

УДК 504.3.054:614.715

**М. В. Оводков^а, Н. В. Мензелинцева^а, М. Д. Азарова^{а, б}, А. Е. Закондырин^а,
В. О. Петров^а**

^а ВНИИ «Экология»

^б Волгоградский государственный технический университет

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И ВЕРИФИКАЦИИ МЕТОДИК РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Статья посвящена организационно-методологическим подходам к разработке и верификации методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных промышленных источников. Обозначена область применения методик, определены их роль и место в действующей в России модели управления выбросами. Проанализированы проблемы организационно-правового обеспечения. Представлены ключевые элементы методологии разработки и верификации методик. Проанализирован перечень допущенных к применению методик. Обозначены перспективные направления совершенствования расчетно-аналитического функционала методик.

Ключевые слова: методика расчета, стационарные источники, выбросы, загрязняющие вещества.

Хвалите не открытие, а метод.
Р. Декарт

Введение

Проблема загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий в городских округах и промышленных центрах Российской Федерации продолжает оставаться в фокусе внимания федеральных и региональных природоохранных органов, научного и экспертного сообщества, граждан. Анализ динамики валовых выбросов от стационарных промышленных источников свидетельствует о стагнации в данной области на протяжении последнего десятилетия. Так, с 2013 по 2023 г. объемы выбросов от стационарных источников в целом по стране сократились незначительно: с 18,4 до 16,9 млн т¹, что указывает на недостаточную эффективность реализуемых мер по снижению промышленного загрязнения атмосферы.

Необходимость повышения эффективности воздухоохранной деятельности обуславливает потребность в точных и надежных способах определения объемов выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) от стационарных промышленных источников. Важную роль в решении данной задачи играют методики расчета выбросов ЗВ в атмосферный воздух (далее — методики). Методики применяются в случае невозможности выполнения инструментальных измерений выбросов непосредственно на источнике. Деятельность по разработке и совершенствованию методик не утрачивает своей актуальности с момента

¹ Государственный доклад Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2023_.

введения в нашей стране в начале 1980-х гг. системы нормирования промышленных выбросов.

В наиболее широком понимании методика — это последовательный алгоритм или система упорядоченных действий, необходимых для достижения результата. Необходимыми атрибутами расчетной методики являются: цель и область применения, набор исходных данных вместе с их описанием и способом получения, формулы и алгоритмы расчетов с описанием переменных и параметров, требования к точности и достоверности, примеры расчетов, вспомогательные и справочные материалы. Являясь связующим звеном между теоретическими знаниями и их практическим применением, методика отличается специфической формой изложения, соответствующей строго формализованной инструкции.

Под верификацией методики в настоящей статье подразумевается процесс подтверждения соответствия методики установленным требованиям, а также проверка правильности применения математических моделей и численных методов.

Цель статьи — проанализировать действующие сегодня организационно-методологические подходы к разработке и верификации методик, а также выявить наиболее актуальные проблемы и тенденции в данной области.

Разработка методики является сложноорганизованным процессом, требующим значительных финансовых и временных затрат. Практика показывает, что успешная разработка и верификация методики невозможны без наличия у разработчика глубокого понимания предметной области, в том числе по вопросам инвентаризации и нормирования выбросов, разработки и реализации программ инструментальных измерений и лабораторных исследований, методов статистической обработки экспериментальных данных, методов разработки математических моделей на основе функциональных зависимостей, а также навыков подготовки инструктивно-методической документации, пояснительных записок и пакета обосновывающих материалов.

Актуальность поднимаемых в статье вопросов продиктована тем, что в отечественной практике разработка и верификация методик все еще не обладают надлежащей регламентацией на методологическом и, как следствие, нормативно-правовом уровне. Данная ситуация ставит перед государственным регулятором задачу формирования эффективных и комфортных для разработчиков методик информационного поля, включающего в себя четко сформулированные требования, основанные на передовых практиках рекомендации, а также обеспечивающего непрерывную экспертную оценку проектов методик с применением последовательных и унифицированных критериев. Перед разработчиками методик, в свою очередь, стоит задача по наращиванию необходимых компетенций для создания высококачественных методик. Такой подход призван переломить отмечаемую ВНИИ «Экология» тревожную тенденцию многократных обоснованных отказов в экспертизе одних и тех же проектов методик, вызванных некорректным техническим заданием, несостоятельной программой инструментальных измерений для определения удельных выбросов и/или для подтверждения достоверности методики, а также различными техническими погрешностями при оформлении методики и сопутствующей документации.

Развитие методов и технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, в частности предиктивных моделей, ставит перед методиками новые задачи. Данные технологии способны преобразовать методики из статичного вычислительного инструмента в динамичную комплексную систему, обеспечивающую непрерывный контроль и эффективное управление выбросами.

1. Задача и сфера применения методик. Роль методик в действующей модели управления выбросами

Задача методик заключается в определении для отдельного источника выбросов или их группы максимальных разовых, г/с, и валовых, т/г, выбросов по каждому выбрасываемому ЗВ с учетом объемов производства, используемых видов сырья, применяемых технологий и характеристик оборудования. Для применения методики необходимо располагать строго определенным набором исходных данных. Методика должна быть самодостаточным инструментом, содержащим все необходимые для расчета сведения или способы их получения.

Сфера применения методик не имеет сегодня четких критериев. Методики могут применяться как к неорганизованным, так и к организованным стационарным промышленным источникам выбросов. К неорганизованным источникам, для определения выбросов которых применяются методики, относятся открытые резервуары, отвалы, карьеры, хвостохранилища, шламонакопители, коксовые батареи, участки сварки, резки и покраски. К организованным источникам выбросов относятся дымовые трубы, вытяжная вентиляция, аэрационные фонари.

Для определения роли методик в действующей модели управления выбросами следует представлять объем выбросов, подпадающих под определение посредством методик. В нашей стране выбросы стационарных промышленных источников традиционно преобладают в общем объеме валовых выбросов. Так, общий объем выбросов ЗВ в атмосферу в 2023 г. в целом по стране составил 21 975,8 тыс. т, при этом выбросы ЗВ от стационарных источников в 2023 г. составили 16 952,2 тыс. т, т. е. порядка 77 % от общего объема². Официальной статистики выбросов от стационарных промышленных источников, определенных с применением методик, не ведется. Однако сводные расчеты загрязнения атмосферы показывают, что, например, в Красноярске доля стационарных неорганизованных источников составляет 42 % от числа всех внесенных в базу стационарных промышленных источников. На их долю в Красноярске приходится 12,5 % от валового выброса всех стационарных источников и 10,5 % от совокупного валового выброса города³. В Челябинске доля стационарных неорганизованных источников составляет 32,5 % от числа всех внесенных в базу сводных расчетов стационарных промышленных источников. На их долю в Челябинске приходится 17,6 % от валового выброса всех стационарных источников и 17,4 % от совокупного ва-

² Доклад о деятельности Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в 2023 году. URL: <https://rpn.gov.ru/upload/iblock/da8/x8cgrbq0y6fk8ziy6cdmf51s9e09nk9q/Doklad-2023-1.pdf>.

³ Заключение об актуализации сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха в городском округе Красноярск // Утв. Приказом Минприроды России от 06.05.2024 № 274. URL: <https://mnr-air.ru/cities>.

лового выброса города⁴. Оговоримся, что для более полной картины к указанным значениям следует прибавить выбросы стационарных организованных источников, для оценки которых также могут применяться методики.

Важно помнить, что экологическая опасность источника выбросов определяется не только его производительностью, но и в большей степени формируемыми им полями приземных концентраций. Таким образом, реальная экологическая опасность для населения и территорий каждого конкретного стационарного источника, выбросы которого определяются с применением методик, подлежит оценке в каждом конкретном случае.

Для определения роли методик в действующей модели управления выбросами следует также отметить, что от наличия необходимых методик и их корректности зависит достоверность:

- инвентаризации выбросов ЗВ в атмосферу и их источников;
- нормативов допустимых и временно разрешенных выбросов;
- результатов производственного экологического контроля за выбросами;
- сводных расчетов загрязнения атмосферы;
- квот выбросов;
- комплексного экологического разрешения;
- государственной статистической отчетности о выбросах;
- расчета платы за загрязнение атмосферы.

Таким образом, значимость методик в деле контроля и управления выбросами как на локальном уровне (предприятие, промзона), так и на уровне города сложно переоценить. Импульс усилению внимания к методикам, как видится, должны придать федеральный проект «Чистый воздух» и эксперимент по квотированию, для достижения целей которых достоверность показателей выбросов имеет первостепенное значение.

2. Организационно-правовые основы разработки и верификации методик

В соответствии с ч. 2 ст. 22 Федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ, инвентаризация стационарных источников и выбросов ЗВ в атмосферный воздух проводится инструментальными и расчетными методами. Примечательно, что в нормативных актах нет четкого разграничения, устанавливающего конкретные случаи, при которых выбросы должны определяться инструментальным или расчетным способом. Однако сложилась практика, при которой методики применяются при подтвержденной объективной невозможности применения инструментальных методов. В случае неорганизованных источников невозможность применения инструментальных методов для инвентаризации выбросов очевидна, тогда как для организованных источников требуются обоснования.

Согласно ст. 5 вышеуказанного закона, к полномочиям органов государственной власти РФ в области охраны атмосферного воздуха относятся: «установление порядка разработки и утверждения методик расчета выбросов ЗВ в атмосферный воздух стационарными источниками; формирование

⁴ Заключение об актуализации сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха в городском округе Челябинск // Утв. Приказом Минприроды России от 06.05.2024 № 271. URL: <https://mnr-air.ru/cities>.

и ведение перечней методик расчета выбросов ЗВ в атмосферный воздух стационарными источниками».

Требование о введении перечня методик (далее — перечень) было установлено в 2016 г. постановлением Правительства РФ от 16.05.2016 № 422 и, как следствие, приказом Минприроды России от 31.07.2018 № 341, который утвердил Порядок формирования и ведения перечня. Применение любой методики расчета выбросов отныне допускается только после ее включения в перечень. Введение данного требования было обусловлено стремлением госрегулятора упорядочить разработку и применение расчетных методов при оценке выбросов, систематизировать массив ранее разработанных методик, повысить их легитимность и обеспечить корректность разрабатываемых новых методик. Перечень является открытым и общедоступным ресурсом, размещенным на официальном сайте Минприроды России⁵. Он содержит информацию о наименовании методики, области ее применения, разработчике, дате утверждения и других релевантных данных. Включение методики в перечень подтверждает ее соответствие установленным требованиям, что позволяет использовать ее для целей нормирования, инвентаризации и контроля выбросов.

Определение показателей выбросов ЗВ осуществляется в соответствии с Порядком проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки, утвержденным приказом Минприроды России от 19.11.2021 № 871 (далее — Порядок). Согласно п. 29 Порядка, для определения показателей выбросов от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха расчетным методом используются методики, включенные в перечень, который формируется и ведется Минприроды России. В случае отсутствия необходимой методики в перечне такая методика разрабатывается хозяйствующими субъектами самостоятельно или с привлечением специализированных организаций в соответствии с правилами.

С сентября 2025 г. действуют Правила разработки и утверждения методик расчета выбросов ЗВ в атмосферный воздух стационарными источниками, утвержденные постановлением Правительства РФ от 21.05.2025 № 692 (далее — Правила). До этого действовали Правила, утвержденные постановлением Правительства РФ от 16.05.2016 № 422. К сожалению, обновленные Правила не привнесли каких-либо изменений в первоначально сформированный набор требований к разработке и верификации методик. Ключевые положения, изложенные в пп. 5—10 ранее действовавших Правил, остались аналогичными и в новой редакции. Изменения коснулись лишь методик расчета выбросов радиоактивных веществ. Для таких методик Правилами установлен подробный порядок их согласования с Ростехнадзором.

Важно помнить, что в деле экологических оценок приоритет неизменно отдается результатам инструментальных измерений. Методики допускаются к применению для оценки выбросов лишь в тех случаях, когда использование

⁵ Перечень методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными источниками. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/metodiki_rascheta_vybrosov_vrednykh_zagryaznyayushchikh_veshchestv_v_atmosfernyy_vozdukh_statsionarn/perechn_metodik_rasheta_vybrosov_vrednyh_zagryaznyayushchikh_veshchestv_v_atmosfernyy_vozdukh_sta/#.

инструментальных методов объективно невозможно по техническим и методологическим причинам. Но даже при применении методик, в соответствии с п. 6 Правил, обязательным условием является их верификация посредством инструментальных измерений, выполняемых аккредитованными лабораториями, с последующим анализом результатов. Однако, ввиду объективной невозможности в ряде случаев провести такие подтверждающие измерения, п. 8 Правил предусмотрено исключение. Так, в случае отсутствия практической возможности проведения инструментальных измерений выбросов (высокая температура газовоздушной смеси, высокая скорость потока отходящих газов, сверхнизкое или сверхвысокое давление внутри газохода, неорганизованный стационарный источник) для определения применимости методики используется расчет на основе материально-сырьевого баланса технологического процесса, физико-химических закономерностей процессов образования выбросов или показателей удельных величин выбросов от однотипного оборудования.

Подчеркнем, что Правила не дают ответа на вопрос о конкретных методах и технологиях, необходимых для верификации методик расчета выбросов от стационарных неорганизованных источников. По нашему мнению, это является существенным недостатком Правил, оставляя обширное поле для возможных ошибочных действий разработчиков методик. Таким образом, Правила не вполне соответствуют своему назначению, так как не содержат конкретного алгоритма разработки и верификации методик, а содержат лишь рамочные критерии соответствия методики ряду требований. В связи с изложенным следует констатировать, что сфера разработки и верификации методик пока не обрела завершенной организационно-правовой регламентации.

В силу наукоемкости и технологической сложности предлагаемых разработчиками методик предусмотрена процедура их экспертной оценки. С 2025 г. задача экспертизы всех проектов методик, представляемых в Минприроды России для включения в перечень, возложена на ВНИИ «Экология» — единый научный центр министерства. Соответствующее государственное задание, доведенное Минприроды России до ВНИИ «Экология», получило положительное заключение Российской академии наук.

Обязательная экспертная оценка проектов методик государственным экологическим регулятором не является исключительно российской особенностью. Так, например, в Республике Беларусь проекты методик подлежат обязательной государственной экологической экспертизе⁶.

3. Алгоритм разработки и верификации методик: характерные ошибки и факторы качества.

Качество методик формируется как на этапе разработки, так и на этапе верификации.

Основные разделы, которые должна содержать методика, сформулированы в Правилах, однако они, как указывалось выше, определяют только рамочные требования, не конкретизируя ни алгоритма разработки, ни точного содержания разделов.

⁶ О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду : закон Респ. Беларусь № 399-3 от 18.07.2016 (ред. от 17.07.2023 № 296-3). URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H11600399> —.

На наш взгляд, реализация единого алгоритма действий при разработке методик снизит вероятность ошибок и недоработок (рис. 1). Представленная последовательность действий достаточно обоснована и рациональна.

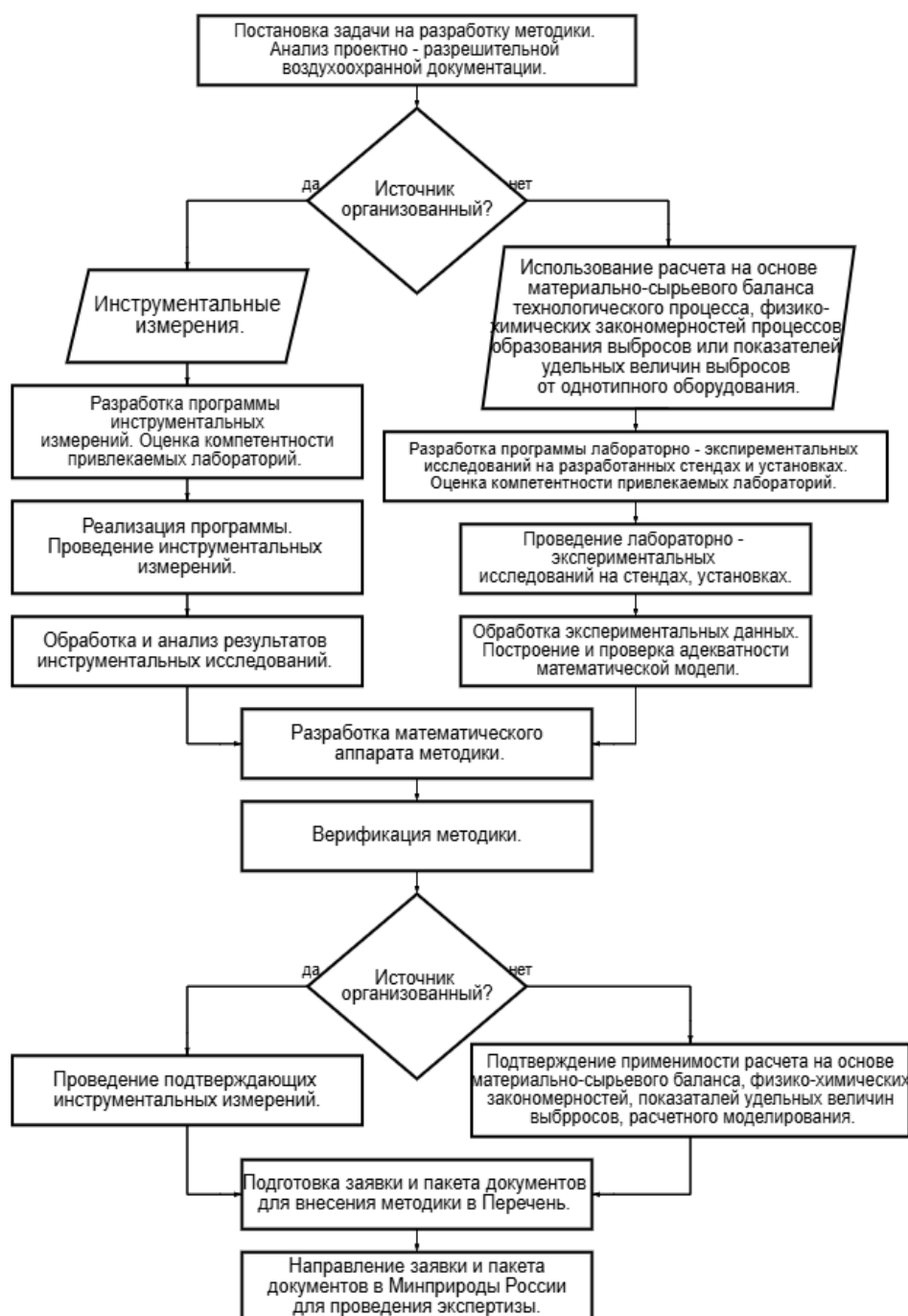


Рис. 1. Алгоритм разработки и верификации методик

Одним из основных разделов методики является описание области применения. В соответствии с Правилами (п. 4г), в методике должно быть представлено описание области применения методики, технологического процесса и сведения о сооружениях, устройствах, оборудовании, являющихся стационарными источниками выбросов, величины которых рассчитываются по этой методике. Проведенный анализ методик, включенных в перечень, показал, что нет единой формулировки области применения, которая полностью соответствовала бы требованиям Правил и позволила бы пользователю однозначно выбрать методику, удовлетворяющую нормативным требованиям. Такое состояние вопроса заставляет пользователей прибегать к некоторым допущениям при использовании методик, что приводит к высокому риску некорректных результатов [1]. Таким образом, следует указать на необходимость точной и единообразной формулировки области применения методик, что позволит пользователям корректно обосновывать возможное ее использование для аналогичных процессов, оборудования.

В соответствии с Правилами, методика должна содержать обоснование алгоритма расчета выбросов, алгоритм расчета выбросов и формулы расчета величин выбросов. Такая достаточно лаконичная и четкая формулировка наиболее значимых разделов методики трактуется разработчиками далеко не однозначно. Вместо обоснования алгоритма обосновывается необходимость разработки методики; обоснование алгоритма содержит предположения, которые не подтверждаются ни ссылками на методики, включенные в перечень, ни на статьи, опубликованные в рецензируемых журналах; обоснование алгоритма совмещается с его описанием, что затрудняет использование разработанной методики в практических расчетах, отсутствует последовательный ход действий.

Необходимо отметить, что в перечень включены методики, разработанные с восьмидесятых годов прошлого века до наших дней, причем доля методик, разработанных за последние десять лет, невелика (17 %). Естественно, что за временной период более чем в 30 лет техника и технологические процессы существенно изменились, следовательно, должны адекватно измениться и величины ряда показателей и коэффициентов, используемых в «возрастных» методиках. Использование старых величин, заложенных в методики, является причиной значимых расхождений между конечным результатом расчета и фактическим значением выброса. Это констатируется в целом ряде работ [1—3].

При разработке методик целесообразно более широко применять современные методы экспериментальных исследований и последующую обработку полученных данных с использованием математического аппарата. Это позволит как повысить точность результатов, так и подтвердить их достоверность математическими способами [4, 5].

В качестве примера на рис. 2 представлена экспериментальная установка на основе аэродинамической трубы при исследовании закономерностей движения пыли различных материалов в потоке воздуха.

Так, например, при оценке удельных выбросов от складов хранения пылящих материалов определяется удельная сдуваемость пыли q^7 :

⁷ Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. Новороссийск, 2000. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837763.pdf>.

$$q = aV^b, \quad (1)$$

где V — скорость ветра, м/с; a , b — коэффициенты, определяемые экспериментально.



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки по исследованию закономерностей распространения пыли в потоке воздуха

В ходе проведения эксперимента навески с различными значениями исходного удельного содержания пылевых фракций $M_{уд}$ помещаются в аэродинамическую трубу и обдуваются потоком воздуха со скоростью V в соответствии с выбранным планом эксперимента. Последующая математическая обработка экспериментальных данных, например в интегрированной системе анализа и управления данными STATISTICA Advanced Linear/Nonlinear Models, позволяет получить регрессионную модель, устанавливающую связь между величиной удельной сдуваемости пыли и варьируемыми факторами, а также проверить ее адекватность. Так, например, для гипсового сырья при хранении на открытом складе уравнение регрессии имеет вид

$$q(V, M_{уд}) = -4,93752 + \text{EXP}[0,068983 + 0,233714V + 0,112124M_{уд}]. \quad (2)$$

Поверхность отклика, описываемая уравнением (2), приведена на рис. 3. Сечение поверхности отклика (рис. 4) позволило определить значения коэффициентов a и b уравнения (1) при различных значениях $M_{уд}$. Достаточно хорошая сходимость теоретических и экспериментальных результатов подтверждается значениями коэффициентов корреляции R .

Такой научно-экспериментальный подход позволяет наиболее корректно обосновать алгоритм и изложить его при разработке методики, а также способствует повышению качества верификации.

Отдельно остановимся на проблеме верификации методик для неорганизованных источников, применительно к которым провести подтверждающие инструментальные замеры невозможно. Правила предусматривают в том числе расчет на основе использования физико-химических закономерностей процессов образования выбросов. В ряде работ этот случай рассматривается как использование результатов расчета рассеивания. При этом официальная математическая модель расчета рассеивания MPP-2017 учитывает не только физико-химические закономерности, но и гидрометеорологические условия,

рельеф местности, взаимодействие с подстилающей поверхностью, особенности городской застройки, что существенно повышает точность расчета. Таким образом, расчетное моделирование значительно расширяет возможности верификации методик и, на наш взгляд, должно рассматриваться как самостоятельный способ обоснования применимости методик. Тем более, что такой подход представляется в ряде случаев практически единственным корректным способом.

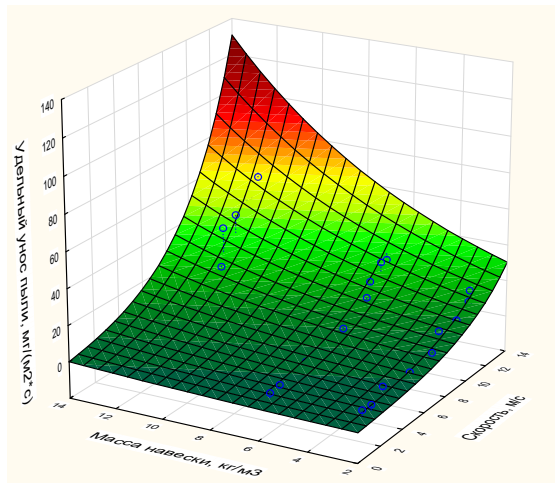


Рис. 3. Исследование удельной сдуваемости пыли q в зависимости от комбинаций уровней удельного содержания пыли гипса в исследуемом объеме $M_{уд}$ и скорости воздушного потока V

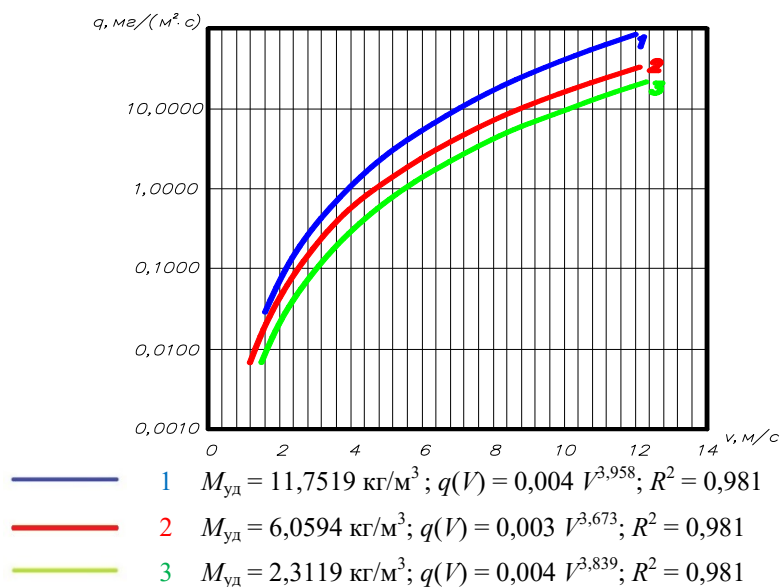


Рис. 4. Зависимость удельной сдуваемости пыли гипса q от скорости воздушного потока V

Принципы, определяющие качество методик на этапе верификации, можно сформулировать следующим образом:

1. Экспертиза методик должна проводиться в строгом соответствии с нормативными документами, в том числе требованиями Правил.

2. Для сокращения времени экспертизы, повышения ответственности разработчиков за перечень и качество материалов, предоставляемых на экспертизу, экспертизу целесообразно выполнять в два этапа. Первый этап — проверка по формальному признаку, т. е. на соответствие представленных материалов формальным требованиям (трафаретная проверка). При выявлении таких формальных нарушений материалы должны возвращаться разработчику. Второй этап — проверка по существу, т. е. проверка в соответствии с пп. 7—12 Правил.

3. Текст методики должен быть формально определенным, точным, четким и ясным, не допускающим различных толкований, логически последовательным, необходимым и достаточным для использования методики. Должен быть использован официальный стиль изложения с отсутствием образных сравнений, повествовательных положений, жаргонных и просторечных понятий.

4. Анализ перечня методик

На момент введения в 2016 г. требований о перечне допущенных к применению методик при проведении инвентаризации выбросов от стационарных источников использовалось 143 методики. К октябрю 2025 г. в перечень методик, допущенных к применению Минприроды России, включено всего 135 методик. Таким образом, имеется дефицит легитимных и верифицированных методик. Это подтверждается диаграммой распределения методик по отраслям промышленности (рис. 5). Анализ диаграммы показывает, что на фоне общей ограниченности методического обеспечения наиболее полно охвачены лишь топливно-энергетическая и горнодобывающая отрасли, а также черная металлургия.

Следует помнить, что отсутствие необходимой методики в перечне влечет для предприятия целый ряд санкционных мер: вынесение предписаний и наложение штрафных санкций за нарушение порядка проведения инвентаризации выбросов ЗВ и их источников, требование о проведении надлежащей инвентаризации и, как следствие, о корректировке нормативов допустимых выбросов, требование о корректировке данных государственной статистической отчетности о выбросах, претензия о некорректном осуществлении производственного экологического контроля за выбросами, возникновение недоимки по экологическим платежам, отказ в выдаче или переоформлении комплексного экологического разрешения.

Наряду с недостаточной методической обеспеченностью промышленных отраслей, существенной проблемой является и ограниченный доступ заинтересованных сторон к оригинальным текстам методик. Диаграмма, представленная на рис. 6, демонстрирует преобладание в перечне закрытых методик, недоступных для свободного использования. Данная ситуация, обусловленная ограничениями авторского права, препятствует обмену передовым опытом, нивелирует возможности для широкого внедрения инноваций. Создаются негативные предпосылки для включения в перечень подготовленных различными разработчиками аналогичных методик для схожих промышленных объектов (например, для коксохимического производства).

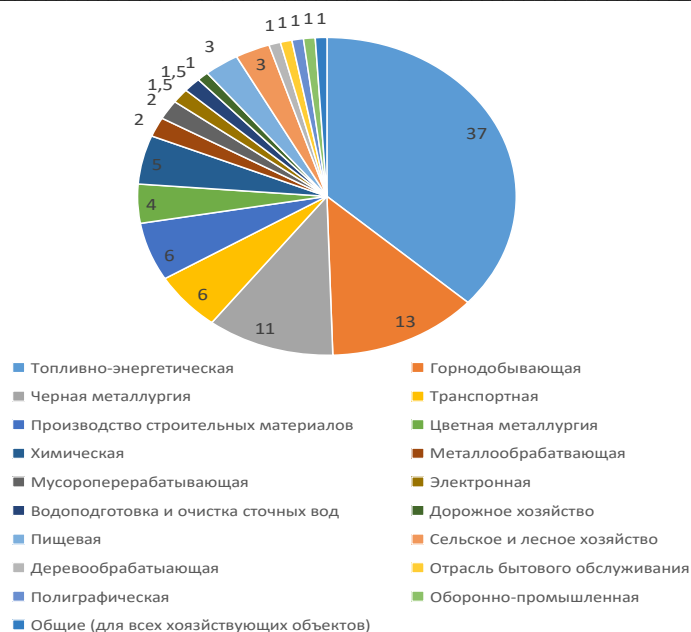


Рис. 5. Процентное соотношение распределения методик расчета выброса ЗВ по отраслям промышленности



Рис. 6. Сведения о возможности распространения методики расчета

В этой связи заслуживает внимания положительный опыт Республики Беларусь, где на официальном сайте Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды в открытом доступе представлены тексты всех методик, разрешенных к применению, с полной историей их изменений и редакций⁸.

Возвращаясь к российской практике, отметим, что анализ содержания перечня выявляет еще одну существенную проблему: включение в перечень методик, правообладатели которых прекратили свое существование как организации. Актуализация и корректировка подобных методик в связи с этим представляется весьма затруднительной. Типичным примером такой ситуации являются «Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/ч», разработанные в 1985 г. и включенные в Перечень под № 117. Официально опубликованный текст данной методики содержит техническую неточность: на рисунке, иллюстрирующем зависимость коэффициента K_{NOx} от тепловой мощности котлоагрегата для различных видов топлива, перепутаны местами подписи. При этом вопрос по корректировке методики и оценке ее соответствия современному уровню технологий остается открытым.

Другой характерный пример. В методике расчета выбросов от подвижного железнодорожного состава, включенной в Перечень под № 100, приводятся данные удельных выбросов для цистерн емкостью только 60 т, хотя современные четырехосные цистерны обычно перевозят до 73 т, а восьмиосные — около 125 т. При этом в нормативном документе не указывается методический подход к использованию приведенных показателей при таких емкостях, что делает применение методики по отношению к современным предприятиям некорректным. Это затрудняет сопоставление вновь разрабатываемых методик с существующими методиками, относящимися к аналогичной области применения, что является прямым требованием п. 5 Правил.

Таким образом, необходим динамичный подход к ведению перечня, предполагающий его периодическую ревизию, в том числе с целью обеспечения соответствия методик современному уровню развития науки, техники и производственных процессов.

Заключение

Обозначим направления развития сферы разработки и верификации методик, которые, по нашему мнению, должны стать определяющими в ближайшее время.

1. Учитывая рост спроса на специализированные методики со стороны предприятий-природопользователей и одновременно опираясь на статистику результатов экспертиз, указывающую на высокую долю отклоненных проектов методик (около 75 % от общего числа рассмотренных), считаем необходимым сконцентрировать усилия на формировании эффективного информационного поля в данной области. Эта комплексная задача включает в себя:

- совершенствование нормативно-методической базы, регламентирующей разработку, верификацию и применение методик;

⁸ Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь : офиц. сайт. URL: <https://minpriroda.gov.by/ru>.

- упрощение подходов к актуализации и корректировке методик, допущенных к применению, с целью обеспечения их соответствия современному уровню науки и техники;

- повышение доступности оригинальных текстов методик, допущенных к применению.

2. Целесообразно расширение экспертного сообщества, привлекаемого к оценке предлагаемых методик. Это необходимо для охвата всего многообразия отраслей промышленности и производственных технологий, представленных в нашей стране. В этой связи представляется правильным внедрить экспертный подход, аналогичный рассмотрению проектов стандартов организаций (СТО) техническими комитетами по стандартизации. Примером успешной реализации такого подхода служит деятельность технического комитета «Качество воздуха» (ТК 457). Сегодня в перечень включено уже 16 методик, разработанных в форме СТО.

3. Рассматривая перспективные направления совершенствования методик, важно учитывать развитие машинного обучения и искусственного интеллекта, в частности предиктивных методов. Подтверждением данной траектории развития расчетно-аналитических методов служит законопроект «О внесении изменений в статьи 1 и 67 Федерального закона „Об охране окружающей среды“» № 159945, который предусматривает приравнивание систем предиктивного контроля выбросов к системам автоматического контроля выбросов (САКВ). Имеются примеры пилотной апробации систем предиктивного мониторинга эмиссий PEMS (Predictive Emission Monitoring Systems) на отечественных предприятиях. Например, система Axioma на ПАО «ГМК „Норильский никель“».

4. Совершенствование методик требует углубленного анализа международного опыта. Предварительный сравнительный анализ подходов показывает, что российские методики и методики ряда зарубежных стран, преследуя общую цель, существенно различаются в деталях реализации и используемых методах и технологиях. Относительная простота отечественных подходов, базирующихся преимущественно на эмпирических формулах и удельных показателях выбросов, оборачивается потерей точности и недостаточной адаптивностью к динамично меняющимся условиям. Заслуживающие внимания зарубежные подходы, напротив, опираются на высокоточные инструментальные измерения, передовые методы бесконтактной индикации, включая технологии дистанционного зондирования, а также на современные методы математического моделирования. Это обеспечивает высокую точность расчетов и гибкость при учете меняющихся факторов [6—13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чукарева А. А., Михеев Д. И. Анализ и оптимизация методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками добывающей промышленности // Горный инфор.-аналит. бюл. 2025. № 3. С. 95—107.
2. Каминская И. А., Яковенко А. А., Потапов Р. В. Актуальные проблемы контроля выбросов радиоактивных веществ в атмосферу // АНРИ. 2023. № 4(115). С. 3—8.
3. Авксентьев А. В. Выбросы в атмосферный воздух: учет нормирования С1-С5 // Проффессиональное издательство. 2025. № 3(21). С. 5—12.
4. Особенности экспериментальной оценки выбросов от автономных источников теплоснабжения частного сектора в рамках проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха / М. В. Оводков, В. О. Петров, Ю. М. Кочнов и др. // Вестн. Волгогр.

гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. 2024. Вып. 4(97). С. 229—243. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_229. EDN: UUSGXV.

5. Ахмедов А. М. Исследование конфигурации поверхности виртуального источника загрязнения воздушной среды при земляных работах в строительстве // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. 2025. Вып. 1(98). С. 220—228. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_220. EDN: EBDFRZ.

6. Ross C. P., Russell D., Mino J. An effective PEMS alternative to CEMS for quantifying glass furnace NO_x emissions // Ceramic Engineering and Science Proceedings : a collection of papers presented at the 60th conference on glass problems. 2000. Vol. 21. Pp. 153—167. URL: doi.org/10.1002/9780470294598.ch11.

7. Modeling and reduction of NO_x emissions for a 700 MW coal-fired boiler with the advanced machine learning method / P. Tan, J. Xia, C. Zhang, Q. Fang, G. Chen // Energy. 2016. Vol. 94. Pp. 672—679. URL: doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.020.

8. Ciarlo G., Bonavita N. Fulfilling evolving end-users' expectations for site-wide emission monitoring: the role of PEMS // 12th International Conference and Exhibition on Emission Monitoring, May 18—20, 2016. Lisbon, Portugal, 2016. Pp. 1—12.

9. Cheng A. M., Hagen G. F. An accurate predictive emissions monitoring system (PEMS) for an ethylene furnace // Environmental Progress. 1996. Vol. 15. Iss. 1. Pp. 19—27. URL: doi.org/10.1002/ep.670150115.

10. Tang Z., Wu X., Cao S., Yang M. Modeling of the Boiler NO_x emission with a data driven algorithm // Journal of Chemical Engineering of Japan. 2018. Vol. 51. No. 8. Pp. 695—703. URL: doi.org/10.1252/jcej.17we335.

11. Swanson B. G., Lawrence P. An alternative approach to continuous compliance monitoring and turbine plant optimization using a PEMS (Predictive Emission Monitoring System) // 18th Symposium of the Industrial Application of Gas Turbines Committee. Banff, Oct. 19—21, 2009. Alberta, Canada, 2009.

12. Bonavita N., Ciarlo G. Inferential sensors for emission monitoring: an industrial perspective // Frontiers in Environmental Engineering. 2014. Vol. 3. Pp. 21—28.

13. A new procedure for predicting NO_x emissions from furnaces / T. Faravelli, L. Bua, A. Frassoldati, A. Antifora, L. Tognotti, E. Ranzi // Computers and Chemical Engineering. 2001. Vol. 25. Iss. 4-6. Pp. 613—618. URL: doi.org/10.1016/S0098-1354(01)00641-X.

© Оводков М. В., Мензелинцева Н. В., Азарова М. Д., Закондырин А. Е., Петров В. О., 2025

Поступила в редакцию
19.10.2025

Ссылка для цитирования:

Актуальные вопросы разработки и верификации методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников / М. В. Оводков, Н. В. Мензелинцева, М. Д. Азарова, А. Е. Закондырин, В. О. Петров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 4(101). С. 200—215. DOI: 10.35211/18154360_2025_4_200.

Об авторах:

Оводков Михаил Владимирович — руководитель научно-методического центра экологического моделирования, прогнозирования и оценок, ВНИИ «Экология». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4; m.ovodkov@vniiecolgy.ru

Мензелинцева Надежда Васильевна — д-р техн. наук, проф., заместитель руководителя научно-методического центра экологического моделирования, прогнозирования и оценок, ВНИИ «Экология». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4; menzelintseva@volsu.ru

Азарова Мария Денисовна — инженер по мониторингу научно-методического центра экологического моделирования, прогнозирования и оценок, ВНИИ «Экология», аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; azarovamaria2001@yandex.ru

Закондырин Александр Евгеньевич — д-р юрид. наук, директор ВНИИ «Экология». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4

Петров Вадим Олегович — заместитель директора, ВНИИ «Экология». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4; v.petrov@vniiecolology.ru

**Mikhail V. Ovodkov^a, Nadegda V. Menzelinceva^a, Maria D. Azarova^{a, b},
Aleksandr E. Zakondyrin^a, Vadim O. Petrov^a**

^a VNII "Ekologiya"

^b Volgograd State Technical University

TOPICAL ISSUES IN THE DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF METHODOLOGIES FOR CALCULATING AIR POLLUTANT EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES

This article examines organizational and methodological approaches to the development and verification of methods for calculating air pollutant emissions from stationary industrial sources. The scope of application of the methods is outlined, as well as their role and place in the current Russian emissions management model. Issues related to organizational and legal support are analyzed. Key elements of the methodology for developing and verifying the methods are presented. A list of approved methods is analyzed. Promising areas for improving the calculation and analytical functionality of the methods are identified.

Key words: calculation methods, stationary sources, emissions, pollutants.

For citation:

Ovodkov M. V., Menzelinceva N. V., Azarova M. D., Zakondyrin A. E., Petrov V. O. [Topical issues in the development and verification of methodologies for calculating air pollutant emissions from stationary sources]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 4, pp. 200—215. DOI: 10.35211/18154360_2025_4_200.

About authors:

Mikhail V. Ovodkov — Head of the Scientific and Methodological Center for Environmental Modeling, Forecasting and Assessments, VNII "Ekologiya". 1/4, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation; m.ovodkov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0003-4036-102X

Nadegda V. Menzelinceva — Doctor of Engineering Sciences, Professor, VNII "Ekologiya". 1/4, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation; menzelintseva@volsu.ru; ORCID: 0000-0001-5265-2199

Maria D. Azarova — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU), VNII "Ekologiya". 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0009-0009-3147-4333

Aleksandr E. Zakondyrin — Doctor of Law, VNII "Ekologiya". 1/4, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation

Vadim O. Petrov — Deputy Director, VNII "Ekologiya". 1/4, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation; v.petrov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0002-2392-2879