

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.49.88.006

УДК 551.583; 662.764; 504.054

© О. В. Тайлаков, А. В. Чернецкая, А. А. Тайлаков, Д. С. Михалев, А. В. Черкасов, 2023

**О. В. ТАЙЛАКОВ**

д-р техн. наук, проф.,  
генеральный директор  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
главный научный сотрудник,  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: oleg2579@gmail.com

**А. В. ЧЕРНЕЦКАЯ**

ведущий инженер  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: chernetskaya.nastasya@mail.ru

**А. А. ТАЙЛАКОВ**

инженер  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: Aleksandr.tailakov@mail.ru

**Д. С. МИХАЛЕВ**

лаборант  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: mikhalev@mail.ru

**А. В. ЧЕРКАСОВ**

лаборант  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: alexandr.cherkasov1997@gmail.com

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ МЕТАНА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ

*Рассмотрено применение цифровых технологий для количественного учета выбросов парниковых газов как одно из направлений снижения углеродного следа угольной отрасли, включающего мониторинг выбросов парниковых газов. Приводятся примеры известных программных комплексов для оценки выбросов парниковых газов. Обсуждается программная реализация цифровой платформы мониторинга фугитивных выбросов парниковых газов и их сокращений при использовании чистых угольных технологий, основанная на применении современных клиент-серверных решений. Дано описание Python-кода расчетного модуля выбросов метана и углекислого газа при добыче угля подземным способом в качестве примера разработанного программного обеспечения цифровой платформы.*

Ключевые слова: МЕТАН, УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ, ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ, УГЛЕДОБЫЧА, ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, РАСЧЕТНЫЙ МОДУЛЬ, КЛИЕНТ-СЕРВЕР, ШАХТА, РАЗРЕЗ.

Одним из направлений снижения углеродного следа угольной промышленности является мониторинг выбросов парниковых газов на основе применения цифровых технологий для их количественного учета, которое целесообразно рассматривать комплексно в контексте устойчивого развития и цифровизации экономики России. В [1] отмечается необходимость адаптации целей устойчивого развития на основе формирования и использования адекватных индикаторов цифровой экономики. При этом внедрение подхода ESG, заключающегося в сбалансированном отношении к окружающей среде (E - environment), социальной ответственности (S - social) и использовании высоких стандартов корпоративного управления (G - governance) в деятельности компаний, ориентированных на извлечение и переработку полезных ископаемых, позволяет им соблюдать социальные и экологические нормы, создавать долгосрочные бизнес-модели, способствующие устойчивому развитию [2]. Такие подходы среди прочего включают разработку и внедрение цифровых решений для количественного учета выбросов парниковых газов. Среди известных программных комплексов этой предметной области можно отметить систему обработки и анализа рядов непрерывных высокочастотных измерений концентраций углекислого газа и метана в атмосферном воздухе на основе метеорологических данных [3], компьютерный программный комплекс «СКАТ», позволяющий выполнять расчеты рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в условиях действующих промышленных объектов [4]. Методологическая основа этих программных комплексов заключается в использовании математических моделей поглощения оптического излучения контролируемыми газами или результатов прямых измерений их содержания в приземных слоях атмосферы. В [5] для автоматизированного определения объема выбросов парниковых газов в секторах «Энергетика» и «Отходы» представлено описание программы, разработанной в среде электронных таблиц Microsoft Excel, которая

используется при разработке региональных кадастров выбросов парниковых газов субъектов РФ и при инвентаризации выбросов парниковых газов для предприятий.

Для практического применения при автоматизации выполнения расчетов выбросов парниковых газов, сопровождающих угледобычу, целесообразно использовать фактические данные о метановыделении при извлечении угля либо данные, основанные на эмпирических закономерностях зависимости газоносности угольных пластов от их глубины залегания. При этом на основе анализа результатов оценки выбросов парниковых газов, выполненных в соответствии с [6], установлено, что объемы выбросов метана, определенные на основе подхода 1 с использованием коэффициентов выбросов, рекомендованных Руководящими принципами национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК [7], и полученных на основе подхода 3, в котором применяются фактические коэффициенты эмиссии метана, могут значительно отличаться. Так, например, в [8] показано, что выбросы метана одного из угольных разрезов, расположенного на Дальнем Востоке РФ, при использовании подхода 1 выше в 3 раза по сравнению с оценками, выполненными с применением подхода 3 уровня.

В развитие [9] для автоматизации расчета выбросов метана и углекислого газа при добыче угля разработано программное обеспечение, в котором предусмотрено использование фактических коэффициентов эмиссии метана, выводимого на поверхности дегазационными и вентиляционными системами угольных шахт, а также определяемых с учетом газоносности угольных пластов, разрабатываемых открытым способом. При этом для обеспечения интерактивного взаимодействия экспертов в сфере инвентаризации выбросов парниковых газов и специалистов экологических отделов, подготовляющих отчеты об эмиссии метана и углекислого газа на угледобывающих предприятиях, для программной реализации алгоритмического обеспечения цифровой платформы оценки фугитивных выбросов при угледобыче

и последующих операциях обращения с углем принято клиент-серверное решение.

Входные данные клиент-приложения представлены в текстовом формате json языка программирования JavaScript для обеспечения их эффективной интерпретации и установления соответствий между данными. Выходные данные представлены в виде HTTP ответа сервера либо json ответа. При этом ответ сервера состоит из строки состояния, в которой указывается версия HTTP протокола и код состояния; нуля или нескольких полей заголовка, разделенных между собой символом CRLF; пустой строки, обозначающей окончание поля заголовка; необязательного тела сообщения. На рис. 1 представлены фрагменты программного кода для построения клиент-приложения, в котором группа идентификаторов `id`, `login`, `last_name`, `first_name`, `second_name`, `company_name`, `email`, `password`, `start_at`, `end_at` определяет данные пользователя и проекта; `hydrocarbon_consume`, `ch4_content`, `ch4_density`, `co2_content`, `co2_density` — коэффициенты поглощения и эмиссии парниковых газов.

Расчеты выбросов парниковых газов выполняются на серверном приложении цифровой платформы, программное обеспечение которого разработано на языке

программирования Python. При этом реализована трехуровневая схема обработки информации, включающая извлечение данных пользователя и справочных материалов из базы данных; выполнение расчетов и управление данными в серверном приложении; ввод исходных данных и отображение результатов расчетов в клиентском приложении. Программная реализация этой схемы основана на применении абстрактной модели, отображающей хранимые таблицы в базе данных, а также сериализаторов для корректной обработки входящих данных, формирования результатов расчетов и управления данными из клиентского приложения на основе интерфейса api.

В качестве примера программной реализации расчетных модулей цифровой платформы на рис. 2 представлен Python-код одного из основных модулей, предназначенного для расчетов выбросов метана и углекислого газа при добыче угля подземным способом (рис. 2). Выполнение расчета начинается с заполнения исходных данных на клиентской части и выбора коэффициентов эмиссии метана из справочника (Блок 1). Затем вводится информация об объемах добычи угля, направляется запрос на сервер с этими данными и выполняется расчет (Блок 2).

```

а)      {
        "login": "",
        "password": ""
      }

б)      {
        "last_name": "",
        "first_name": "",
        "second_name": "",
        "company_name": "",
        "email": "",
        "password": ""
      }

в)      {
        "id": "",
        "name": "",
        "start_at": "",
        "end_at": ""
      }

г)      {
        "id": "",
        "hydrocarbon_consume": "",
        "ch4_content": "",
        "ch4_density": "",
        "co2_content": "",
        "co2_density": ""
      }

```

Рис. 1. Фрагменты программного кода клиент-приложения: а) — авторизация; б) — регистрация; в) — проекты; г) — расчеты

```

class CalcUndergroundViewSet(
    viewsets.GenericViewSet,
    mixins.DestroyModelMixin
):
    permission_classes = [IsAuthenticated]
    queryset = models.CalcUnderground.objects.all()

    def get_serializer_class(self):
        if self.action == 'create':
            return serializers.CreateCalcUndergroundSerializer

        return serializers.CalcUndergroundSerializer

    @action(detail=True, methods=['get'], url_path='list_calc')
    @swagger_auto_schema(tags=['V1 Расчеты подземный способ'], operation_summary='Получить список расчетов')
    def list_calc(self, request, pk, *args, **kwargs):
        result = models.CalcUnderground.objects.filter(project=pk).all()
        serializer = self.get_serializer(instance=result, many=True)
        return Response(data=serializer.data, status=status.HTTP_200_OK)

    @action(detail=True, methods=['get'], url_path='single_calc/(?P<calc_id>[^/]+)')
    @swagger_auto_schema(tags=['V1 Расчеты подземный способ'], operation_summary='Информация о расчете')
    def single_calc(self, request, pk, calc_id, *args, **kwargs):
        result = models.CalcUnderground.objects.filter(project=pk, id=calc_id).first()
        if not result:
            return Response(status=status.HTTP_404_NOT_FOUND)
        serializer = self.get_serializer(instance=result)
        return Response(data=serializer.data, status=status.HTTP_200_OK)

    @swagger_auto_schema(tags=['V1 Расчеты подземный способ'], operation_summary='Удалить расчет')
    def destroy(self, request, *args, **kwargs):
        return super().destroy(request, *args, **kwargs)

    @swagger_auto_schema(tags=['V1 Расчеты подземный способ'], operation_summary='Создать и запустить расчет')
    def create(self, request, *args, **kwargs):
        try:
            data = calc_utils.calc_underground(request.data)
            serializer = serializers.CreateStartCalcUndergroundSerializer(data=data)
            serializer.is_valid(raise_exception=True)
            serializer.save()
            return Response(status=status.HTTP_200_OK)
        except Exception as ex:
            return Response(status=status.HTTP_400_BAD_REQUEST, data=str(ex))

class CreateCalcUndergroundSerializer(serializers.ModelSerializer):
    class Meta:
        model = models.CalcUnderground
        fields = ('name', 'project', 'volume', 'dictionary')

    def prod_underground_co2_ch4(self, fc, koef_w_co2, koef_p_co2, koef_w_ch4, koef_p_ch4):
        res_ch4 = ((fc * koef_w_ch4 * koef_p_ch4) / 100) * 25
        res_co2 = (fc * koef_w_co2 * koef_p_co2) / 100
        res = res_ch4 + res_co2
        return (res_ch4, res_co2, res)

    data = calc_utils.calc_underground(request.data)
    serializer = serializers.CreateStartCalcUndergroundSerializer(data=data)
    serializer.is_valid(raise_exception=True)
    serializer.save()
    return Response(status=status.HTTP_200_OK)

```

Блок 1

Блок 2

Блок 3

Блок 4

Рис. 2. Фрагмент программного кода расчетного модуля для оценки выбросов метана и углекислого газа при добыче угля подземным способом.

После чего применяется соответствующий расчетный метод (Блок 3). По завершении расчета вызывается сериализатор для обработки результатов, проверки их корректности, сохранения в базе данных и отправки ответа клиентской части об окончании расчета (Блок 4).

В дальнейшем будет выполнена верификация совместного функционирования модулей

цифровой платформы мониторинга фугитивных выбросов парниковых газов и их сокращений при использовании чистых угольных технологий на тестовых примерах с использованием синтетических данных. После отладки программного комплекса будут выполнены расчеты эмиссии метана и углекислого газа для нескольких угледобывающих предприятий Кузбасса.

*Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р (Соглашение № 075-15-2022-1196).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобылев С. Н., Соловьева С. В., Палт М. В., Ховакко И. Ю. Индикаторы цифровой экономики в Целях устойчивого развития для России // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2019. № 4. С. 24–41.
2. Замятина М. Ф., Тишков С. В. ESG-факторы в стратегиях компаний и регионов России и их роль в региональном инновационном развитии // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 1. С. 501–518.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618998 Российская Федерация. «Программный комплекс обработки и анализа данных локальных непрерывных измерений концентраций парниковых газов в атмосферном воздухе» (GHG-Control). Заявители Макарова М. В., Макаров Б. К., Поберовский А. В., Арабаджян Д. К.; патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ). Заявка № 2016616319; заявл. 17.06.2016; опубл. 11.08.2016.
4. Антонова А. М., Воробьев А. В., Воробьев В. А. и др. Моделирование распространения в атмосфере загрязняющих веществ выбросов электростанций на базе программного комплекса «Skat» // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 174–186.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616881 Российская Федерация. «Программа (модель) управления данными и автоматизации процедур оценки антропогенных выбросов из источников на территории субъектов РФ по секторам «Энергетика» и «Отходы». Заявители Халипский Д. В., Бакирова Н. В.; патентообладатель автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис». Заявка № 2023615464; заявл. 24.03.2023; опубл. 03.04.2023.
6. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации, утвержденные распоряжением Минприроды России от 16 апреля 2015 г. № 15-р. [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/) (дата обращения 26.11.2023).

7. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> (дата обращения 26.11.2023).

8. Тайлаков О. В., Застрелов Д. Н., Макеев М. П., Логинова А. В. К оценке эмиссии метана при добыче угля открытым способом // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2023. № 2. С. 35–40.

9. Тайлаков О. В., Соколов С. В., Уткаев Е. А., Михалев Д. С. Алгоритмическое обеспечение цифровой платформы мониторинга фугитивных выбросов парниковых газов при угледобыче // Уголь. 2023. № 5 (1167). С. 84–89.

---

**DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.49.88.006**

**UDC 551.583; 662.764; 504.054**

**© O. V. Tailakov, A. V. Chernetskaya, A. A. Tailakov, D. S. Mikhalev, A. V. Cherkasov, 2023**

**O. V. TAILAKOV**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,

General Director

JSC «NC VostNII», Kemerovo

Chief Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: oleg2579@gmail.com

**A. V. CHERNETSKAYA**

Lead Engineer

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: chernetskaya.nastasya@mail.ru

**A. A. TAILAKOV**

Engineer

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: Aleksandr.tailakov@mail.ru

**D. S. MIKHALEV**

Laboratory Assistant

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: mikhalev@mail.ru

**A. V. CHERKASOV**

Laboratory Assistant

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: alexandr.cherkasov1997@gmail.com

**METHANE AND CARBON DIOXIDE EMISSIONS CALCULATION SOFTWARE FOR COAL MINING**

*The use of digital technologies for quantitative accounting of greenhouse gas emissions as one of the directions of reducing the carbon footprint of the coal industry, including monitoring greenhouse gas emissions, is considered. Examples of known software systems for estimating greenhouse gas emissions*

are given. The software implementation of the digital platform for monitoring fugitive greenhouse gas emissions and their reductions using clean coal technologies based on the use of modern client-server solutions is being discussed. The Python code of the calculation module for methane and carbon dioxide emissions from underground coal mining is described as an example of the developed software of the digital platform.

Keywords: METHANE, CARBON DIOXIDE, GREENHOUSE GASES, COAL MINING, DIGITALIZATION, SOFTWARE, CALCULATION MODULE, CLIENT-SERVER, MINE, SECTION.

## REFERENCES

1. Bobylev S. N., Solovyova S. V., Palt M. V., Khovavko I. Yu. Indicators of the digital economy for sustainable development for Russia // Bulletin of the Moscow University. Series 6: Economics [Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: Ekonomika]. 2019. No. 4. P. 24–41. [In Russ.].
2. Zamyatina M. F., Tishkov S. V. ESG factors in the strategies of companies and regions of Russia and their role in regional innovative development // Issues of innovative economy [Voprosy innovatsionnoy ekonomiki]. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 501–518. [In Russ.].
3. Certificate of state registration of the computer program No. 2016618998 Russian Federation. «Software package for processing and analyzing data from local continuous measurements of greenhouse gas concentrations in atmospheric air» (GHG-Control). Applicants Makarova M. V., Makarov B. K., Poberovsky A. V., Arabajyan D. K.; patent holder Federal State Budgetary Educational institution of higher Education «St. Petersburg State University» (St. Petersburg State University). Application No. 2016616319; application No. 06/17/2016; publ. 08/11/2016. [In Russ.].
4. Antonova A. M., Vorobyov A. V., Vorobyov V. A. and others. Modeling the propagation of pollutants in the atmosphere of power plant emissions based on the «Skat» software package // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering [Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov]. 2019. Vol. 330. No. 6. P. 174–186. [In Russ.].
5. Certificate of state registration of the computer program No. 2023616881 Russian Federation. «A program (model) for data management and automation of procedures for assessing anthropogenic emissions from sources in the territory of the subjects of the Russian Federation in the sectors «Energy» and «Waste». Applicants Khalipsky D. V., Bakirova N. V.; patent holder autonomous non-profit organization of higher education «Innopolis University». Application No. 2023615464; application No. 03/24/2023; publ. 04/03/2023. [In Russ.].
6. Methodological recommendations for conducting a voluntary inventory of greenhouse gas emissions in the subjects of the Russian Federation, approved by Order No. 15-r of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated April 16, 2015. [Electronic resource]: The official website of the ConsultantPlus company. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/) (date of application 26.11.2023). [In Russ.].
7. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> (date of application 26.11.2023). [In Russ.].
8. Tailakov O. V., Strellov D. N., Makeev M. P., Loginova A. V. Assessment of methane emissions from open-pit coal mining // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2023. No. 2. P. 35–40. [In Russ.].
9. Tailakov O. V., Sokolov S. V., Utkaev E. A., Mikhalev D. S. Algorithmic support of a digital platform for monitoring fugitive greenhouse gas emissions during coal mining // Coal [Ugol]. 2023. No. 5 (1167). P. 84–89. [In Russ.].