

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

И.А. Архипов

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва

Аннотация: В исследовании представлены данные по метану как одному из самых опасных парниковых газов. Приведен анализ роли метана угольных пластов в воздействии на атмосферу Земли; исходя из опыта снижения НВОС метана угольных пластов предположены основные шаги, которые обеспечат развитие данной отрасли; выполнен комплексный анализ способов по обеспечению метанобезопасности. Методология научных исследований заключается в анализе и систематизации основных научных трудов в области снижения негативного воздействия метана на окружающую среду и анализ основных характеристик технологий по извлечению метана угольных пластов. В результате определен комплекс мероприятий по снижению НВОС метана угольных пластов и выполнен анализ различных технологий по его извлечению из угольных пластов; выявлены и проанализированы основные характеристики технологий по извлечению метана угольных пластов, влияющие на эффективность снижения НВОС, экономическую эффективность, а также на обеспечение метанобезопасности. При подробном изучении результатов выявлены основные положительные и отрицательные стороны различных способов по снижению НВОС шахтного метана; с учетом основных закономерностей газового баланса определены тенденции способов управления газовой выделением, а также выявлена высокая эффективность снижения НВОС шахтного метана при разработке комплексного решения по его извлечению. Определены мероприятия в области повышения эффективности дегазации угольных пластов как технологии, оказывающей положительное воздействие на все критерии эффективности; обосновано комплексное использование различных технологий в области обеспечения метанобезопасности.

Ключевые слова: метанобезопасность, шахтный метан, угольный пласт, дегазация, защита окружающей среды, экономическая эффективность, безопасность горных работ, каптаж метана, концентрация метана, технологии добычи шахтного метана.

Для цитирования: Архипов И.А. Анализ технологий извлечения метана угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 204–211. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-204-211.

Analysis of coal bed methane recovery technologies

I.A. Arhipov

National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia

Abstract: The study presents data on methane, as one of the most dangerous greenhouse gases. An analysis of the role of coal bed methane in the impact on the Earth 's atmosphere is provided; Based on the experience of reducing coal bed methane, the main steps that will ensure the development of this industry are assumed; Comprehensive analysis of methods to ensure

methane safety has been carried out. The methodology of scientific research is to analyse and systematize the main scientific papers in the field of reducing the negative impact of methane on the environment and to analyze the main characteristics of coal bed methane recovery technologies. As a result, a set of measures has been defined to reduce the NROS of coal bed methane and various technologies for its extraction from coal beds have been analysed; The main characteristics of coal bed methane recovery technologies are identified and analyzed, affecting the efficiency of reduction of NROS, economic efficiency, as well as methane safety. In the detailed examination of the results, the main positive and negative aspects of various ways to reduce the NROS of coal mine methane were identified; Taking into account the main regularities of gas balance, the trends of methods of gas release control are determined, as well as the high efficiency of reduction of NROS of mine methane during development of a complex solution for its extraction is revealed. Finally, activities have been identified to improve the efficiency of coal bed degassing as technologies that have a positive impact on all performance criteria; The integrated use of various methane safety technologies is justified.

Key words: methane safety, mine methane, coal bed, degassing, environmental protection, economic efficiency, mine safety, methane capture, methane concentration, mine methane production technologies.

For citation: Arhipov I.A. Analysis of coal bed methane recovery technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6-1):204-211. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-204-211.

Введение

В последнее время угольная промышленность сохраняет свое значение как источника топлива для производства электроэнергии. Так, угольная электроэнергетика в США может увеличиться до 40–56 % в 2050 г [1]. Следует отметить существенное удорожание горной техники, что увеличивает ощутимость последствий в случае допущения ошибок.

По некоторым оценкам запасы шахтного метана в СНГ сопоставимы с запасами природного газа, а их общее количество предположительно достигает 50–80 трлн м³ [2]. Газоносность угольных пластов колеблется в следующих значениях: длиннопламенные и газовые – 8–15 м³/т; коксующиеся и жирные – 16–28 м³/т; тощие и антрациты – 20–25 м³/т [3].

Научная составляющая проблемы заключается в исследовании газодинамических процессов в углеродном массиве и изучении его физических и химических характеристик, а также

в разработке технологий и технических средств управлением метановыделением и способов использования метана.

Из-за усложняющихся условий проветривания газовых шахт [4] производственные добывающие комплексы, которые могут обеспечить 50000 т/сут при метанообильности до 30 м³/т, дают только 1600–2100 т/сут. Современные разработки в области снижения содержания газа в угольном пласте позволяют удалить не более 30–50 % метана [3].

Согласно МТЭА метан занимает третье место среди парниковых газов, уступая только углекислому газу и парам воды. Уже сейчас требуется сократить выбросы метана на 15 % [5].

Его радиационный эффект в 11 раз больше, чем у углекислого газа, а общая эффективность больше в 22 раза. Он оказывает разрушительное воздействие на озоновый слой. Вклад в глобальное потепление оценивается в 18 % [3].

Средняя концентрация метана до наступления индустриальной эпохи была 0,65–0,7 млн⁻¹, после она достигла 1,72 млн⁻¹. Этот показатель ежегодно растет на 1 %, в то время как для углекислого газа это значение составляет 0,4–0,5 %, для окислов азота 0,2 %, а для фторхлоруглеродов – 4–5 %.

Период существования метана – около 11 лет, углекислого газа – 20 лет, закиси азота – 130 лет. А значит, снизив эмиссию в атмосферу именно этого газа, мы добьемся наибольших успехов в короткие сроки [3].

Снижение выбросов метана на 10–20 % уменьшит глобальное потепление на 1°C за столетие, это 25 % от общего уровня потепления.

Естественная эмиссия метана (болота, термиты и пр.) – 175 млн т/г. Антропогенное выделение – 385 млн т/г, от угольных систем – 35 млн т/г [3].

В атмосфере поглощается 530 млн т метана в год, а ежегодный прирост – 30 млн т.

Основное количество поступлений метана в атмосферу приходится на КНР, США и Россию [1, 2, 6, 7].

Распределение эмиссии метана в угольной системе следующее: подземная добыча угля – 20–28 млн т (70–85 %); открытые горные работы и транспортировка – 3–8 млн т (10–20 %); сжигание угля – 1–4 млн т (5–10 %) [3].

Метан является источником высококачественного топлива и сырья для химической промышленности.

В России работы по утилизации и использованию шахтного метана ведутся с 60-х годов прошлого века. За это время ученые разработали множество различных способов по утилизации этого газа. Но результаты теоретических изысканий практически не применяются непосредственно на шахтах. Во многом это связано

с незаинтересованностью в решении данных вопросов владельцев шахт и других ответственных сторон, что косвенно ведет и к нарушениям безопасности. За последние годы наблюдалось более 20 взрывов метана с количеством жертв более 300 человек [8].

Это актуализирует проведение исследований способов обеспечения метанобезопасности шахтного метана, исходя не только из обеспечения безопасных условий труда, но и учитывая оценку снижения негативного воздействия на окружающую среду (далее НВОС), а также экономическую эффективность. Именно данный анализ и представлен в этой статье.

Методология научных исследований

Проанализированы наиболее заметные научные публикации и работы в области снижения НВОС шахтного метана, а также работы в других смежных областях. Каждая рассматриваемая технология была оценена исходя из ее показателей по основным критериям эффективности, в области снижения НВОС, экономического эффекта и обеспечения безопасности ведения горных работ.

Были изучены основные характеристики угольных пластов и горных работ, наиболее полно определяющие эффективность технологий по заданным областям [3]. Опираясь на них, была проведена качественная оценка эффективности технологий.

Результаты

В основе разработки комплекса мероприятий по снижению НВОС шахтного метана, лежит его извлечение из угольного пласта. Хотя имеются и некоторые исключения. Среди них, например, биологическое взаимодействие метана со спорами, которые способствуют его удалению из пласта [9], и новые средства вентиляции [10].

Следует отметить, что необходимость параллельного решения вопросов обеспечения метанобезопасности и утилизации шахтного метана приводит к повышению роли способов дегазации.

Технологии извлечения метана разделены на четыре категории, дающие доступ к следующим видам этого газа: вентиляционный метан, метан действующих шахт, метан закрытых угольных шахт и метан из неразгруженных угольных пластов [11]. После извлечения метана он подготавливается, чаще всего, с целью доведения его концентрации до нормативных значений. После он утилизируется, на этом этапе появляется возможность получения экономического эффекта. Этот комплекс мероприятий представлен на рис. 1.

Далее технологии извлечения метана угольных пластов необходимо проанализировать по их основным характеристикам: объем их утилизации, что влияет на снижение НВОС; необходимость обработки, что кос-

венно повышает себестоимость извлечения метана; амплитуда колебаний концентрации добываемого метана, что также может привести к повышению расходов; извлекаемость газа, косвенно влияющая на повышение затрат на обеспечение метанобезопасности [3]. Результаты представлены в табл. 1.

Обсуждение результатов

На рис. 1 видно, что метан угольных пластов доставляется на поверхность следующими основными способами: дегазацией угольного пласта и вентиляцией горной выработки. С помощью дегазации извлекаются метан действующих шахт, метан закрытых шахт и метан неразгруженных пластов. С помощью вентиляции горных выработок на поверхность доставляется вентиляционный метан.

Качественные характеристики технологий представлены в табл. 1. Важно обратить внимание, что метан всех типов, кроме метана неразгруженных пластов, требует дополнительной подготовки,

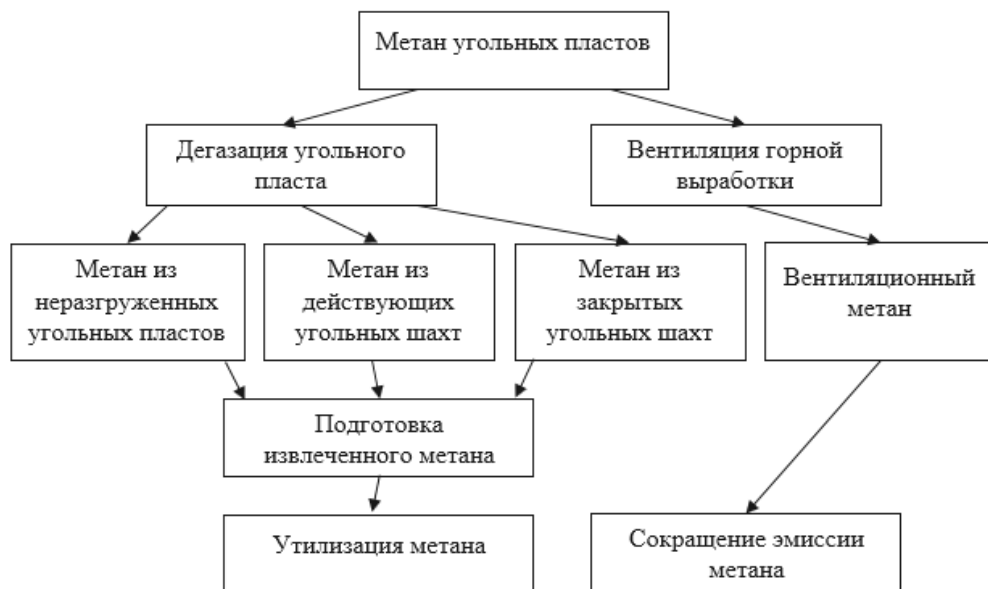


Рис. 1. Схема технологических процессов по извлечению шахтного метана и его утилизации [12]

Fig. 1. Scheme of technological processes for extraction of mine methane and its utilization [12]

Таблица 1

Основные характеристики технологий извлечения шахтного метана
Main characteristics of mine methane extraction technologies

Основные характеристики	Технологии извлечения метана угольных пластов			
	Метан неразгруженных угольных пластов	Метан действующих угольных шахт	Метан закрытых угольных шахт	Вентиляционный метан
Концентрация извлекаемого метана, %	>95	25 – 90	60 – 80	<1
Амплитуда колебаний извлекаемого метана, %	0 – 5	65	20	0 – 1
Извлекаемость метана, %	15 – 60	15 – 80	30 – 70	30 – 70

в первую очередь требуется повышение концентрации или удаление азота. Эта необходимость возникает в результате технических требований технологических решений использования метана к его концентрации [1]. Следует отметить, что в случае взрывоопасных значений концентрации метана (5–15 %), он может быть флегматизирован [13, 14].

Не менее существенно, что вентиляционный метан содержит крайне малое количество газа и утилизации не подлежит. Хотя в Германии и Австралии уже разработаны технологии по его утилизации, но они все ещё находятся на стадии испытаний [1].

Метан неразгруженных пластов можно считать чистым природным газом (порядка 90 % концентрации). И он не требует повышения концентрации и соответствует всем техническим требованиям, предъявляемым к его компонентному составу.

Таким образом, метан неразгруженных угольных пластов утилизируется без очистки, а метан разрабатываемых пластов и метан закрытых шахт — после повышения концентрации. Из табл. 1 видно, что наиболее чистый метан можно получить, проводя дегаза-

цию неразгруженных угольных пластов, это обеспечивается заблаговременной дегазацией [15]. При этом метан, капируемый с помощью заблаговременной дегазации, предельно чистый, а следовательно, не требует очистки. Чего не скажешь о метане закрытых угольных шахт, хотя он существенно превосходит по концентрации и компонентному составу метан действующих шахт, который извлекается предварительной и текущей дегазацией.

Вентиляция остается важнейшей составляющей по обеспечению метанобезопасности, поскольку на данный момент дегазация не дает доступа ко всему имеющемуся в пласте метану.

Следует отметить важность амплитуды колебаний концентрации извлекаемого газа. Чем она больше, тем сложнее метан утилизировать, а периодические скачки дебита метана приводят к выбросу его в окружающую среду, поскольку дегазационная установка не может утилизировать количество метана выше определенных значений [1]. Наиболее сложно повышать концентрацию метана действующих шахт. Поскольку метан неразгруженных угольных пластов считается практически чистым, то и значение

амплитуды колебаний его концентрации минимально.

Заключение

Исходя из полученных результатов следует отметить, что без полного комплекса обеспечения метанобезопасности невозможно добиться положительных результатов. Вентиляция должна быть неотрывно связана с дегазацией для повышения эффективности добычи угля. При этом, обеспечение защиты окружающей среды возможно только при выполнении комплекса процессов по извлечению газа и его утилизации, что далеко не всегда выполняется. Как правило, это является следствием недостаточного экономического стимулирования, и метан либо сжигается, либо выбрасывается в атмосферу.

Как видно из табл. 1, большинство технологий извлекают МВС, и только заблаговременная дегазация дает доступ к чистому метану [15, 16]. Для использования шахтного метана необ-

ходимы затраты на подготовку метана. В то время, как газ неразгруженных пластов этого процесса не требует.

Шахтный метан является одним из парниковых газов, вносящих самый существенный вклад в негативное воздействие на окружающую среду. Только комплексное решение вопросов по снижению этого воздействия может оказать эффект в 15 %, что достаточно для достижения цели, поставленной международным сообществом [3].

Большинство технологий неспособны учесть интересы всех заинтересованных сторон, кроме технологии добычи метана из неразгруженных пластов, а часть существующих и используемых методов негативно влияет на трудоемкость рабочих процессов при проведении работ по добыче угля. Важно отметить и экономическую перспективность добычи метана неразгруженных пластов, чистый метан не требует предварительной обработки для его утилизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах // Серия публикаций ЕЭК по энергетике. — 2016. № 47. — Организация Объединенных Наций Нью-Йорк и Женева. — 134 с.

2. Семькин Ю. А. Повышение безопасности добычи угля на основе интенсификации газовыделения из пластовых скважин и совершенствования метода прогноза газобильности очистного забоя: Дис. канд. техн. наук. — М.: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2016. — 148 с.

3. Пучков Л. А., Сластунов С. В., Коликов К. С. Извлечение метана из угольных пластов. — М.: Издательство Московского государственного горного университета. — 2002. — 383 с.

4. Баловцев С. В., Скопинцева О. В., Коликов К. С. Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–6–0–85–94.

5. Рамочная конвенция организации объединенных наций об изменении климата. Ратифицирована Организацией Объединенных Наций 9 мая 1992 года в Нью-Йорке. https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml.

6. Scot M., Anna M., Robert G., Otto P., Lori M., & Stefan S. China's coal mine methane regulations have not curbed growing emissions // 2019. — Doi: 10.1038/s41467-018-07891-7.

7. Steven K. Projected Methane Emissions from Abandoned Coal Mines in the UK // IMC White Young Green Environmental. – 2002. – REPORT/E005832/SK/DATE/Final/V1.
8. Архипов И.А., Филин А.Э. Анализ состояния аварийности на угольных предприятиях России. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 1. – С. 208–215. DOI: 10.25018/0236–1493–2019–01–0-208–215.
9. Limbri H., Gunawan C., Thomas T., Smith A., Scott J. et al. Coal-Packed Methane Biofilter for Mitigation of Green House Gas Emissions from Coal Mine Ventilation Air // 2014. – PLoS ONE 9(4): e94641. doi: 10.1371/journal.pone.0094641.
10. Peter H., Ian M. and Martin R. COMETTM – A New Ventilation Air Methane (VAM) Abatement Technology // Johnson Matthey Technol. Rev. – 2016. no. 60 (3). – 211–221 pp. DOI: 10.1595/205651316X692059.
11. Wang G., Liu Z., Hu Y., Fan C., Wang W. and Li J. Influence of gas migration on permeability of soft coalbed methane reservoirs under true triaxial stress conditions // R Soc Open Sci. 2010, Oct 2;6(10):190892. doi: 10.1098/rsos.190892.
12. Ножкин Н. В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений // М.: Недра / 1979. – 271 с.
13. Stierstorfer J., Wurzenberger M. H. H., Lommel M., Gruhne M. S., Szimhardt N. Refinement of Copper (II) Azide with 1-Alkyl-5H-Tetrazoles: Adaptable Energetic Complexes // WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2020. DOI: 10.1002/anie.202002823.
14. Азатян В.В., Тимербулатов Т.Р., Шатиоров С.В. Эффективные химические методы управления горением, взрывом и детонацией газов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2012. – № 2. С. 27–37.
15. Инструкция по дегазации угольных шахт // М.: Закрытое акционерное общество «Научнотехнический центр исследований проблем промышленной безопасности». – 2015. №5 (22). – 250 с.
16. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Zakharova A.A., Mazanik E.V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. Solid Fuel Chemistry. 2015. T. 49. no. 6. pp. 381–386. **MIAB**

REFERENCES

1. Guidance on best practices for effective degassing of methane sources and methane utilization in coal mines. *Seriya publikacij EEK po energetike*. 2016. no. 47. Organizaciya Ob'edinennyh Nacij N'yu-Jork i Zheneva. 134 p. [In Russ]
2. Semykin Yu. A. *Povyshenie bezopasnosti dobychi uglja na osnove intensivifikacii gazovydeleniya iz plastovyh skvazhin i sovershenstvovaniya metoda progno za gazoobil'nosti ochistnogo zaboya* [Improving the safety of coal mining based on the intensification of gas evolution from reservoir wells and the improvement of the method for predicting the gas abundance of the working face]: Dis. kand. tekhn. nauk. Moscow: Nacional'nyj issledovatel'skij tekhnologicheskij universitet «MISiS», 2016. 148 s. [In Russ]
3. Puchkov L. A., Slastunov S. V., Kolikov K. S. *Iz vlechenie metana iz ugol'nyh plastov* [Coal Bed Methane Extraction]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. 2002. 383 p. [In Russ]
4. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kolikov K. S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 6. S. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94. [In Russ]
5. Framework Convention on Climate Change, UN FCCC, New York, 1992. https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml. [In Russ]
6. Scot M., Anna M., Robert G., Otto P., Lori M., & Stefan S. China's coal mine methane regulations have not curbed growing emissions. 2019. Doi: 10.1038/s41467-018-07891-7.

7. Steven K. Projected Methane Emissions from Abandoned Coal Mines in the UK. IMC White Young Green Environmental. 2002. REPORT/E005832/SK/DATE/Final/V1.

8. Arhipov I.A., Filin A.E. Accident rate analysis in coal mines in Russia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019. no. 1. pp. 208–215. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-208-215. [In Russ]

9. Limbri H., Gunawan C., Thomas T., Smith A., Scott J. et al. Coal-Packed Methane Biofilter for Mitigation of Green House Gas Emissions from Coal Mine Ventilation Air. 2014. PLoS ONE 9(4): e94641. doi: 10.1371/journal.pone.0094641.

10. Peter H., Ian M. and Martin R. COMETTM A New Ventilation Air Methane (VAM) Abatement Technology. *Johnson Matthey Technol. Rev.* 2016. no. 60 (3). 211–221 pp. DOI: 10.1595/205651316X692059.

11. Wang G., Liu Z., Hu Y., Fan C., Wang W. and Li J. Influence of gas migration on permeability of soft coalbed methane reservoirs under true triaxial stress conditions. *R Soc Open Sci.* 2019 Oct 2;6(10):190892. doi: 10.1098/rsos.190892.

12. Nozhkin N. V. *Zablagovremennaya degazaciya ugol'nyh mestorozhdenij* [Early degassing of coal deposits]. Moscow: Nedra. 1979. 271 p. [In Russ]

13. Stierstorfer J., Wurzenberger M. H. H., Lommel M., Gruhne M. S., Szimhardt N. Refinement of Copper (II) Azide with 1-Alkyl-5H-Tetrazoles: Adaptable Energetic Complexes. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2020. DOI: 10.1002/anie.202002823.

14. Azatyan V.V., Timerbulatov T.R., Shatirov S.V. Effective chemical methods for controlling combustion, explosion, and gas detonation. *Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti.* 2012. no. 2. pp. 27–37. [In Russ]

15. Instrukciya po degazacii ugol'nyh shaht. Moscow: Zakrytoe akcionerno e obshchestvo «Nauchno-tehnicheskij centr issledovaniy problem promyshlennoj bezopasnosti». 2015. no. 5 (22). 250 p. [In Russ]

16. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Zakharova A.A., Mazanik E.V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. *Solid Fuel Chemistry.* 2015. T. 49. no. 6. pp. 381 – 386.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Архипов Игорь Александрович – аспирант по направлению Науки о Земле, e-mail: condr-95@mail.ru, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский пр., 4, Москва, 119049.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Arhipov I.A., graduate student in the field of Earth Science, e-mail: condr-95@mail.ru, National university of science and technology «MISIS», Russia.

Получена редакцией 11.03.2020; получена после рецензии 14.04.2020; принята к печати 20.05.2020.

Received by the editors 11.03.2020; received after the review 14.04.2020; accepted for printing 20.05.2020.

