эксплуатации таких систем [6, 7, 8].

### ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Приказ Ростехнадзора № 506 устанавливает критерии для проведения дегазации (пп.437-439) [9]: дегазация обязательна, когда работами по вентиляции невозможно обеспечить содержание взрывоопасных газов (метана) в рудничной атмосфере действующих горных выработок шахты в размере до 1%; либо когда природная метаносность пласта превышает 13 м<sup>3</sup>/т с.б.м.; дегазация выработанного пространства обязательна, когда концентрация метана в газопроводах и газодренажных выработках превышает 3,5%.

Автоматизированная система контроля параметров шахтной дегазационной системы построена на иерархической структуре [10, 11], в которую входят два уровня: верхний уровень автоматизации и нижний уровень автоматизации.

Контроллер, программное обеспечение для диспетчеризации, автоматизированное рабочее место диспетчера вместе с кабелем, по которому передается информация, протоколом и интерфейсом передачи данных относятся к верхнему уровню автоматизации.

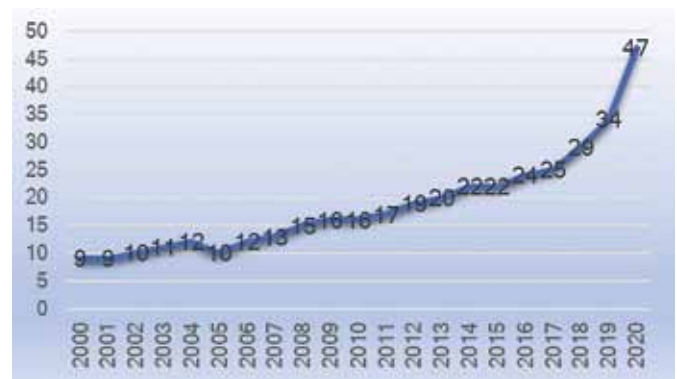


Рис. 1. Динамика патентной активности в России по вопросам дегазации за последние 20 лет

К нижнему уровню автоматизации относится все периферийное оборудование, включающее в себя датчики (датчик метана во входном трубопроводе WOELKE GMM 01.13; датчик метана в машинном зале WOELKE GMM 01.03; датчики давления МИДА-ДИ-15-Ex-064; датчики абсолютного давления МИДА-ДА-15-Ex-064; расходомеры ТИРЭС-100-Г-У2-Ф-1.6-Ex; термометры сопротивления ТСПТ 101-010-Pt100-B3-8-160), исполнительные механизмы в виде задвижек (управляемых сервоприводами), рабочие и резервные насосы (работа которых регулируется через частотные регуляторы), источники питания, барьеры искробезопасности, устройства связи и оповещения.

Система автоматизации контроля параметров метановоздушной смеси выполнена на базе контроллера «МС8» с модулем расширения «МЕ 20.2» производства компании «МЗТА», интегрированного с контроллером Granch SBTC2. Протокол передачи данных – Modbus по интерфейсу Ethernet [12].

В автоматизированной системе заложены функции расчета объема метана и газовой смеси в трубопроводе, для чего датчиками измеряются все необходимые для этого параметры (концентрации метана, оксида углерода, кислорода; давление, депрессия, температура и скорость метановоздушной смеси).

В качестве средства для создания программного обеспечения верхнего уровня используется SCADA система – «КонтарSCADA» [12] отечественного производителя – компании «МЗТА». Пользовательский интерфейс КонтарSCADA предназначен для визуализации в интуитивно-понятной форме (мнемонической схеме, отображающей всю необходимую информацию об объекте управления, контролируемых параметрах, исполнительных механизмах в режиме реального времени) параметров технологических процессов и управления ими со стороны оператора.

Если значения параметров, которые контролирует система, выходят за границы установленных интервалов, это идентифицируется как аварийное событие. Срок хранения архива событий – не менее одного года. Отчеты о работе системы формируются по команде пользователя за выбранный период (месяц или сутки) и включают в себя таблицы параметров выбранного объекта и события, зарегистрированные за выбранный период.

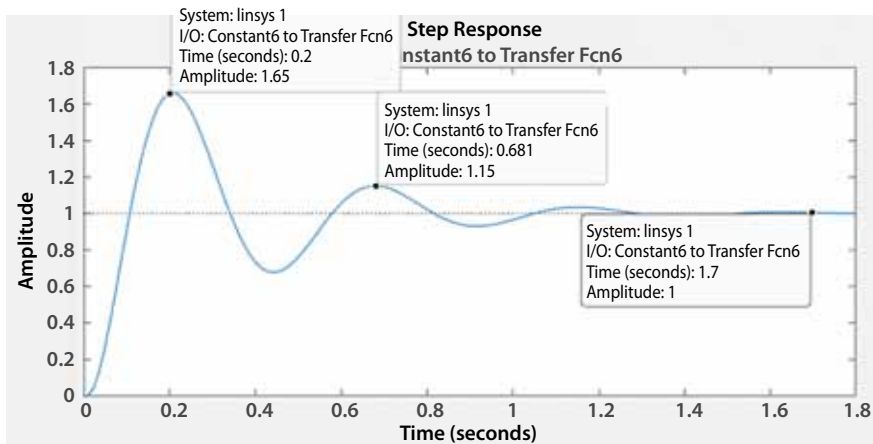


Рис. 2. Регулирование без применения метода Циглера-Никольса

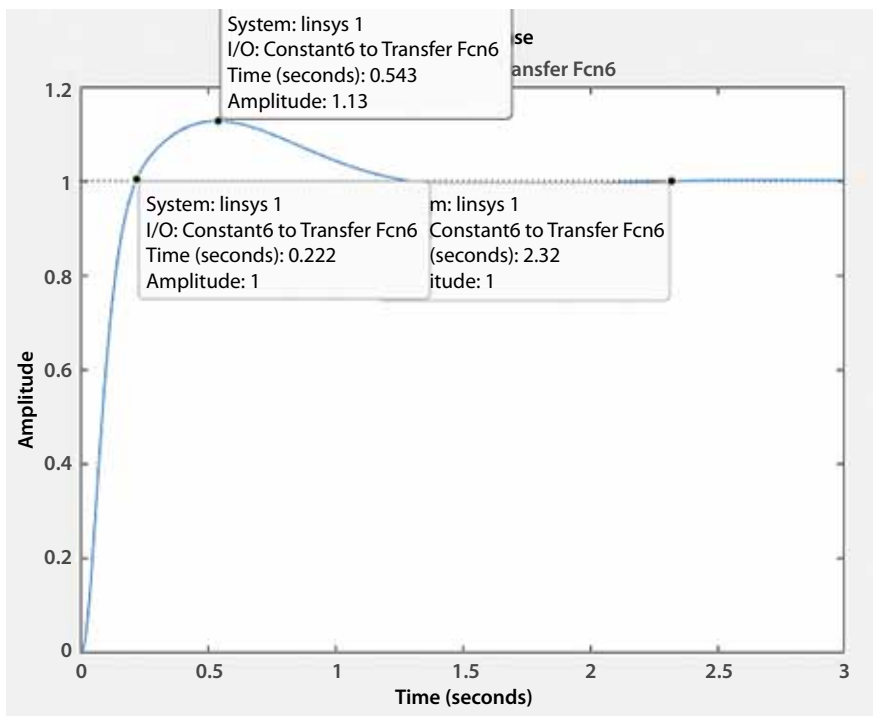


Рис. 3. Регулирование по методу Циглера-Никольса

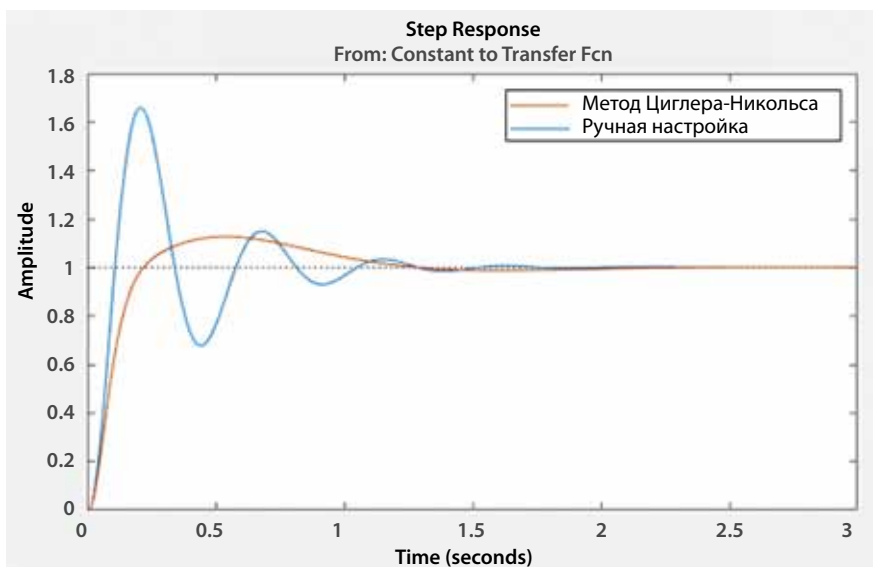


Рис. 4. Сравнение двух способов регулирования

Для оптимизации работы электродвигателей насосов вакуум-насосных станций предлагается использовать пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор – программную настройку системы автоматического управления с обратной связью для формирования управляющего сигнала, разбивая его на три коэффициента, настройка которых приводит к необходимой точности управления.

Для математического моделирования регулирования системы используется Simulink – средство имитационного математического моделирования на базе программы MATLAB [13, 14].

На рис. 2 представлен пример неудачного подбора коэффициентов ПИД-регулятора, при которых итоговая функция имеет большое количество сильных перерегулирований и большой декремент затухания.

Из рис. 3 следует, что в процессе регулирования декремент затухания значительно уменьшился, величина и количество перерегулирований уменьшились, а время регулирования незначительно увеличилось. Суммарно регулирование улучшилось в сравнении с предыдущим вариантом.

На рис. 4 можно наглядно увидеть разницу регулирования двумя способами.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для совершенствования работы автоматизированной системы контроля параметров метановоздушной смеси в дегазационных газопроводах предлагается использовать: контроллер Granch SBTC2 совместно с контроллером «МС8» и модулем расширения «МЕ 20.2»; пропорционально-интегрально-дифференцирующее (ПИД) регулирование; интерфейс Ethernet; протокол Modbus; современные исполнительные и измерительные механизмы. В результате использования ПИД-регулирования снизятся количество и величины перерегулирований работы электродвигателей насосов вакуум-насосной станции, что обеспечит оптимальный режим работы электродвигателей и повышение качества и надежности работы электрооборудования.

## Список литературы

1. Improvement of Intensive In-Seam Gas Drainage Technology at Kirova Mine in Kuznetsk Coal Basin / S. Slastunov, K. Kolikov, A. Batugin et al. // *Energies*. 2022. No 15/ 1047.
2. Cheng L., Guo H., Lin H. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 147. pp. 1193-1200.
3. Batugin A. A proposed classification of the earth's crustal areas by the level of geodynamic threat // *Geodesy and Geodynamics*. 2021. No 12(1). pp. 21-30.
4. Павленко М.В., Скопинцева О.В. О роли капиллярных сил при вибровоздействии на гидравлически обработанный газонасыщенный угольный массив // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2019. № 3. С. 43-50.
5. Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Оценка влияния повторно используемых выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021. № 2-1. С. 40-53.
6. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле / О.М. Зиновьева, Д.С. Кузнецов, А.М. Меркулова и др. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021. № 2-1. С. 113-123.
7. Леконцев Ю.М., Ушаков С.Ю., Мезенцев Ю.Б. Пути повышения эффективности дегазации угольных пластов // *Уголь*. 2020. № 4. С. 26-28. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-4-26-28.
8. Проблемы отработки газоносных и опасных по внезапным выбросам угольных пластов с низкой проницаемостью в Карагандинском угольном бассейне / С.К. Баймухаметов, А.Ж. Имашев, Ф.А. Муллагалиев и др. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021. № 10-1. С. 124-136.
9. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 506 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт».
10. Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Куликова Е.Ю. Иерархическая структура аэрологических рисков в угольных шахтах // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2022. Т. 14. № 2. С. 276-285.
11. Захаров В.Н., Кубрин С.С. Автоматизация процессов дегазации и утилизации метана при отработке метаноносных угольных пластов // *Уголь*. 2010. № 7. С. 28-30. URL: <http://www.ugolino.ru/Free/07010.pdf> (дата обращения: 15.10.2022).
12. Программно-технический комплекс «КОНТАР». Справочник инженера. М.: ОАО «Московский завод тепловой автоматики», 2017. 104 с.
13. Пути повышения энергетической эффективности подземных электрических сетей высокопроизводительных угольных шахт / С.С. Кубрин, А.А. Мосиевский, И.М. Загоршменный и др. // *Уголь*. 2022. № 2. С. 4-9. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-4-9.
14. Имитационное моделирование режимов работы оборудования комплексно-механизированного забоя угольной шахты / С.С. Кубрин, С.Н. Решетняк, И.М. Загоршменный и др. // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2022. Т.14. № 2. С. 286-294.

Original Paper

UDC 622.83.35:622.41.1.33 © I.A. Tarasenko, A.A. Kulikova, A.M. Kovaleva, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 11, pp. 84-88  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-11-84-88>

## Title

ON THE ISSUE OF ASSESSING THE AUTOMATION OF CONTROL OF THE PARAMETERS OF THE METHANE-AIR MIXTURE

## Authors

Tarasenko I.A.<sup>1</sup>, Kulikova A.A.<sup>2</sup>, Kovaleva A.M.<sup>2</sup><sup>1</sup> AAA ENGINEERING + LLC, Moscow, 127015, Russian Federation<sup>2</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

## Authors Information

Tarasenko I.A., Engineer-designer of automation systems and communication networks, e-mail: tarasenko\_k\_2020@list.ru

Kulikova A.A., Senior Lecturer, e-mail: alexaza\_@mail.ru;

Kovaleva A.M., Student, e-mail: asya-kovaleva2001@yandex.ru

## Abstract

The analysis of the patent search on the issues of degassing of coal mines has been carried out. It has been established that the greatest inventive activity in matters of degassing is observed in Russia (42%), China (36%), USA (10%), Germany (7%). The development of an automation system for monitoring the parameters of the methane-air mixture is a growing industry. Taking into account the current geopolitical situation, when developing a system for automating the control of methane-air mixture parameters, it is worth giving preference to a domestic manufacturer in view of the problems that have arisen with the supply of equipment, its components and the resulting difficulty in operating such systems. It is proposed to use: Controller Granch SBTC2 together with the controller «MC8» and the expansion module «ME 20.2»; proportional-integral-differentiating (PID) regulation; Ethernet interface; Modbus protocol; modern actuating and measuring mechanisms. As a result of the use of PID control, the number and magnitude of overshoots of the operation of the electric motors of the pumps of the vacuum pumping station will decrease, which will ensure

the optimal operation of the electric motors and improve the quality and reliability of the electrical equipment.

## Keywords

Degassing, Patent holders, Automated control system, Control of methane-air mixture parameters, Proportional-integral-differentiating regulator, Electric motors of pumps of vacuum pumping stations.

## References

1. Slastunov S., Kolikov K., Batugin A., Sadov A. & Khautiev A. Improvement of Intensive In-Seam Gas Drainage Technology at Kirova Mine in Kuznetsk Coal Basin. *Energies*, 2022, (15), 1047.
2. Cheng L., Guo H. & Lin H. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling. *Process Safety and Environmental Protection*, 2021, (147), pp. 1193-1200.
3. Batugin A. A proposed classification of the earth's crustal areas by the level of geodynamic threat. *Geodesy and Geodynamics*, 2021, (12), pp. 21-30.
4. Pavlenko M.V. & Skopintseva O.V. Role of capillary forces in vibratory action on hydraulically treated gas-saturated coal. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2019, (3), pp. 43-50. (In Russ.).
5. Balovtsev S.V. & Skopintseva O.V. Assessment of the influence of returned mines on aerological risks at coal mines. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2021, (2-1), pp. 40-53. (In Russ.).

SAFETY

6. Zinovieva O.M., Kuznetsov D.S., Merkulova A.M. & Smirnova N.A. Digitalization of industrial safety management systems in mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2021, (2–1), pp. 113–123. (In Russ.).
7. Lekontsev Yu.M., Ushakov S.Yu. & Mezentsev Yu.B. Ways to increase the efficiency of coal seam degassing. *Ugol*, 2020, (4), pp. 26–28. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-4-26-28.
8. Baymukhametov S.K., Imashev A.Zh., Mullagaliev F.A., Mullagalieva L.F. & Kolikov K.S. Low-permeable gas-bearing and outburst-hazardous coal seam mining in the Karaganda Coal Basin. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten*, 2021, (10–1), pp. 124–136. (In Russ.).
9. Order of Rostekhnadzor dated 08.12.2020. № 506 «On Approval of the Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety «Instruction on the aerological safety of coal mines». (In Russ.).
10. Balovtsev S.V., Skopintseva O.V. & Kulikova E.Yu. Hierarchical structure of aerological risks in coal mines. *Ustojchivoe razvitie gornykh territorij*, 2022, (14), pp. 276–285. (In Russ.).
11. Zakharov V.N. & Kubrin S.S. Automation of the processes of degassing and utilization of methane in the development of methane-bearing coal seams. *Ugol*, 2010, (7), pp. 28–30. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/07010.pdf> (accessed 15.10.2022). (In Russ.).

12. Software and hardware complex “KONTAR”. Engineer’s Handbook. Moscow, “Moscow Plant of Thermal Automatics” JSC, 2017, 104 p. (In Russ.).
13. Kubrin S.S., Mosievsky A.A., Zakorshmeny I.M., Reshetnyak S.N. & Maksimenko Yu.M. Ways to improve the energy efficiency of underground electric networks of high-performance coal mines. *Ugol*, 2022, (2), pp. 4–9. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-4-9.
14. Kubrin S.S., Reshetnyak S.N., Zakorshmeny I.M. & Karpenko S.M. Simulation modeling of equipment operating modes of complex mechanized coal mine face. *Ustojchivoe razvitie gornykh territorij*, 2022, (14), pp. 286–294. (In Russ.).

**For citation**

Tarasenko I.A., Kulikova A.A. & Kovaleva A.M. On the issue of assessing the automation of control of the parameters of the methane-air mixture. *Ugol*, 2022, (11), pp. 84–88. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-84-88.

**Paper info**

Received September 20, 2022

Reviewed September 30, 2022

Accepted October 26, 2022

Оригинальная статья

УДК 622.882.852 © О.С. Сафронова, Е.В. Маркова, Н.А. Остапова, И.Н. Евсеева, Е.А. Моршнева, 2022

# Некоторые особенности роста и развития *Psathyrostachys juncea (Fisch.) Nevski* на переуплотненных отвалах автомобильной отсыпки в сухостепной зоне Хакасии

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-11-88-91>

**САФРОНОВА О.С.**

Младший научный сотрудник  
ФГБНУ «НИИАП Хакасии»,  
655132, с. Зеленое, Республика Хакасия, Россия,  
e-mail: olya\_egoshina@mail.ru

**МАРКОВА Е.В.**

Главный эколог  
ООО «СУЭК-Хакасия»  
655162, г. Черногорск, Россия

**ОСТАПОВА Н.А.**

Канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
ФГБНУ «НИИАП Хакасии»,  
655132, с. Зеленое, Республика Хакасия, Россия,  
e-mail: niterlin@yandex.ru

В статье представлены результаты по продуктивности, проективному покрытию, высоте травостоя и вертикального распределения *Psathyrostachys juncea (Fisch.) Nevski* в 2 агрофитоценозах, созданных на переуплотненных отвалах автомобильной отсыпки на разрезе «Черногорский». Делается вывод о целесообразности использования *Psathyrostachys juncea (Fisch.) Nevski* для биологической рекультивации вскрышных отвалов.

**Ключевые слова:** биологическая рекультивация, переуплотненные отвалы автомобильной отсыпки, *Psathyrostachys juncea (Fisch.) Nevski*, продуктивность, проективное покрытие, вертикальная структура, Республика Хакасия.

**Для цитирования:** Некоторые особенности роста и развития *Psathyrostachys juncea (Fisch.) Nevski* на переуплотненных отвалах автомобильной отсыпки в сухостепной зоне Хакасии / О.С. Сафронова, Е.В. Маркова, Н.А. Остапова и др. // Уголь. 2022. № 11. С. 88–91. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-88-91.