



# Как подтвердить достоверность расчетов рассеивания в атмосфере и уровней шума на местности

**В. Ю. Белоцерковский**, канд. техн. наук  
директор ООО «ЭКОцентр»

Обеспечение достоверности расчетов при использовании программных продуктов – это ответственность не только разработчика продуктов, но и эколога-проектировщика.

Для читателей журнала не секрет, что промышленная экология – далеко не гуманитарная наука, для того, чтобы работать в этой области, требуется основательная инженерная подготовка.

Экологам на практике необходимо проводить множество вычислений, в том числе совсем не тривиальных. Например, рассчитывать рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере или определять расчетным путем уровни внешнего шума. Уже не одно десятилетие для этих целей используются специализированные программы – это проще, удобнее и экономит массу времени специалистов-проектировщиков. Эпоха ручных расчетов безвозвратно ушла в прошлое, и это давно уже очевидно.

Законодательство в сфере промышленной экологии постоянно совершенствуется, усложняются расчетные механизмы, вводятся дополнительные коэффициенты, повышается требуемая точность расчетов. В связи с этим экологам все труднее разобраться в сути производимых вычислений, а тем более учесть все нюансы экспертных требований. Постоянно растущие объем и уровень сложности информации не дают возможности осознать физический смысл процессов скрытых, за нагромождением формул. При этом программа воспринимается как черный ящик, для которой достаточно подготовить исходные данные и дождаться результатов в виде уже заполненных отчетов и таблиц.

Доверие к расчетным программам по естественным причинам возрастает, но обоснованно ли это? К сожалению, не всегда. Что же делать? Как повышать производительность труда, степень автоматизации рабочего места эколога-проектировщика и при этом получать достоверные результаты проектирования?

Как сделать весь процесс более осмысленным, а принимаемые решения более осознанными и профессиональными? Ответ на этот вопрос может быть многогранным.

**Во-первых**, нужна экспертиза программ. Приказ Минприроды России от 20.11.2019 № 779 установил, что программа для электронных вычислительных машин, не получившая положительного заключения экспертизы, не должна использоваться для расчетов рассеивания с 26.12.2020, то есть спустя 12 мес. с даты официального опубликования приказа. Для абсолютного большинства расчетных случаев процедура экспертизы станет действенной мерой, которая позволит сократить количество манипуляций с результатами расчетов рассеивания.

В области акустических расчетов аналогов указанному приказу пока, к сожалению, нет.

**Во-вторых**, необходимы набор тестовых примеров и декларация о соответствии, подписанная разработчиком программного обеспечения.

Например, ГОСТ Р 56234.3-2019 «Программное обеспечение для расчетов уровней шума на местности» содержит рекомендации по обеспечению качества расчетов уровней шума на местности. Этот стандарт также включает в себя дополнительные рекомендации в отношении контрольных примеров и тестовых сценариев, используемых программными продуктами для подтверждения корректности и точности расчетов.



Программные средства – уже потребность, а не роскошь.



Сразу всем программным средствам для расчетов доверять не стоит.



Соответствие программного обеспечения указанному стандарту демонстрирует пользователям ответственность его разработчика и обоснованную уверенность в качестве программ, несмотря на рекомендательный характер документа.

Пользователь, используя набор тестовых примеров из стандарта, может убедиться в достоверности результатов, получаемых также с использованием программы. Приведенные примеры служат образцом оформления протокола проверочного расчета. Такой контроль, как правило, разрабатывается для максимального охвата базовых вычислительных процессов, производимых программами, и служит одним из способов быстрой оценки достоверности результатов, но не является полностью надежным.



Набор примеров для расчетов рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере был включен в действовавший до 01.01.2018 ОНД-86 (Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий). В настоящее время Методы расчетов рассеивания выбросов в атмосферном воздухе, утвержденные приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273 (далее – Методы рассеивания), самих расчетных примеров уже не содержат, но это совершенно не мешает подобные расчеты провести самостоятельно. Далее будет приведен пример такого расчета.

**В-третьих,** нужна возможность верификации итоговых результатов самим специалистом, в качестве которого может выступать как эколог-проектировщик, так и эксперт, представляющий государственный надзорный орган. И эта возможность наиболее предпочтительна, поскольку она глубоко специфична, точна и относится к конкретному практическому расчетному примеру, зависящему непосредственно от специалиста. Это позволяет ему легко получать необходимый опыт в анализе расчета и продуктивно наращивать свои компетенции в профессиональной сфере.

Чтобы убедиться в этом на практике, рассмотрим тестовый пример расчета рассеивания выбросов от одиночного точечного источника, расположенного на открытой местности (см. рисунок > 109).

Протокол расчета с указанием всех используемых коэффициентов, величин, параметров, переменных и прямых ссылок на формулы Методов рассеивания приведен в таблице > 109.

Этот расчет легко повторить с использованием любой из имеющихся в вашем распоряжении программы, получившей положительное заключение экспертизы. Все приведенные значения аргументированы подробным ручным расчетом (проверить который не составит труда), а также ссылками на формулы действующих документов, что позволяет поэтапно и логически обоснованно понять происхождение каждой итоговой величины.

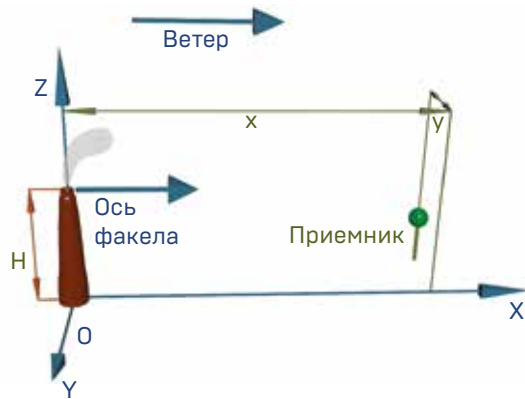


Схема расположения источника и приемника (расчетной точки)

### ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА РАССЕИВАНИЯ НА РАССТОЯНИИ 400 М ПО ОСИ ФАКЕЛА И 25 М ПО НОРМАЛИ

№ п/п	Характеристики, обозначения, расчет	Единица измерения	Значение
1	Высота устья источника выброса <b>H</b>	м	35,0
2	Диаметр устья трубы <b>D</b>	м	1,40
3	Заданная для расчета скорость ветра <b>u</b>	м/с	2,2
4	Максимальная расчетная скорость ветра <b>u<sub>м.р.</sub></b>	м/с	8
5	Скорость выхода ГВС <b>ω<sub>г</sub></b>	м/с	7
6	Температура ГВС <b>T<sub>г</sub></b>	°С	125
7	Температура атмосферного воздуха <b>T<sub>в</sub></b>	°С	25
8	Коэффициент температурной стратификации атмосферы <b>A</b>	–	200
9	Мощность выброса <b>M</b>	г/с	12
10	Коэффициент, учитывающий скорость оседания <b>F</b>	–	1
11	Расстояние от источника до расчетной точки по оси факала <b>x</b>	м	400
12	Расстояние от источника до расчетной точки по нормали к оси факала <b>y</b>	м	25
13	Расход ГВС (по формуле 4): $V_1 = \pi \times 1,40^2 / 4 \times 7$	м³/с	10,7757
14	Разность между температурой ГВС и температурой атмосферного воздуха: $\Delta T = 125 - 25$	°С	100
15	Параметр <b>V<sub>м</sub></b> (по формуле 5): $V'_m = 0,65 \times \sqrt[3]{(10,7757 \times 100/35,0)}$	м/с	2,0372
16	Параметр <b>V'<sub>м</sub></b> (по формуле 6): $V'_m = 1,3 \times 7 \times 1,40 / 35,0$	м/с	0,364

№ п/п	Характеристики, обозначения, расчет	Единица измерения	Значение
17	Параметр <b>f</b> (по формуле 7): $f = 1000 \times 7^2 \times 1,40 / (35,0^2 \times 100)$	–	0,56
18	Параметр <b>f<sub>г</sub></b> (по формуле 8): $f_g = 800 \times 0,364^3$	–	38,5828
19	Опасная скорость ветра <b>u<sub>м</sub></b> (по формуле 18в): $u_m = 2,0372 \times (1 + 0,12 \times \sqrt{0,56})$	м/с	2,22
20	Коэффициент <b>d</b> (по формуле 16в): $d = 7 \times \sqrt{2,0372} \times (1 + 0,28 \times \sqrt{0,56})$	–	12,2971
21	Расстояние от источника до точки максимального значения <b>c</b> (по формуле 15): $x_m = (5 - 1) / 4 \times 12,2971 \times 35,0$	м	430,4
22	Коэффициент <b>p</b> (по формуле 23б): $p = 8,43 \times (12,2 / 2,22)^5 + 1$	–	1
23	Расстояние от источника до точки, где при скорости ветра и достигается максимальное значение <b>c<sub>м,у</sub></b> (по формуле 22): $x_{m,u} = 1 \times 430,4$	м	430,4
24	Коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности <b>η</b>	–	1
25	Параметр <b>m</b> (по формуле 9а): $m = 1 / (0,67 + 0,1 \times \sqrt{0,56} + 0,34 \times \sqrt[3]{0,56})$	–	0,9755
26	Параметр <b>n</b> (по формуле 10в): $n = 1$	–	1
27	Максимальная приземная концентрация <b>c<sub>м</sub></b> (по формуле 3): $c_m = 200 \times 12 \times 1 \times 0,9755 \times 1 \times 1 / (35,0^2 \times \sqrt[3]{(10,7757 \times 100)})$	мг/м³	0,1864
28	Величина <b>r</b> (по формуле 21а): $r = 0,67 \times (2,2 / 2,22) + 1,67 \times (2,2 / 2,22)^2 - 1,34 \times (2,2 / 2,22)^3$	–	0,9999
29	Максимальная приземная концентрация при скорости ветра <b>u</b> (по формуле 20): $c_{m,u} = 0,9999 \times 0,1864$	мг/м³	0,1864
30	Коэффициент <b>s<sub>1</sub></b> (по формуле 25а): $s_1 = 3 \times (400 / 430,4)^4 - 8 \times (400 / 430,4)^3 + 6 \times (400 / 430,4)^2$	–	0,9987
31	Коэффициент <b>t<sub>y</sub></b> (по формуле 29а): $t_y = 2,2 \times 25^2 / 400^2$	–	0,0086
32	Коэффициент <b>s<sub>2</sub></b> (по формуле 28): $s_2 = 1 / (1 + 5 \times 0,0086 + 12,8 \times 0,0086^2 + 17 \times 0,0086^3 + 45,1 \times 0,0086^4)^2$	–	0,9176
33	Максимальная приземная концентрация <b>c</b> на расстоянии от источника <b>x</b> по оси факела и <b>y</b> по нормали к оси факела при скорости ветра <b>u</b> (по формулам 26 и 27): $c = 0,9987 \times 0,9176 \times 0,1864$	мг/м³	0,1708

Возможность современных программ формировать подробный протокол и в области расчетов рассеивания, и в области акустических расчетов служит отличным дополнительным способом проверить корректность исходных данных и результатов, так как верификация подобного расчета позволяет точно локализовать место вычислительной или логической ошибки.

Обеспечение достоверности расчетов при использовании программных средств – это ответственность не только разработчика программ, эксперта, но и эколога-проектировщика. Задача проверки может быть легко решена путем выборочного анализа протокола расчета для конкретного случая с учетом уровня допустимой погрешности, установленной действующими нормативными и методическими документами. ■