

Вопросы автоматизации методик расчета шумового воздействия автотранспортных потоков

Иванов А.В.¹, Никифоров А.В.¹, Кузьмицкий А.М.¹

¹ООО «ТЕХНОПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург

support@noiseview.ru

Аннотация: Рассмотрены некоторые особенности расчета автотранспортного шума с использованием отечественной нормативной документации на примере учета снижения шума расстоянием и поправки на угол видимости участка дороги. Обозначены отдельные различия и ограничения отечественных методик расчета шума автотранспортного потока и сделаны выводы о возможностях их автоматизации.

Ключевые слова: Шум, акустический расчёт, автотранспортный поток, автоматизация расчетов.

В настоящее время в России наблюдается период активного обновления нормативной документации, регламентирующей акустические расчеты. Выходят новые стандарты, своды правил, справочная литература. В этой связи представляет интерес преемственность используемых методик и справочных данных, а также удобство методик с точки зрения автоматизации расчетов.

Для авторов данной статьи, как разработчиков программного комплекса АРМ «Акустика», последний момент особенно важен. В практике современного проектирования оценка шумового воздействия автотранспортных потоков без использования программных средств автоматизации расчётов достаточно сложна и ресурсоёмка. Особенно это проявляется при проектировании в условиях реальной городской застройки, сложного рельефа местности, разветвлённой дорожной сети. Также важным следствием использования программных средств автоматизации расчётов является построение целостной модели местности вокруг рассматриваемого объекта, что позволяет в дальнейшем достаточно просто вносить и отслеживать изменения как самой модели, так и результатов акустического воздействия от объекта.

Моделирование распространения шума от транспортных потоков в АРМ «Акустика» проводится по ГОСТ 31295.2-2005 [1], который на настоящий момент является основным нормативным документом для расчета распространения шума на территории (п.7.5 СП 51.13330.2011[2]). Применимость методики для расчета транспортного шума (рассматриваемого как совокупность эквивалентных точечных источников шума) указана в п.1 и 4 [1]. Все расчетные параметры формализованы, что удобно для автоматизации расчетов. Документ учитывает распространение шума в октавных полосах частот, что позволяет более точно моделировать процессы поглощения, дифракции и отражения звука. Метод разбиения линейных источников на комбинацию эквивалентных точечных источников позволяет при соответствующих алгоритмах сегментирования добиться очень подробного представления транспортных источников шума в ус-

ловиях сложной городской застройки. Этот же подход упрощает решение задач учёта экранирования и отражений.

Принимая методику [1] за условный эталон, рассмотрим возможности автоматизации расчётов по методикам ОДМ-2003[3], ОДМ 218.2.013-2011[4], СП ХХХ.1325800.2016 [5] и проведём небольшое сравнение основных расчётных соотношений. ОДМ-2003 выбрана для сравнения как наиболее известная и используемая в экспертном сообществе методика, являвшаяся на момент создания наиболее полной по составу учитываемых факторов, влияющих на распространение транспортного шума. ОДМ-2011 является текущей заменой [3] со значительными дополнениями и действует на данный момент. Проект методического документа [5] на момент написания статьи проходит этап корректировки и согласования и потенциально станет наиболее полным и современным документом в области защиты от транспортного шума. Необходимо сразу отметить, что [5] помимо расчётных соотношений, указанных в самом документе, указывает на возможность проведения расчётов транспортного шума по [1].

Важным положительным отличием методик [4], [5] является наличие соотношений для расчёта шумовой характеристики транспортного потока (ШХТП) в зависимости от интенсивности движения, состава потока и характеристик дорожного покрытия и т.п. Эти соотношения являются результатом многолетней работы отечественных исследователей по уточнению и актуализации статистической модели транспортных потоков и на данный момент включают в себя большинство определяющих ШХТП факторов. Несмотря на большое количество табличных данных, соотношения для расчёта ШХТП по [4] и [5] в целом достаточно легко алгоритмируются для автоматизированных вычислений.

Рассмотрим состав основных соотношений для определения уровней звука в расчётной точке (таблица 1).

Таблица 1. Состав формулы для вычисления уровней звука в расчетной точке

Документ	Расчетные зависимости
1	2
ОДМ-2003 [3]	По ф-ле (3.23) $L_{Ai} = L_{AЭкв} - \Delta L_{Aрас} - \Delta L_{Aвоз} - \Delta L_{Aв/т} - \Delta L_{Aпок} - \Delta L_{Aзел} - \Delta L_{Aэкр} - \Delta L_{Aзастр} + \Delta L_{Aотр} - \Delta L_{Aаи}$
ОДМ 218.2.013-2011 [4]	<i>Эквивалентные уровни звука по ф-ле (7.1)</i> $L_{AЭквРТ} = L_{AЭкв} - (\Delta L_{Aрас} + \Delta L_{Aвоз} + \Delta L_{Aв/т} + \Delta L_{Aпок} + \Delta L_{Aзел} + \Delta L_{Aэкр} + \Delta L_{Aэкр зас} + \Delta L_{Aотр зас} + \Delta L_{Aотр} + \Delta L_{A\theta})$ <i>Максимальные уровни звука по ф-ле (7.13)</i> $L_{AмаксРТ} = L_{Aмакс} - (\Delta L_{Aрас} + \Delta L_{Aвоз} + \Delta L_{Aв/т} + \Delta L_{Aпок} + \Delta L_{Aзел} + \Delta L_{Aэкр} + \Delta L_{Aэкр зас} + \Delta L_{Aотр зас} + \Delta L_{Aотр} + \Delta L_{A\theta})$
СП ХХХ.1325800.2016 [5]	<i>Эквивалентные уровни звука по ф-ле (26)</i> $L_{AЭквРТ} = L_{AЭкв} - \Delta L_{Aрас} - \Delta L_{Aвоз} - \Delta L_{Aв/т} - \Delta L_{Aпок} - \Delta L_{Aзел} - \Delta L_{Aэкр} - \Delta L_{A\theta} - \Delta L_{Aзас} + \Delta L_{Aотр}$ <i>Максимальные уровни звука по ф-ле (27)</i> $L_{AмаксРТ} = L_{Aмакс} - \Delta L_{Aрас} - \Delta L_{Aвоз} - \Delta L_{Aв/т} - \Delta L_{Aпок} - \Delta L_{Aзел} - \Delta L_{Aэкр} - \Delta L_{A\theta} - \Delta L_{Aзас} + \Delta L_{Aотр}$

Как следует из табл.1, в методиках [3] - [5] сохраняется преимущество в составе параметров снижения, входящих в основную формулу распространения шума. Начиная с [4] отдельно выделяются соотношения для расчёта максимального уровня звука в расчётной точке.

Рассмотрим зависимости, используемые для учёта снижения эквивалентных уровней звука расстоянием, и далее проиллюстрируем их.

В методике [3] принимается цилиндрическая модель излучения бесконечного линейного источника шума (ф-ла 2.2 [3]):

$$\Delta L_{A_{рас.}} = 10 \lg \left(\frac{R}{R_0} \right) \quad (1)$$

В [4] и [5] используются одинаковые соотношения (ф-ла (7.2) [4], ф-ла (28) [5]), в которых участок дороги рассматривается как линейный источник конечной длины и используется универсальная расчетная зависимость, описывающая все закономерности расширения звуковой волны по мере удаления от него: от цилиндрического расширения через квазицилиндрическое к сферическому:

$$\Delta L_{A_{рас.}} = 10 \lg \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{l}{2R_0} \right) \right] - 10 \lg \left[\operatorname{arctg} \frac{l}{2R} \right] - 10 \lg \left(\frac{R_0}{R} \right) \quad (2)$$

На момент написания статьи в проекте [5] последнее слагаемое ф-лы (29)[5] приведено с опечаткой (должно быть $10 \lg(R_0/R)$ вместо $10 \lg(R/R_0)$, либо изменён знак), но это, несомненно, будет исправлено в окончательной редакции документа.

Проиллюстрируем зависимости (1) и (2) на небольшом примере: рассмотрим участок однополосной дороги длиной 100 метров с условно заданным эквивалентным уровнем звука на 7.5 м, равным 75 дБА. Построим шумовые карты в окрестности выбранного сегмента дороги. Будем рассматривать сначала только параметр снижения расстоянием (рис. 1), а затем тот же параметр с добавлением поправки на угол видимости участка из расчётной точки (рис. 2).

Необходимо отметить, что для всех описываемых далее построений под параметром R в формулах (1)-(5) подразумевается кратчайшее расстояние между расчётной точкой и бесконечным линейным источником, расположенное на перпендикуляре к его оси, что соответствует математическому смыслу линейных моделей.

Как видно из рис. 1, соотношения (1) и (2) по форме изофон показывают картину цилиндрического излучения. При этом учёт длины рассматриваемого сегмента дороги (показан синим отрезком в центре рис.1) в соотношении (2) изменяет интенсивность снижения уровня звука с расстоянием от цилиндрического к сферическому закону. Оба соотношения нечувствительны к фактическому расположению рассматриваемого сегмента дороги относительно расчётной точки, т.к. используется кратчайшее к оси источника расстояние R .

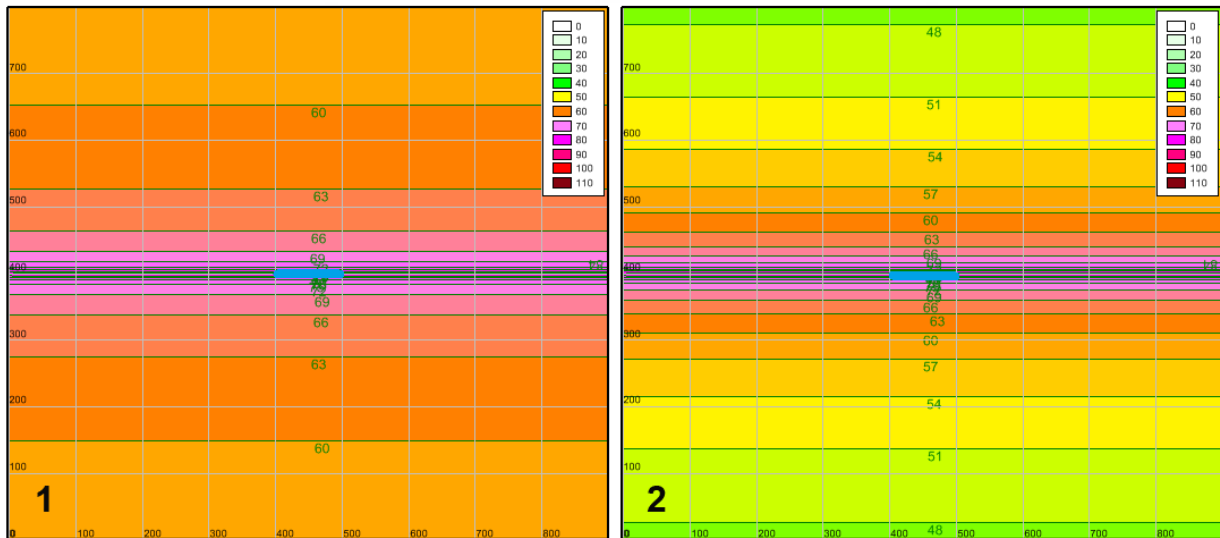


Рисунок 1. Снижение за счёт расстояния без учёта угла видимости (1 – по ф-ле (1), 2 - по ф-ле (2)).

Для дальнейшего анализа и возможности более корректного сравнения, добавим в рассматриваемые соотношения поправку на угол видимости участка дороги ΔL_α и будем проводить расчёт снижения шума по формулам:

$$L_{Apm.} = L_{A7.5} - 10 \lg \left(\frac{R}{R_0} \right) + 10 \lg \left(\frac{\alpha}{180} \right) \quad (3)$$

$$L_{Apm.} = L_{A7.5} - 10 \lg \left[\arctg \left(\frac{l}{2R_0} \right) \right] + 10 \lg \left[\arctg \left(\frac{l}{2R} \right) \right] + 10 \lg \left(\frac{R_0}{R} \right) + 10 \lg \left(\frac{\alpha}{180} \right) \quad (4)$$

Здесь следует отметить, что во всех трех методиках [3]-[5] при учете ΔL_α имеется опечатка: соотношение для вычисления поправки на угол видимости ΔL_α , определённой как $10 \lg(\alpha/180)$, имеет обратный знак и при прямой подстановке в вышеописанные формулы даст увеличение уровня звука с уменьшением угла видимости, что противоречит физическому смыслу данной поправки.

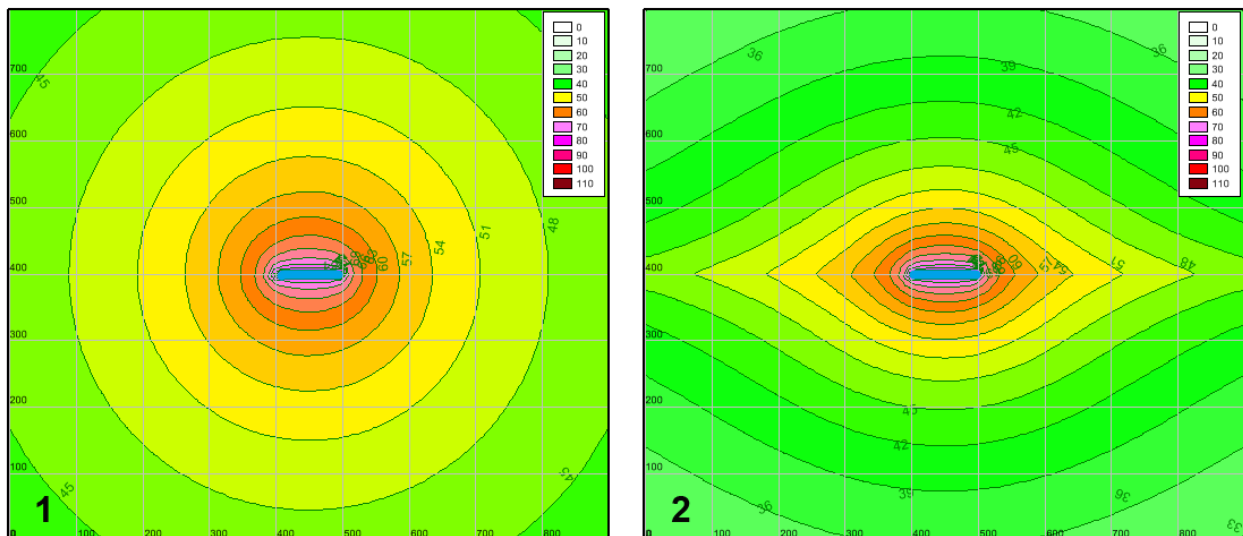


Рисунок 2. Снижение за счёт расстояния с учётом угла видимости (1 – по ф-ле (3), 2 - по ф-ле (4)).

Как можно увидеть на рис. 2, расчёт по соотношению (4) значительно отличается по интенсивности снижения уровня звука от расчёта по (3), и на дистанциях более удвоенного габарита источника, характер снижения близок к сферическому закону. При этом для расчётных точек, не находящихся непосредственно на перпендикуляре к сегменту рассматриваемой дороги, возникают искажения в картине распространения шума, вызванные комбинационным воздействием поправок на угол видимости и длину источника. Это достаточно хорошо объяснимо, принимая во внимание то, что областью определения соотношения (2) является множество точек на перпендикуляре к середине конечного участка дороги (§2.5 [6]). В целом, соотношение (2) более универсально и при «ручном» счёте, когда проектировщик понимает нюансы его использования, представляется более предпочтительным, чем соотношение (1), представляющее идеализированную картину излучения линейного источника. Но при автоматизированном построении карт шума, когда расчётные точки могут находиться в любой области относительно сегментов дороги, соотношения (2) и (4) требуют уточнения, т.к. в случае резких изменений направления транспортной магистрали на картах шума могут появиться зоны искажений, вызванные ограничениями применения формул (2) и (4) (см. рис. 4).

Для полноты сравнения приведём картину распространения шума, рассчитанную по методике [1] с учётом только снижения за счёт дивергенции от точечных источников, представляющих рассматриваемый участок дороги. Разбиение на точечные источники проводится по положениям [1] индивидуально для каждой расчётной точки поля. Каждому точечному источнику из разбиения назначается свой уровень звуковой мощности, исходя из протяжённости презентуемого точкой отрезка и удельной звуковой мощности линейного источника шума. На рисунках 3 и 4 достаточно хорошо видно, что картина распространения шума при расчётах по [1] и по ф-ле (3) аналогична по форме и отличается только по величине снижения, а при снижении по ф-ле (4) поля выглядят достаточно специфично с ярко выраженными краевыми искажениями.

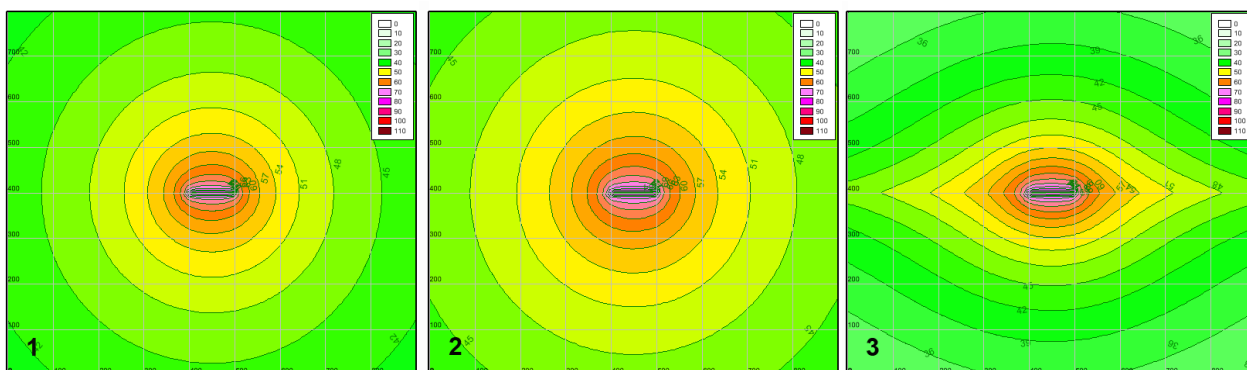


Рисунок 3. Снижение уровней звука от одного сегмента дороги (1 – по ГОСТ 31295, 2 – по ф-ле (3), 3 – по ф-ле (4)).

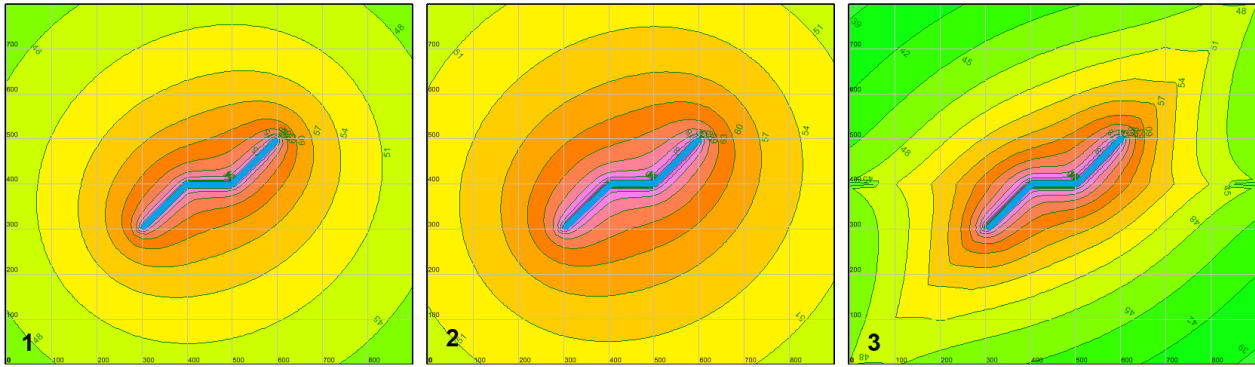


Рисунок 4. Снижение уровней звука от трёх сегментов дороги (1 – по ГОСТ 31295, 2 – по ф-ле (3), 3 – по ф-ле (4)).

Далее рассмотрим возможности методик [3]-[5] в вопросах определения максимального уровня звука. Необходимость выделять расчёт максимального уровня звука от автотранспортного потока в отдельную задачу обусловлена как раз моделированием транспортных магистралей линейными источниками шума. Оперирование при расчёте протяжёнными сегментами дорог хорошо описывает интегральную характеристику в виде эквивалентных уровней шума, но аналогичный подход для максимального уровня, как пикового события от одиночного транспортного средства может дать значительно завышенные результаты.

В методике [3] расчёт максимального уровня звука не описан. На практике для снижения максимального уровня звука расстоянием проектировщиками обычно применялось соотношение $20\lg(R/R_0)$, где R - расстояние от расчётной точки до ближайшей точки дороги на оси крайней полосы движения.

В [4] расчёт максимального уровня звука ведется по ф-ле (7.13), которая по составу практически полностью аналогична ф-ле (7.1), используемой для расчета эквивалентного уровня звука, с подстановкой $L_{Amax7.5}$ вместо $L_{Aэкв7.5}$. При этом для расчета снижения шума расстоянием используется та же зависимость (ф-ла (7.2) [4]), что и для эквивалентного уровня звука. По сути, расчёт может не проводиться – достаточно вычислить разницу между $L_{Amax7.5}$ и $L_{Aтрп7.5}$ и добавить её к рассчитанному эквивалентному уровню в расчётной точке. Учитывая вышеописанные особенности соотношения (2) можно предположить, что в ближней зоне от транспортного источника оценка максимального уровня звука будет завышена относительно сферической модели излучения, а в зонах далее удвоенной длины рассматриваемого участка – аналогична.

В [5] состав зависимостей для расчета снижения шума при распространении шума на местности для эквивалентного и максимального уровней звука также аналогичен, при этом добавлена отдельная формула для расчёта снижения максимального уровня звука расстоянием (ф-ла (31) [5]):

$$\Delta L_{Amax,рас} = -10\lg \sum_{i=1}^{N+1} \frac{l}{R^2 + ((N+1-i)d)^2} + 10\lg \sum_{i=1}^{N+1} \frac{l}{56.25 + ((N+1-i)d)^2}, \quad (5)$$

где l – длина рассматриваемого участка дороги, d – дистанция между автомобилями.

Для иллюстрации расчётов приведём расчётное соотношение для максимального уровня звука с учетом угла видимости по аналогии с ϕ -ми (3) и (4):

$$L_{\text{Амакс.пт.}} = L_{\text{Амакс.7.5}} + 10\lg \sum_{i=1}^{N+1} \frac{l}{R^2 + ((N+1-i)d)^2} - 10\lg \sum_{i=1}^{N+1} \frac{l}{56.25 + ((N+1-i)d)^2} + 10\lg\left(\frac{\alpha}{180}\right) \quad (6)$$

Формула (5) является дискретным аналогом формулы (2). При уменьшении дистанции d значение $\Delta L_{\text{Амакс.рас}}$ стремится к (2), а при увеличении дистанции стремится к закону $20\lg(R/R_0)$. При этом снижение шума по (6) интенсивнее снижения по [1] (в [1] выбирается наибольшее значение из максимумов от точечных источников, полученных при разбиении дороги), т.о. оценка максимального уровня по ϕ -ле (6) дает наибольшее снижение из всех рассмотренных методик (см. рис. 5). Использование формулы в режиме автоматизации расчётов затруднено по аналогичным с вышеописанными для соотношений (2) и (4) причинам. Также не ясен вопрос о выборе интервала d (дистанции между автомобилями), по сути это должен быть интервал между наиболее шумными участниками дорожного движения, например грузовыми автомобилями. В таком случае оценку интервала можно получить из параметров интенсивности движения и процентного состава грузового транспорта в потоке, но в явной форме такие положения в [5] не содержатся.

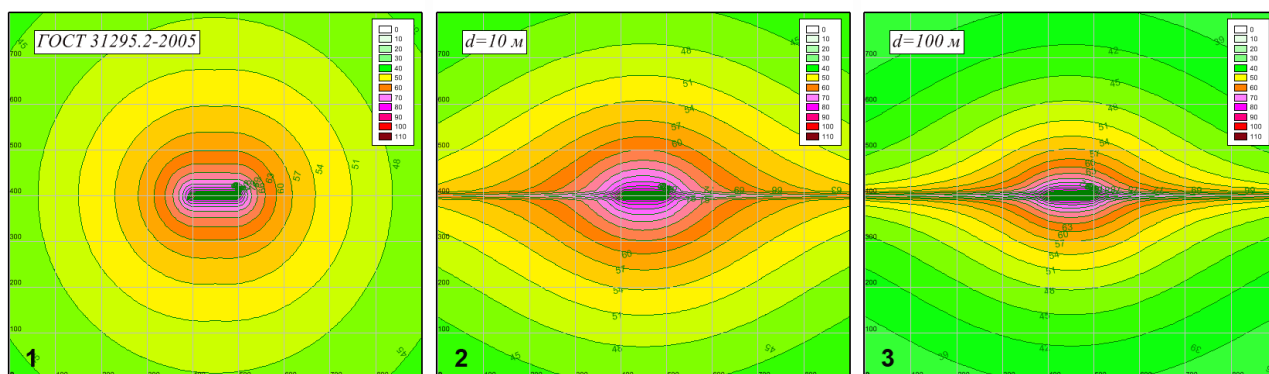


Рисунок 5. Снижение максимального уровня звука (1 – по ГОСТ 31295, 2 – по ϕ -ле (6) при $d=10$ метров, 3 – по ϕ -ле (6) при $d=100$ метров).

Кратко остановимся на ещё двух важных факторах моделей оценки шумового воздействия: учёте отражённого звука и учёте процесса дифракции звука.

В [3]-[5] явный учёт отражённого звука отсутствует, предлагается добавлять по 3 дБ возле фасадов зданий, что можно адекватно сделать только при ручном расчёте в точку, но не для карт шума. В [5] вводится соотношение (59) с учётом ширины улицы и высоты расчётной точки, но для автоматизации оно малоприспособно.

Вопрос экранирования в методиках [3]-[5] решается на основе широко известных зависимостей для полубесконечных тонких экранов, а также для широких зданий, насыпей и выемок по номограммам из работ Маекавы. Обсужде-

ние нюансов применения этих соотношений, к сожалению, выходит за рамки данной статьи, но если сделать краткий вывод, то можно отметить, что они плохо пригодны для автоматизации ввиду наличия большого числа неформализованных параметров. В ручном режиме проектировщик может оценить вклад экранирования по этим соотношениям. В режиме автоматизации получить непрерывную модель для учета экранирования сложной застройкой по положениям [3]-[5] практически невозможно.

Заключение

Выполненный анализ показывает, что методики [3]-[5] имеют ряд ограничений для автоматизации акустических расчетов. В зависимости от конкретного выбора методики, часть параметров, влияющих на распространение шума на местности, остаётся недоступной для алгоритмизации, что не позволяет представить расчёт в виде целостной компьютерной модели. В настоящий момент полностью пригодным для автоматизации остаётся только ГОСТ 31295.2, который позволяет подробно моделировать распространение шума от транспортных потоков. Это отражено в последних изменениях нормативных документов [5] и является их несомненным достоинством, т.к. позволяет проектировщикам выбирать способ и точность реализации расчётов в диапазоне от рекогносцировочной ручной оценки до полной компьютерной модели. Также следует отметить, что для формул (2) и (5) желательно проведение модификации с учётом расположения расчётной точки сбоку от рассматриваемого участка дороги, либо явное описание области применения указанных соотношений в тексте нормативных документов.

Список литературы

1. ГОСТ 31295.2-2005 Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчёта.
2. СП 51.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
3. ОДМ «Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения» Утверждены распоряжением Минтранса России № ОС-362-р от 21.04. 2003. –М.: Росавтодор, 2003.
4. ОДМ 218.2.013-2011. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. –М.: Росавтодор, 2011.
5. СП XXX.1325800.2016. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков (проект, 1-я редакция).
6. Основы проектирования транспортных шумозащитных экранов. Учеб. пособие/И.Л. Шубин, И.Е. Цукерников, Н. Николов, А. Писарски. –М: ИД «БАСТЕТ», 2015.