

X Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием

«ЗАЩИТА ОТ ШУМА И ВИБРАЦИИ»

1-3 октября 2025 года, Санкт-Петербург



Акустический расчет для громкоговорителей систем оповещения и управления эвакуацией с использованием программы АРМ "Акустика" версия 3

Авторы

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

ООО «ТЕХНОПРОЕКТ»

г. Санкт-Петербург, РФ

Системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)



СОУЭ предназначены для обеспечения безопасности людей в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Одним из основных компонентов таких систем являются звуковые и речевые оповещатели, которые в случае чрезвычайных происшествий могут предупредить людей, что настало время для эвакуации и управлять ее процессом.

Для того чтобы звуковые и речевые оповещатели работали эффективно и достоверно передавали информацию, необходимо провести акустический расчет. Для повышения достоверности акустического расчета он должен включать учет различных факторов, влияющих на распространение звука в помещении и на территории.

Требования к пожарным оповещателям СОУЭ



1. **СП 3.13130.2009** Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности.
2. **СП 3.13130.2025 (проект)** Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности.

Согласно **СП 3.13130.2009**:

- звуковые сигналы СОУЭ должны обеспечивать уровень звука не менее чем на 15 дБА выше допустимого уровня звука постоянного шума в помещении на высоте 1,5 м от уровня пола.
- звуковые сигналы СОУЭ должны обеспечивать общий уровень звука (уровень звука постоянного шума вместе со всеми сигналами, производимыми оповещателями) не менее 75 дБА на расстоянии 3 м от оповещателя.
- При этом имеется ограничение верхнего порога уровня звука - не более 120 дБА в любой точке рассматриваемого помещения.

Требования к пожарным оповещателям СОУЭ



- В спальнях помещений звуковые сигналы СОУЭ должны иметь уровень звука не менее чем на 15 дБА выше уровня звука постоянного шума в защищаемом помещении, но не менее 70 дБА на уровне головы спящего человека.
- Настенные звуковые и речевые оповещатели должны располагаться таким образом, чтобы их верхняя часть была на расстоянии не менее 2,3 м от уровня пола, но расстояние от потолка до верхней части оповещателя должно быть не менее 150 мм.

Для СОУЭ важно, чтобы превышение соблюдалось в том частотном диапазоне, в котором генерируется основная энергия сигнала. Для большинства СОУЭ основная звуковая энергия генерируется в речевом диапазоне частот колебания звука.

При выборе звуковых оповещателей важно, чтобы по тону они отличались от других сигналов и фонового шума.

Методики для акустических расчетов

Рекомендации по методике акустического расчета для звукового оповещения в действующем СП 3.131300.2009 [1] отсутствует.

В проекте актуализированного СП 3.131300 [2] в приложении Д приведены рекомендации по выполнению электроакустического расчета оповещателей.

В этом приложении описана упрощённая методика расчета, учитывающая только прямую составляющую распространения звука в помещении.

Имеется опечатка в ф-ле (Д.2) для снижения УЗД расстоянием:

$$L_{p_2} = L_{p_1} - 20 \lg \left(\frac{r_1}{r_2} \right),$$

В пункте Д.1 имеется указание о предпочтительности использования методик и программных средств, позволяющих наиболее полно учитывать все факторы при моделировании среды распространения звука.

Методики для акустических расчетов



Производители оповещателей для электроакустических расчетов часто предлагают использовать различные упрощенные онлайн-калькуляторы или программы.

При этом в этих программах расчет снижения уровня звукового давления сигнала в расчетной точке также вычисляется по зависимости $20\lg(r)$, где r - расстояние в метрах от оповещателя.

Величина ослабления сигнала оповещателя в расчетах при распространении звука в соседние помещения принимается для обычных дверей 10 дБ, для противопожарных 20 дБ.

Недостатки упрощенных методик



Основные недостатки упрощенных методик электроакустического расчета оповещателей:

- не учитывается отраженная составляющая звука;
- не учитываются фактические звукопоглощающие свойства поверхностей;
- не учитывается экранирование преградами;
- при расчете проникающего шума не учитывается разнообразие звукоизолирующих свойств ограждающих конструкций.



Методики для акустических расчетов

Актуальная в РФ документация для акустических расчетов:

СП 51.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» (с Изм.1-4).

Для расчетов в помещениях:

- **СП 254.1325800.2016** Здания и территория. Правила проектирования защиты от производственного шума.

Для расчетов на территории:

- **ГОСТ 31295.2-2005** Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчёта.
- **ГОСТ Р 56234.3-2019** Акустика. Программное обеспечение для расчетов уровней шума на местности. Часть 3. Рекомендации по обеспечению качества расчетов по ИСО 9613-2.

Алгоритм акустического расчета с помощью программного обеспечения



Акустический расчет оповещателей рекомендуется выполнять с использованием программного обеспечения, позволяющего наиболее полно учитывать все факторы при моделировании среды распространения звука и характеристик оповещателей.

Алгоритм расчета звуковых оповещателей с использованием программного обеспечения может включать в себя следующие основные этапы:

- 1) изучение архитектурно-планировочных решений и определение необходимых для расчета СОУЭ помещений и зон территорий;
- 2) построение компьютерной модели среды распространения звука в помещениях и на территории;
- 3) определение фонового шума в помещениях и на территории, и внесение этих данных в компьютерную модель;

Алгоритм акустического расчета с помощью программного обеспечения



- 4) назначение необходимого превышения уровня звука сигнала оповещателей над фоном;
- 5) выбираются предварительные места расположения и типы оповещателей;
- 6) из паспорта оповещателя берется его звуковая характеристика и диаграмма направленности;
- 7) в компьютерной модели размещаются оповещатели с учетом их высот и ориентации главной оси излучения звука, и вносятся их характеристики уровней звука и направленности;
- 8) выполняется автоматизированное построение карт с изолиниями превышений уровней звука оповещателей над фоном и суммарного уровня звука, и делается вывод о соответствии нормативным требованиям;

Алгоритм акустического расчета с помощью программного обеспечения



9) в случае, если карты с изолиниями показывают недостаточность предварительных решений, производится коррекция количества, типа, мощности, мест расположения и ориентации оси излучения для оповещателей, и выполняется автоматизированное построение новых карт с изолиниями до достижения требуемых показателей;

10) на основе анализа карт с изолиниями назначаются лимитирующие контрольные расчетные точки и в них производится подробный акустический расчет для документального подтверждения соблюдения требований к оповещателям;

11) составляется отчет с описанием принятых решений, с подтверждающими графическими материалами (карты с изолиниями превышений уровня звука и суммарного уровня звука) и подробными акустическими расчетами в контрольных точках.

Некоторые вопросы и проблемы



1. В документации производителей часто отсутствуют шумовые характеристики оповещателей в октавных полосах частот.
2. В документации производителей часто отсутствуют удобные для применения данные по направленности излучения звука оповещателем.
3. Имеется неоднозначное толкование вопроса, какой шум принимать как фоновый.

Примеры шумовых характеристик и показателей направленности оповещателей



- 2.4. Уровень звукового давления на расстоянии
1 м по оси оповещателя (100-105) дБ
- 2.5. Чувствительность оповещателя*102 дБ
(* применяется при расчетах систем СОУЭ)
- 2.6 Частотная характеристика сигнала в полосе (2 - 3) кГц
- 2.7. Диаграмма направленности звука на рис.2 (п.5.3)

- 2.3. Уровень звукового сигнала на расстоянии 1 м по
оси оповещателя - не менее 103 дБ.
- 2.4 Частота звукового сигнала - 2500 Гц

Громкость, дБ
102
106
106
106
112
112
112
112



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Номинальная шумовая мощность, Вт	6 / 3 / 1,5 / 0,75
Номинальное входное напряжение, В	100
Линейный уровень чувствительности, дБ, не менее	92
Эффективно воспроизводимый диапазон частот, Гц, не уже	от 100 до 20000
Линейный номинальный уровень звукового давления, дБ, не менее	99
Угол излучения в горизонтальной плоскости, градус, на частоте:	500 Гц — 180 1 кГц — 125 2 кГц — 145 4 кГц — 90
Угол излучения в вертикальной плоскости, градус, на частоте:	500 Гц — 200 1 кГц — 160 2 кГц — 100 4 кГц — 85

Уровень звукового давления на резонансной частоте

117дБ±5дБ

Уровень звукового давления

117дБ



Максимальная мощность	15 Вт	30 Вт	50 Вт	50 Вт	100 Вт
Ном. входное напряжение, В.	100 / 70 / 25	100 / 70 / 25	100 / 70 / 25	100 / 70 / 25	100 / 70 / 25
Входная мощность, Вт	15 / 7,5 / 1	30 / 15 / 2	50 / 25 / 3	50 / 25 / 3	100 / 50 / 6,5
Звуковое давление ($P_{вх}/1м$), дБ	122 / 119 / 110	125 / 122 / 113	127 / 124 / 115	127 / 124 / 115	130 / 127 / 118
Макс.звуковое давление. ($P_{max}/1м$)	122	125 дБ	127 дБ	127 дБ	130 дБ
Диапазон воспроизводимых частот	250-6500 Гц	250-6500 Гц	250-6500 Гц	300-6500 Гц	300-6500 Гц
Угол излучения (1000Гц,-6 дБ)	120°	120°	120°	120°	120°

- б) Уровень звукового давления на расстоянии $(1,00 \pm 0,05)$ м, не менее 100 дБ.
С понижением температуры окружающей среды относительно нормальной допускается снижение уровня звукового давления.
- в) Диапазон частот генерируемого звукового сигнала 1,0-4,5 кГц.





3	Максимальная электрическая мощность, Вт	1			1			3			3		
4	Переключаемая электрическая мощность, Вт	0,25	0,5	1	0,25	0,5	1	0,75	1,5	3	0,75	1,5	3
5	Входное сопротивление, кОм	3,6	1,8	0,9	40	20	10	1,2	0,6	0,3	13,3	6,67	3,33
6	Уровень характеристической чувствительности (1 Вт / 1 м), дБ, в полосе частот 300÷3400 Гц	90											
7	Уровень максимальной чувствительности (1 Вт / 1 м), дБ, в полосе частот 1÷1,5 кГц	92											
8	Уровень звукового давления (Pmax / 1 м), дБ, в полосе частот 300÷3400 Гц	90						95					
9	Максимальный уровень звукового давления (Pmax / 1 м), дБ	92						97					
10	Диапазон воспроизводимых частот, Гц, не уже	200÷10000											
11	Угол излучения (1000 Гц / -6 дБ), град.	270											

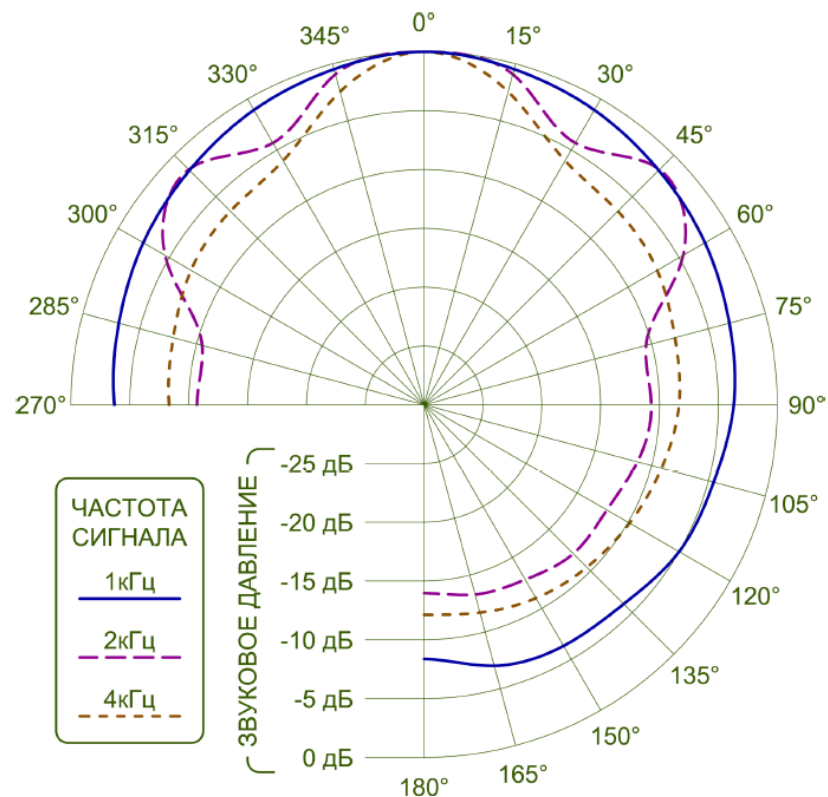


Рис.1 Характеристика направленности БА.

Модификация	Выходная мощность, Вт	Звук. давление, дБ	Габаритные размеры, ВхШхГ мм	Вес, кг
Н2-10У	3	95	253 x185x125	1,1
	5	97		
	10	105		

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Тип установки, крепление – настенный,

Номинальное напряжение – 100 В

Частотный диапазон - 100 Гц - 15 кГц

Частотный диапазон		400 Гц – 6.3 кГц	500 Гц – 6.3 кГц	250 Гц – 6.3 кГц
Максимальный уровень звукового давления (1м)		110 дБ SPL	115 дБ SPL	123 дБ SPL
Чувствительность (1 Вт, 1 м)		102 дБ SPL	104 дБ SPL	106 дБ SPL
Импеданс (1 кГц)		1000 Ом	666 Ом	333 Ом
Углы раскрытия (1 кГц/4 кГц)	Горизонтальные	100°/40°		
	Вертикальные	100°/30°		



2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Выходная мощность – 12 / 25 Вт

Номинальное напряжение – 100 В

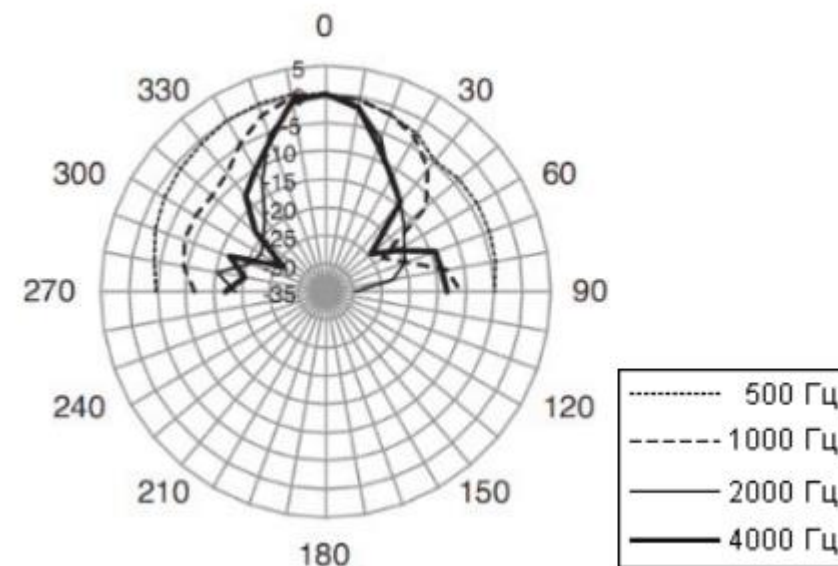
Частотный диапазон – 200 Гц...8 кГц

Звуковое давление – 112 дБ

Выходная мощность	1, 3, 5, 7 Вт
Диапазон воспроизводимых частот при неравномерности АЧХ $\pm 1\%$	от 90 Гц до 16 кГц
Соотношение сигнал / шум	≥ 80 дБ
Звуковое давление на синусоидальном сигнале 1 кГц, на расстоянии не более 1 м:	
• 1 Вт	92 ± 1 дБ
• 3 Вт	95 ± 1 дБ
• 5 Вт	99 ± 1 дБ
• 7 Вт	102 ± 1 дБ

Уровень звукового давления при воспроизведении речевого сообщения на расстоянии $(1,00 \pm 0,05)$ м, дБ, не менее	80 ± 5
Неравномерность частотной характеристики в диапазоне частот от 500 до 8000 Гц, дБ, не более	16

4 ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ



Результаты испытаний сведены в таблицу. На основе данных из таблиц построена диаграмма направленности. Формы вертикальной и горизонтальной диаграмм направленности идентичны за счет симметрии при использовании рупорной системы.

Угол, °	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
1000 Гц																			
SPL(1 Вт), дБ	102,8	102,0	101,6	101,4	99,4	98,6	96,7	95,0	93,0	89,9	90,2	87,3	83,5	83,8	84,9	84,1	82,7	83,8	78,7
Ослабление SPL, дБ	0,0	-0,8	-1,2	-1,4	-3,4	-4,2	-6,1	-7,8	-9,8	-12,9	-12,6	-15,5	-19,3	-19,0	-17,9	-18,8	-20,1	-19,0	-24,1
500 Гц																			
SPL(1 Вт), дБ	88,7	88,2	87,0	85,5	84,6	84,0	85,3	85,0	85,6	84,0	83,4	83,8	83,2	83,7	82,9	84,1	84,6	84,7	85,5
Ослабление SPL, дБ	0,0	-0,4	-1,6	-3,1	-4,0	-4,6	-3,3	-3,6	-3,0	-4,6	-5,2	-4,8	-5,4	-4,9	-5,8	-4,6	-4,0	-3,9	-3,1
2000 Гц																			
SPL(1 Вт), дБ	106,3	104,1	98,7	92,8	84,7	80,2	80,5	77,6	77,6	76,0	77,9	83,2	83,7	78,7	76,8	81,5	75,6	83,6	87,7
Ослабление SPL, дБ	0,0	-2,1	-7,5	-13,4	-21,5	-26,0	-25,7	-28,6	-28,6	-30,2	-28,3	-23,0	-22,5	-27,5	-29,4	-24,7	-30,6	-22,6	-18,5
4000 Гц																			
SPL(1 Вт), дБ	91,6	87,5	82,5	80,9	79,1	79,0	74,6	72,3	65,4	70,1	67,6	65,7	62,7	65,0	65,0	63,1	62,7	62,5	62,3
Ослабление SPL, дБ	0,0	-4,1	-9,1	-10,7	-12,5	-12,6	-17,0	-19,3	-26,2	-21,5	-24,0	-25,9	-28,9	-26,6	-26,6	-28,5	-28,9	-29,1	-29,3

Таблица 1. Результаты измерений уровня звукового давления

Примечание: Ослабление уровня звукового давления рассчитывается относительно максимального звукового давления по оси излучения для заданной частоты.

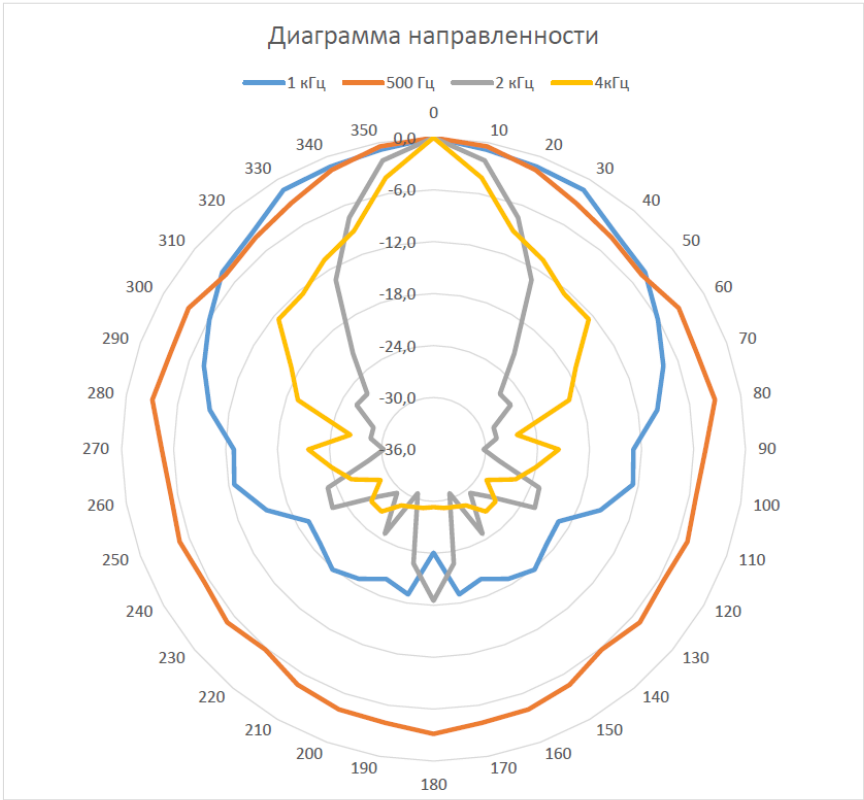


Рисунок 1. Диаграмма направленности для ПГЗ-РЕВУН32-112

Варианты назначения фонового шума

При назначении фонового шума возможны следующие варианты:

- Для существующих объектов можно получить фоновые уровни шума путем натурных измерений в штатном режиме работы оборудования и рабочих процессов;
- Если имеются данные по фактическим источникам шума в рассматриваемых помещениях и на территории, то можно определить фоновые уровни шума расчетным путем по соответствующим методикам акустического расчета;
- Если не известен точный состав и шумовые характеристики источников шума, то фоновый уровень шума принимается равным допустимым значениям для этих объектов, приведенным в табл.1 СП 51.13330.2011, либо, после ввода в действие актуализированного СП 3.13130, по табл. Д.1 в Приложении Д этого свода правил.



Выбор фонового шума

СП 3.13130.2009	4.2. Звуковые сигналы СОУЭ должны обеспечивать уровень звука не менее чем на 15 дБА выше <u>допустимого</u> уровня звука <u>постоянного</u> шума в защищаемом помещении.
СП 3.13130 (проект)	6.8.2 Слышимость звуковых сигналов оповещения о пожаре в помещениях обеспечивается, если скорректированный по А УЗД сигнала о пожаре при всех закрытых дверях превышает эквивалентный УЗД (L_{eq}) <u>постоянного</u> шума не менее чем на 10 дБ в помещениях квартир и не менее чем на 15 дБ во всех других помещениях на высоте 1,5 м от уровня пола помещения в любой его точке. 6.8.7 При проектировании СОУЭ следует учитывать шум, создаваемый производственным оборудованием, как <u>постоянный</u> в случае невозможности автоматического безаварийного останова производственного оборудования при пожаре за время, не превышающее 60 с. Приложение Д. Рекомендации по выполнению электроакустического расчета Д.2 Уровни шума УЗД <u>постоянного</u> шума принимается по результатам фактических измерений или в соответствии со справочными данными, приведенными в таблице Д.1



Назначение помещений	Эквивалентный уровень звукового давления постоянного шума L_{Aeq} , дБА
1 Рабочие помещения административно-управленческого персонала производственных предприятий	65
2 Рабочие помещения диспетчерских служб, кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, участки точной сборки, телефонные и телеграфные станции	70
3 Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для измерительных и аналитических работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	75
4 Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами (за исключением работ, перечисленных в поз. 1 - 3)	80
5 Кабинеты врачей медицинских организаций со стационаром, амбулаторно-поликлинических организаций, санаторно-курортных учреждений	50
6 Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории образовательных организаций, конференц-залы, читальные залы библиотек, зрительные залы клубов, залы судебных заседаний, залы религиозно-культовых зданий	60
7 Музыкальные классы	70
8 Жилые комнаты квартир	40
9 Жилые помещения общежитий, домов отдыха, пансионатов, организаций социального обслуживания, палаты медицинских организаций и санаторно-курортных учреждений и иные спальные помещения, кроме спальных помещений квартир	50
10 Номера гостиниц	50
11 Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, конструкторских, проектных и научно-исследовательских организаций	50
12 Залы кафе, ресторанов	65
13 Фойе театров, кинотеатров, выставочных и концертных залов	60
14 Зрительные залы театров и концертных залов	60
15 Выставочные залы музеев, галерей, многопрофильных выставок	70

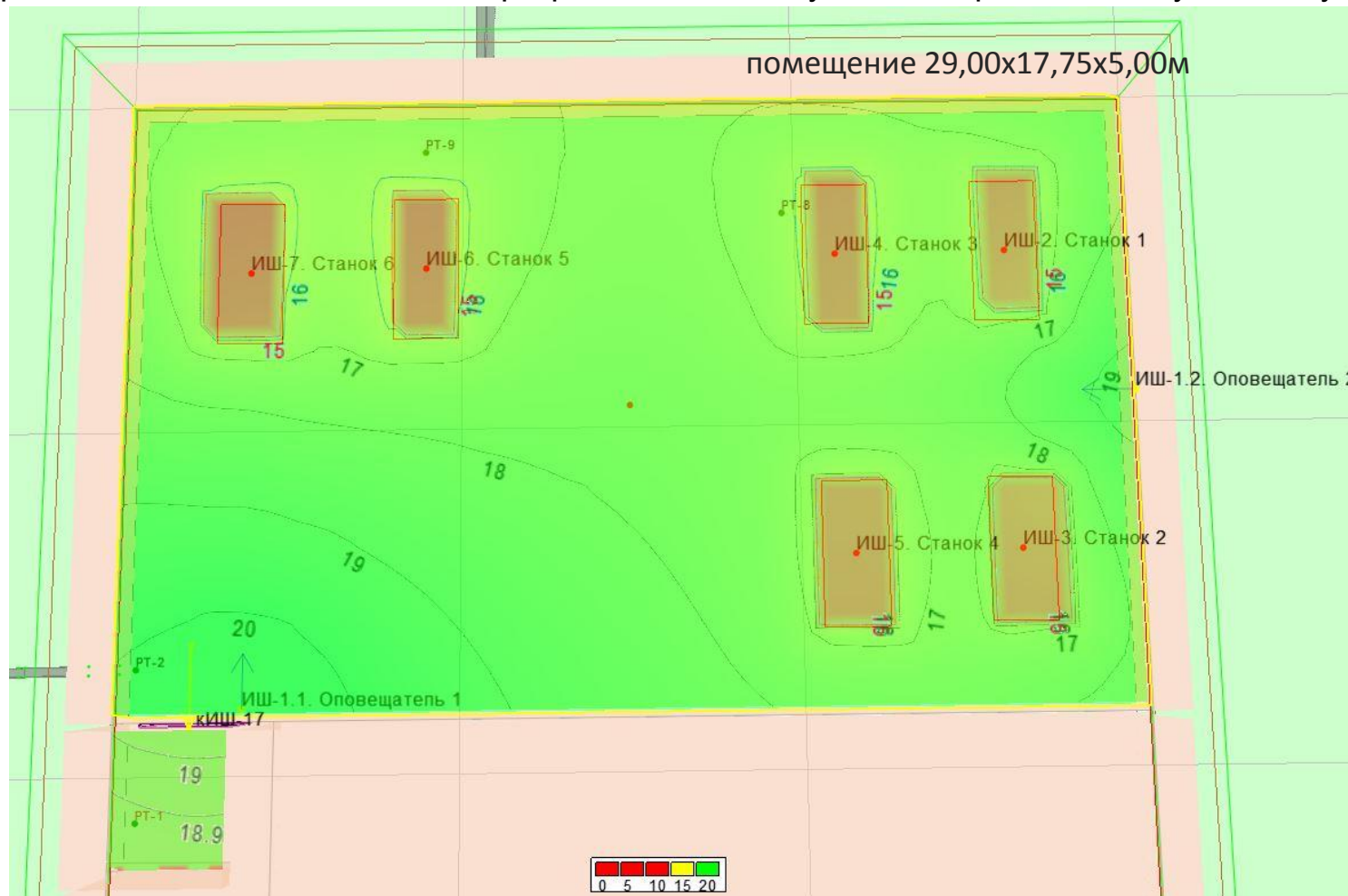
Назначение помещений	Эквивалентный уровень звукового давления постоянного шума L_{Aeq} , дБА
16 Многоцелевые залы	70
17 Кинотеатры	70
18 Спортивные залы	65
19 Торговые залы магазинов	60
20 Пассажирские залы вокзалов и аэровокзалов	60
21 Коридоры и другие коммуникационные пространства	По уровню шума в имеющих прямое сообщение помещений
22 Автостоянка	70
23 Помещения для вентиляторов (постоянно или попеременно работающих)	80
24 Помещения компрессорных и насосных (постоянно или попеременно работающих)	80
25 Помещения серверных и коммутационных с активным оборудованием в общественных зданиях	65
26 Кухни ресторанов и кафе	70
27 Стадионы	80
28 Ванные, душевые, санузлы	55
29 Машинные залы центров обработки данных	95
Примечания 1. В производственных помещениях с рабочими местами УЗД постоянного шума может быть выше 85 дБА, а также может быть предусмотрено использование средств индивидуальной защиты слуха. 2. При использовании приведенными в таблице при проектировании СОУЭ в строящихся и не эксплуатируемых зданий уровень шума необходимо уточнять фактический УЗД постоянного шума при вводе системы в эксплуатацию.	

СП 3.13130
(проект)

Таблица Д.1

Акустический расчет с помощью программы АРМ «Акустика» в помещении

Пример расчета выполнен с помощью программы АРМ «Акустика» версия 3 с модулем «Внутренний шум»



ИШ1.1 и 1.2 – оповещатели
типа ОРБИТА МК М-3



Рисунок 1 — Трехмерная схема с изолиниями превышений уровня звука от оповещателей над фоновым шумом при расчете в помещениях

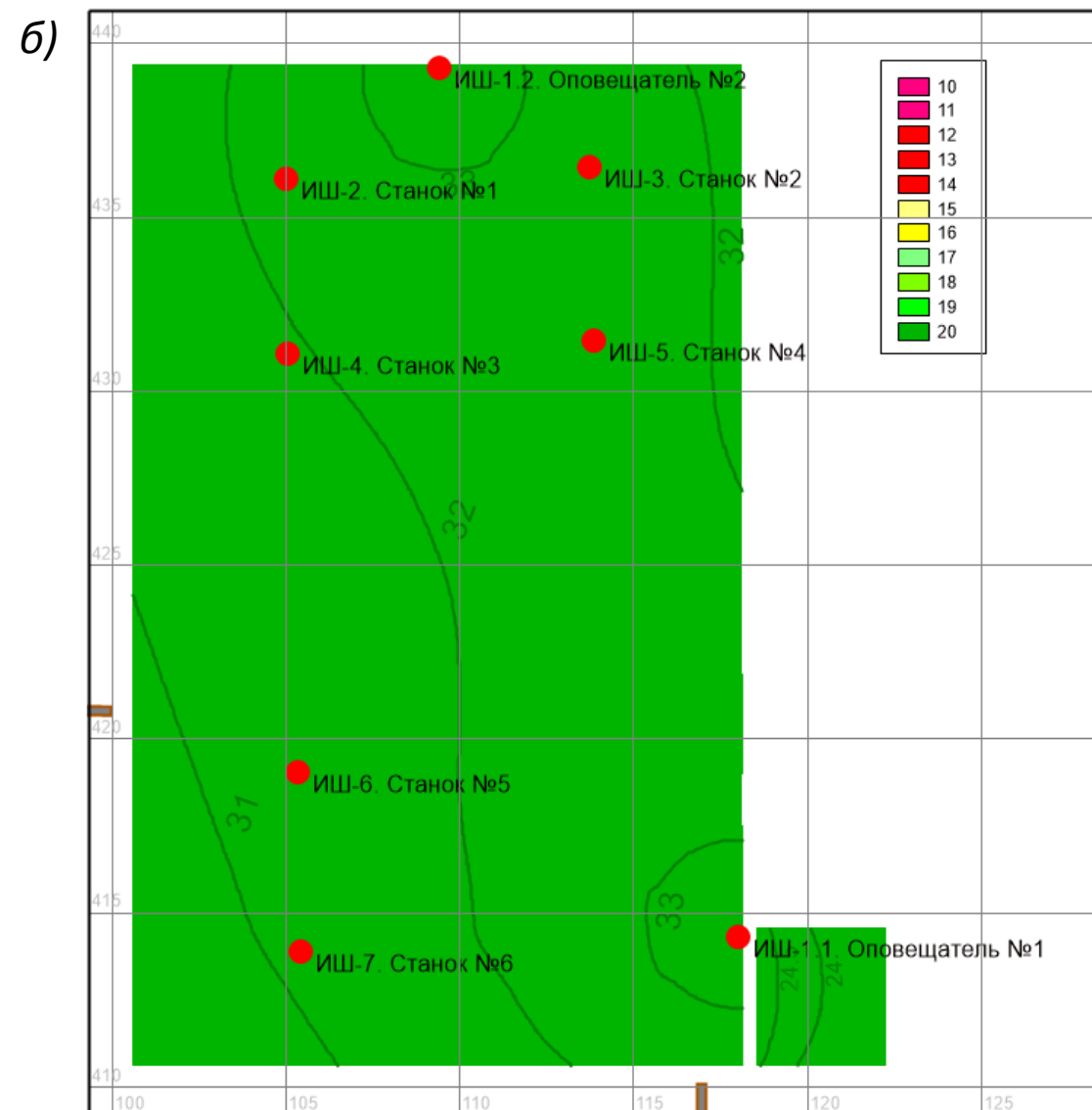
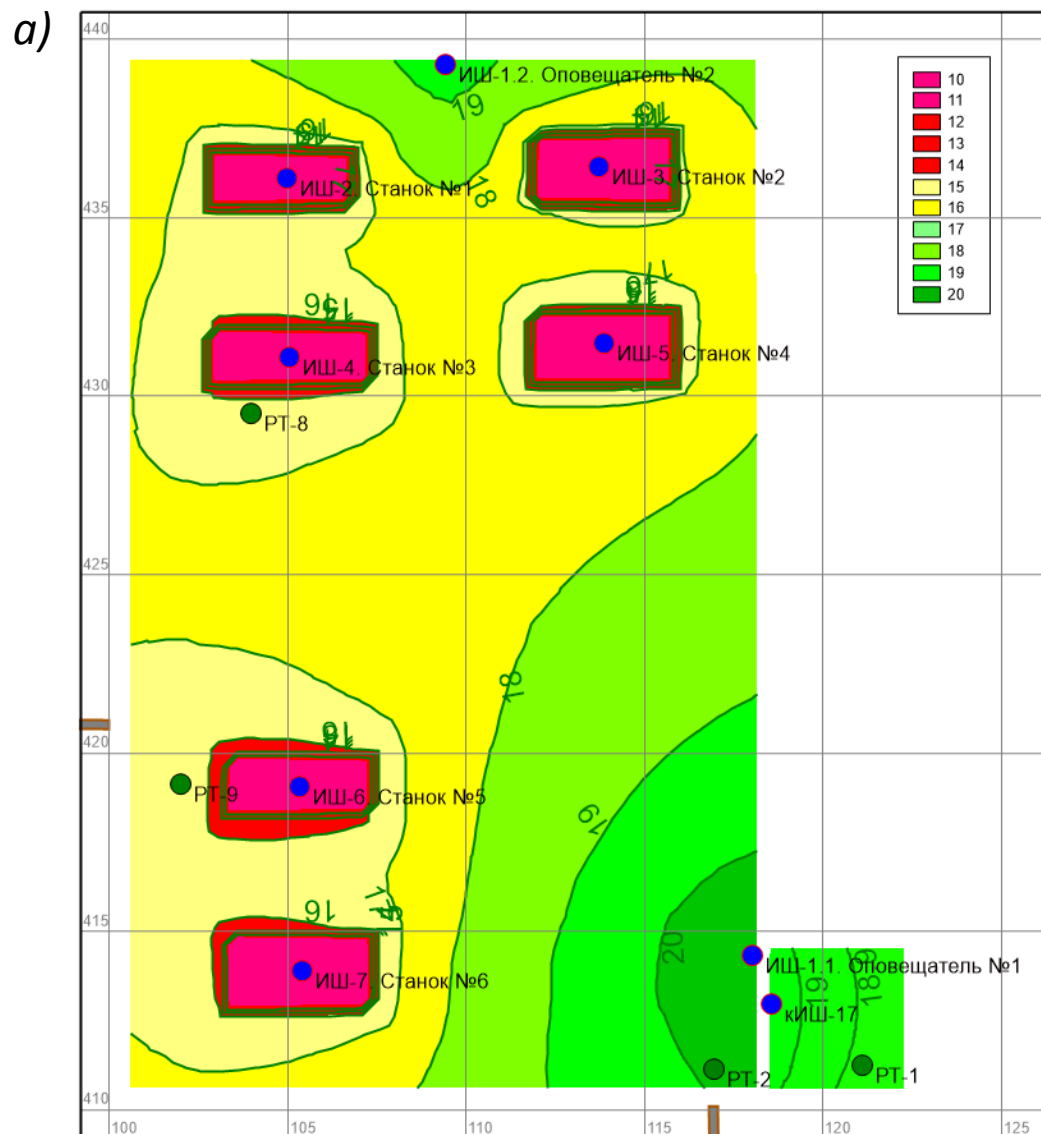
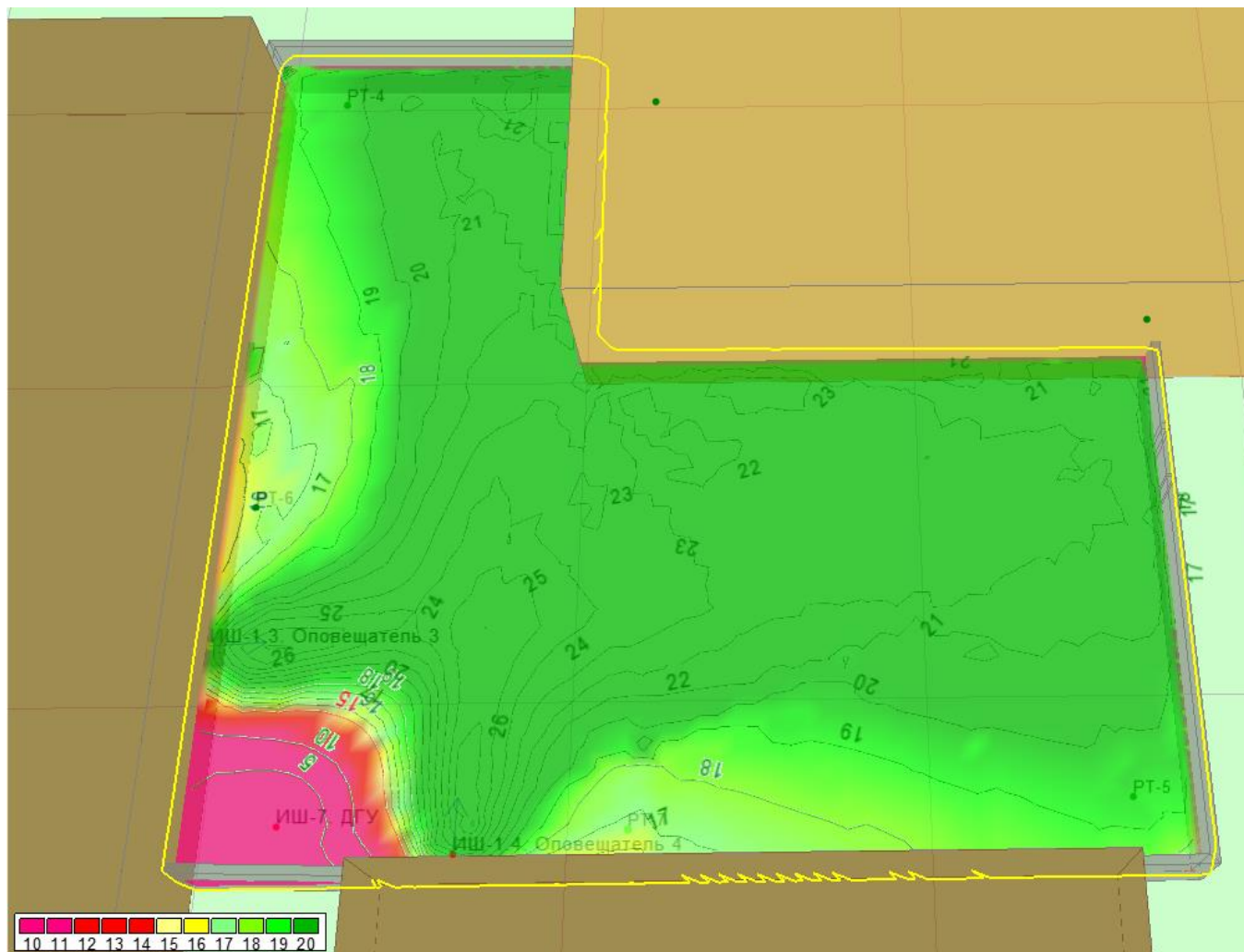


Рисунок 2 — План с изолиниями превышений уровня звука от оповещателей над фоновым шумом при расчете в помещениях (а – фон рассчитан по характеристикам ИШ; б – фон принят 80 дБА)

Акустический расчет с помощью программы АРМ «Акустика» на территории



ИШ1.3 и 1.4 – оповещатели
типа Ревун 32-112

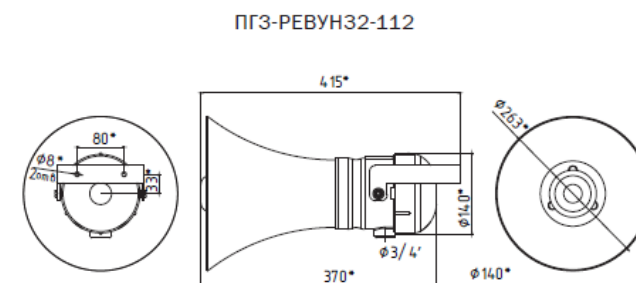
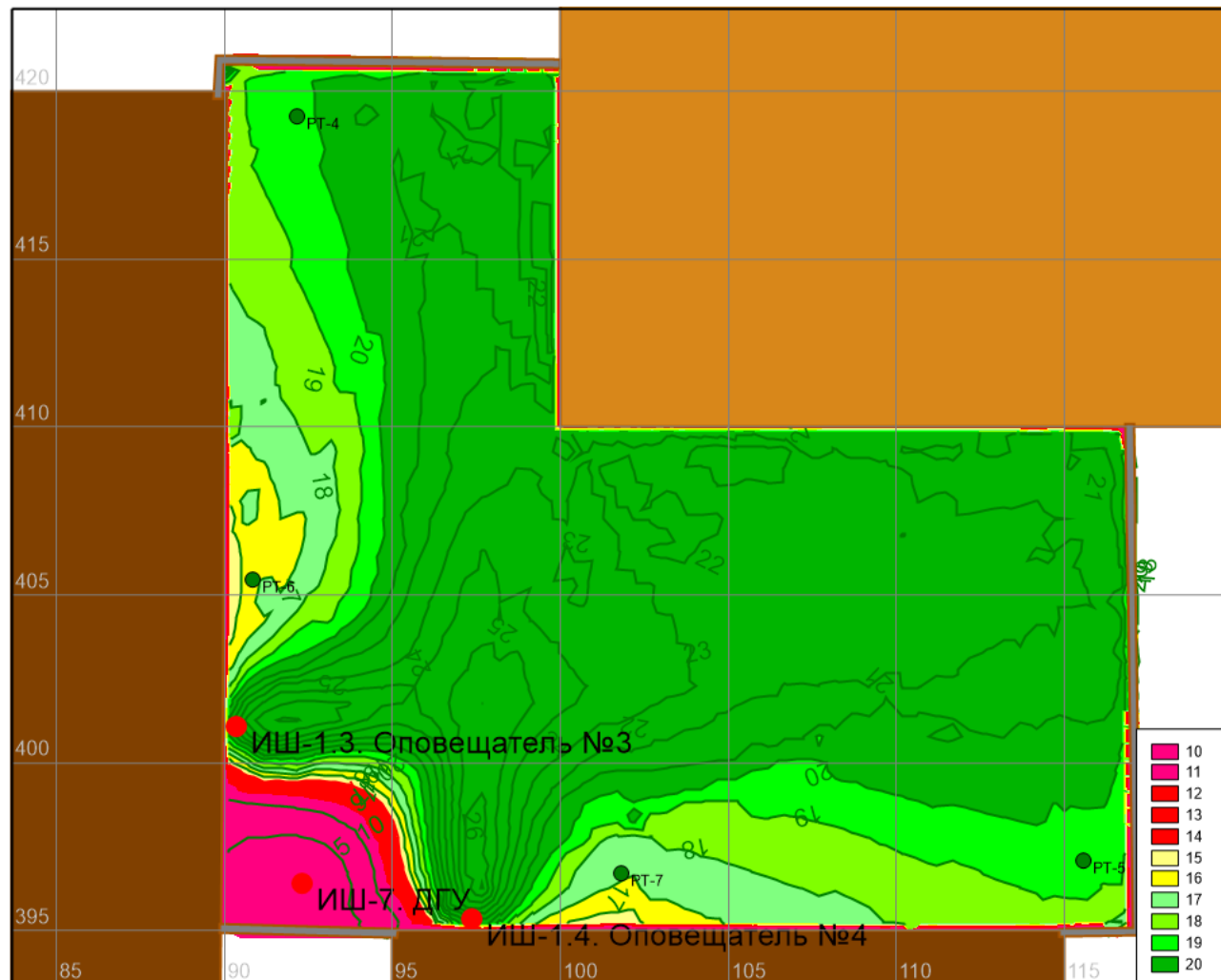


Рисунок 3 — Трехмерная схема с изолиниями превышений уровня звука от оповещателей над фоновым шумом при расчете на территории

а)



б)

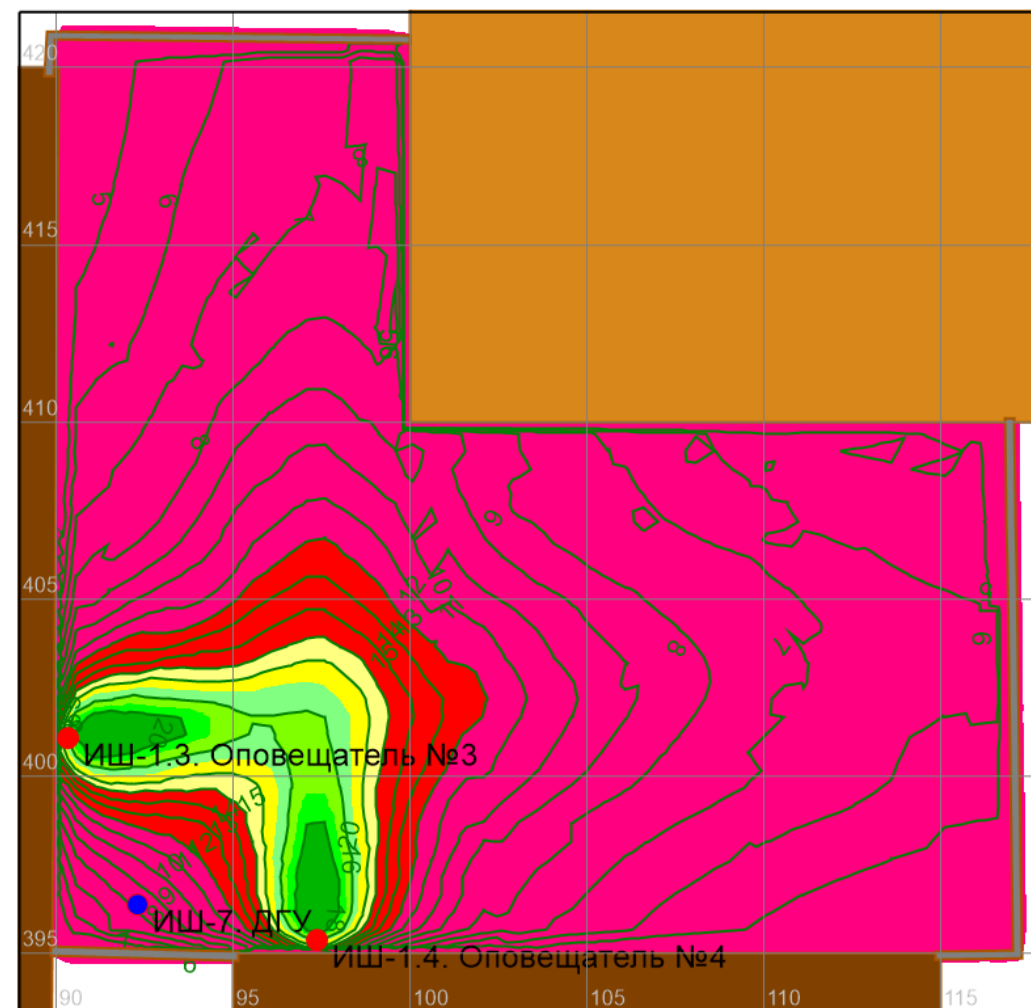


Рисунок 4 — План с изолиниями превышений уровня звука от оповещателей над фоновым шумом при расчете на территории (а – фон рассчитан по характеристикам ИШ; б – фон принят 80 дБА)

Заключение



1. Упрощенные методики акустического расчета для оповещателей имеют ряд недостатков, пренебрегая важными составляющими акустического расчета и не учитывают разнообразие встречаемых ситуаций и параметров объектов.
2. Применение специализированных компьютерных программ позволяет учесть основные факторы, влияющие на распространение звука, что повышает достоверность и обоснованность принятых решений при выборе звукоизлучающих элементов систем СОУЭ, их количества и мест расположения.
3. В виду того, что не всегда производителями предоставляются данные по шумовым характеристикам и направленности для оповещателей в удобном для акустических расчетов формате, необходимо согласование требований к оформлению паспортных технических характеристик оповещателей с действующей методической документацией по выполнению акустических расчетов.

Благодарю за Ваше внимание!

