

Mini-TES gaz porshenli qurilmasi modulli binosini shovqindan izolyatsiya qilishning ikki usulini qiyosiy texnik-iqtisodiy tahlili

Bekhzod B. Oppokhujaev^{1, a)}, Mehriya A. Koroli¹

^{1, a)} tayanch doktorant, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; oppokhujaevbekhzod7578@gmail.com <https://orcid.org/0009-0009-4757-0928>

¹ PhD, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; mkoroli@list.com <https://orcid.org/0000-0002-4113-0923>

Dolzarbli: mini-TES modulli binosida joylashtirilgan, elektr quvvati 2300 kVt bo'lgan MWM TCG 3020 V20 gaz porshenli qurilmasi (GPQ) kuchli shovqin manbai hisoblanadi: ishlayotgan dvigatel korpusi yonida tovush bosimi darajasi 100–105 dBA ga yetadi. Bunday qurilmalar ko'pincha turar-joy va jamoat binolariga yaqin joylashtirilgani sababli, shovqin bo'yicha sanitariya me'yorlariga rioya qilish ekspluatatsiyaning majburiy shartidir. Ishda modulli binoni shovqindan izolyatsiya qilishning amalda joriy etilgan ikki usuli qiyoslanadi.

Maqsad: binoni to'liq akustik panellar bilan qoplash (Chilonzor obyekti) hamda bino oddiy panellar bilan qoplangan holda agregat atrofiga lokal akustik g'ilof o'rnatish (Sergeli obyekti) usullarini texnik-iqtisodiy va texnik jihatdan qiyoslash, talab etilgan akustik samaradorlikni kamroq kapital xarajatlar bilan ta'minlaydigan yechimni aniqlash.

Usullari: bir xil bino o'lchamlari (25,5×20,0 m) va panel qalinligi (150 mm) sharoitida ikkala variant qiymati hisoblandi; komponentning uch o'lchovli modeli qurildi; ikki amaldagi obyekt fotomateriallari tahlil qilindi va akustik samaradorlik qiyosiy baholandi.

Natijalar: akustik himoyani shovqin manbai yonida jamlash akustik panel maydonini 703,45 m² dan 109,73 m² gacha qisqartirish hisobiga shovqin izolyatsiyasiga ketadigan kapital xarajatlarni 40,9 % ga (taxminan 155 298 050 so'm yoki 12 325 AQSh dollari) kamaytirishi ko'rsatildi; bunda baholash ma'lumotlariga ko'ra akustik samaradorlik taqqoslanadigan darajada saqlanadi.

Kalit so'zlar: gaz dvigateli, gaz porshenli qurilma, mini-TES, kogeneratsiya, shovqin izolyatsiyasi, tovush yutuvchi panellar, akustik g'ilof, sendvich-panellar, texnik-iqtisodiy qiyoslash.

Сравнительный технико-экономический анализ двух способов шумоизоляции модульного здания газопоршневой установки мини-ТЭЦ

Бехзод Б. Оппокхужаев^{1, a)}, Мехрия А. Короли¹

^{1, a)} базовый докторант, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; oppokhujaevbekhzod7578@gmail.com <https://orcid.org/0009-0009-4757-0928>

¹ PhD, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; mkoroli@list.com <https://orcid.org/0000-0002-4113-0923>

Актуальность: газопоршневая установка (ГПУ) MWM TCG 3020 V20 электрической мощностью 2300 кВт, размещённая в модульном здании мини-ТЭЦ, является интенсивным источником шума — уровень звукового давления у корпуса работающего двигателя достигает 100–105 дБА. Поскольку такие установки нередко располагаются вблизи жилой и общественной застройки, обеспечение санитарных норм по шуму становится обязательным условием эксплуатации. В работе сопоставляются два реализованных на практике способа шумоизоляции модульного здания.

Цель: провести технико-экономическое и техническое сравнение двух способов — сплошной акустической обшивки здания (объект Чиланзар) и локального акустического кожуха агрегата при обычной обшивке здания (объект Сергели) — и определить решение, обеспечивающее требуемую акустическую эффективность при меньших капитальных затратах.

Методы: в работе выполнен расчёт стоимости обоих вариантов при одинаковых габаритах здания (25,5×20,0 м) и толщине панелей (150 мм); построена трёхмерная модель компоновки; проведён анализ фотоматериалов двух действующих объектов и сравнительная оценка акустической эффективности.

Результаты: показано, что локализация акустической защиты у источника шума снижает капитальные затраты на шумоизоляцию на 40,9 % (экономия около 155 298 050 сум, или 12 325 долл. США) за счёт сокращения площади акустической панели с 703,45 до 109,73 м² при сопоставимой, по оценочным данным, акустической эффективности.

Ключевые слова: газовый двигатель, газопоршневая установка, мини-ТЭЦ, kogeneratsiya, шумоизоляция, звукопоглощающие панели, акустический кожух, сэндвич-панели, технико-экономическое сравнение.

For citation: Oppokhujaev B.B., Koroli M.A. Comparative techno-economic analysis of two noise insulation methods for a gas-engine mini-CHP modular building. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 3 (1), pp. 175-182. <https://doi.org/10.5281/zenodo.23471962>

Received: 18.04.2026
Revised: 11.05.2026
Accepted: 16.06.2026
Published: 19.10.2026

Copyright: © Bekhzod B. Oppokhujaev, Mehriya A. Koroli, 2026. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Comparative techno-economic analysis of two noise insulation methods for a gas-engine mini-CHP modular building

Bekhzod B. Oppokhujaev^{1,a)}, Mehriya A. Koroli¹

^{1,a)} doctoral student, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; oppokhujaevbekhzod7578@gmail.com <https://orcid.org/0009-0009-4757-0928>

¹ PhD, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; mkoroli@list.com <https://orcid.org/0000-0002-4113-0923>

Relevance: a gas-engine unit MWM TCG 3020 V20 with an electrical output of 2300 kW, installed in a mini-CHP modular building, is an intense noise source — the sound pressure level near the running engine reaches 100–105 dBA. Since such units are frequently located close to residential and public developments, compliance with noise sanitary standards is a mandatory operating condition. This paper compares two noise insulation methods implemented in practice.

Aim: to carry out a techno-economic and technical comparison of two methods — full acoustic cladding of the building (Chilanzar site) and a local acoustic enclosure around the unit with conventional building cladding (Sergeli site) — and to determine the solution providing the required acoustic efficiency at lower capital cost.

Methods: the cost of both variants was calculated for identical building dimensions (25.5×20.0 m) and panel thickness (150 mm); a three-dimensional layout model was built; photographic materials of two operating sites were analysed together with a comparative acoustic-efficiency assessment.

Results: it is shown that localizing acoustic protection at the noise source reduces the capital cost of noise insulation by 40.9% (saving about 155 298 050 UZS, or 12 325 USD) by reducing the acoustic-panel area from 703.45 to 109.73 m², with comparable acoustic efficiency according to engineering estimates.

Keywords: gas engine, gas-engine unit, mini-CHP, cogeneration, noise insulation, sound-absorbing panels, acoustic enclosure, sandwich panels, techno-economic comparison.

1. Введение (Introduction)

Развитие распределённой энергетики в Республике Узбекистан сопровождается внедрением когенерационных установок, обеспечивающих совместную выработку электрической и тепловой энергии с высоким суммарным КПД непосредственно у потребителя и снижающих нагрузку на электрические сети [1]. Газопоршневая установка (ГПУ) MWM TCG 3020 V20 при электрической мощности 2300 кВт достигает электрического КПД 43,94 % и суммарного КПД 90,96 % [2, 3], что делает её привлекательной для мини-ТЭЦ промышленного и коммунального назначения.

Вместе с высокой энергоэффективностью газопоршневые агрегаты являются интенсивными источниками шума: уровень звукового давления у корпуса работающего двигателя достигает 100–105 дБА и более. Значительная часть акустической энергии двигателей внутреннего сгорания сосредоточена в низкочастотной области (63–125 Гц), которая недооценивается интегральными уровнями по шкале А и наиболее трудно поддаётся изоляции [4, 5]. Поскольку такие установки нередко размещаются вблизи жилой и общественной застройки, соблюдение санитарных норм по шуму [6] и требований строительных норм по защите от шума [7, 8] становится обязательным условием эксплуатации. Задача решается устройством шумоизоляции модульного здания, в котором размещается агрегат.

Общие принципы снижения шума с помощью кожухов и кабин изложены в стандарте ISO 15667 [9]. Для дизель-генератора, обслуживающего смешанную застройку, полный кожух обеспечил дополнительное снижение уровня около 6 дБ на частотах выше 400 Гц по сравнению с частичным, однако частичный кожух оказался дешевле и проще в вентиляции [10]. Акустический кожух генераторной установки с газовым двигателем обеспечил вносимые потери 5,7–8,7 дБ при пониженной эффективности в полосах 315–630 Гц [11]. Методы прогнозирования вносимых потерь кожухов по звукоизоляции стенок и звукопоглощению внутренней облицовки развиты в работе [12]. Вместе с тем технико-экономические сопоставления «объёмной» защиты (облицовка всего здания) и локальной защиты (кожух у источника) для модульных зданий газопоршневых мини-ТЭЦ мегаваттного класса в доступной литературе практически не представлены.

На практике применяются два принципиально разных подхода. Первый — сплошное звукопоглощение по контуру всего здания: все ограждающие конструкции выполняются из акустических перфорированных сэндвич-панелей. Второй — локализация акустической защиты непосредственно у источника: здание обшивается обычными панелями, а вокруг самого агрегата устраивается акустический кожух. Оба подхода реализованы на двух действующих объектах



мини-ТЭЦ в Ташкенте — в массивах Чиланзар и Сергели соответственно, что даёт возможность их корректного сопоставления.

Цель настоящей работы — выполнить технико-экономическое и техническое сравнение двух способов шумоизоляции и определить, какой из них обеспечивает требуемую акустическую эффективность при меньших капитальных затратах.

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Объектом исследования служит модульное здание для размещения одной газопоршневой установки MWM TCG 3020 V20. Габариты здания приняты по проектной документации [13]: размеры в плане в осях 25,5×20,0 м, высота стены до карниза 9,7 м, до конька 10,93 м. Здание одноэтажное, со скатной кровлей и стальным каркасом; ограждающие конструкции — трёхслойные сэндвич-панели с минераловатным заполнением на базальтовой основе толщиной 150 мм.

В обоих вариантах внутри здания размещается одинаковый комплект основного и вспомогательного оборудования: собственно ГПУ (двигатель и генератор на общей раме), теплообменник контура охлаждения, котёл-утилизатор, установленный сразу после ГПУ по ходу выхлопных газов, глушитель выхлопа, приточный вентилятор, бак смазочного масла и операторская со щитом управления. Чиллеры и сухой охладитель (dry cooler) в обоих вариантах вынесены за пределы здания и устанавливаются на открытой площадке. Такая компоновка идентична для обоих объектов, что обеспечивает корректность сравнения. Основные технические характеристики ГПУ приведены в табл. 1 [2, 3].

Таблица 1. Основные технические характеристики ГПУ MWM TCG 3020 V20

Table 1. Main technical specifications of the MWM TCG 3020 V20 gas-engine unit

Параметр	Значение	Ед. изм.
Электрическая мощность	2300	кВт
Механическая мощность (ISO 3046)	2362	кВт
Электрический КПД	43,94	%
Тепловой КПД	47,03	%
Суммарный КПД	90,96	%
Габариты генераторной установки (Д×Ш×В)	6,56×1,71×2,26	м
Сухая масса генераторной установки	21 490	кг

Стоимость шумоизоляции определялась как произведение площади соответствующей панели на её удельную стоимость. Для варианта 1 (сплошная акустическая обшивка здания):

$$C_1 = S_{\text{ст}} \cdot c_{\text{ак}}, \quad (1)$$

для варианта 2 (обычная обшивка здания и локальный кожух):

$$C_2 = S_{\text{ст}} \cdot c_{\text{об}} + S_{\text{к}} \cdot c_{\text{ак}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{ст}}$ — площадь наружных стен здания, м²; $S_{\text{к}}$ — площадь поверхности кожуха, м²; $c_{\text{ак}}$, $c_{\text{об}}$ — удельная стоимость акустической и обычной панелей, сум/м². Абсолютная и относительная экономия варианта 2 определяются как:

$$\Delta C = C_1 - C_2; \quad \delta = \frac{\Delta C}{C_1} \cdot 100 \%. \quad (3)$$

Площадь наружных стен здания принята по проекту [13] (с учётом фронтонов и за вычетом проёмов) равной $S_{\text{ст}} = 703,45$ м², площадь поверхности кожуха — $S_{\text{к}} = 109,73$ м². Толщина панелей в обоих вариантах принята одинаковой (150 мм). Стоимость кровли и фундамента, а также дополнительных элементов кожуха (каркас, двери обслуживания, шумоглушители вентиляционного контура) в сравнение не включалась; влияние этого допущения рассмотрено в разделе 3. Удельные цены панелей приняты по прайс-листам производителей г. Ташкента (2026 г.); курс пересчёта — 1 долл. США $\approx 12\,600$ сум.

3. Результаты и обсуждение (Results and discussion)

Вариант 1 — сплошная акустическая обшивка здания (объект Чиланзар). На объекте в массиве Чиланзар все ограждающие конструкции модульного здания выполнены из акустических (звукопоглощающих перфорированных) сэндвич-панелей (рис. 1, 2). Перфорированная сторона панели обращена внутрь помещения к источнику шума, за перфорированным листом расположен звукопоглощающий минераловатный слой. Звукопоглощение обеспечивается по всему внутреннему контуру зала, что снижает уровень отражённого звука и звуковую энергию, проходящую через ограждающие конструкции наружу.



Рис. 1. ГПУ MWM TCG 3020 V20 в машинном зале мини-ТЭЦ Чиланзар (акустическая обшивка здания)

Fig. 1. MWM TCG 3020 V20 unit in the engine hall of the Chilanzar mini-CHP (acoustic cladding of the building)



Рис. 2. Газовый двигатель и генератор; на заднем плане — акустические стеновые панели зала (Чиланзар)

Fig. 2. Gas engine and generator; acoustic wall panels of the hall in the background (Chilanzar)

Достоинством такого решения является равномерное снижение реверберации во всём объёме зала и упрощённое обслуживание агрегата. Недостаток — большая площадь дорогостоящей акустической панели: она покрывает все стены здания площадью 703,45 м².

Вариант 2 — локальный акустический кожух ГПУ (объект Сергели). На объекте в массиве Сергели ограждающие конструкции здания выполнены из обычных минераловатных сэндвич-панелей, а вокруг самого агрегата устроен локальный акустический кожух (рис. 3, 4). Кожух облегает генераторную установку с технологическим зазором, необходимым для обслуживания, вентиляции и снятия крышек. Стенки кожуха выполнены двухслойными: перфорированный звукопоглощающий слой обращён к двигателю, наружный сплошной слой обеспечивает звукоизоляцию.



Рис. 3. ГПУ с локальным акустическим кожухом, мини-ТЭЦ Сергели

Fig. 3. Gas-engine unit with a local acoustic enclosure, Sergeli mini-CHP



Рис. 4. Перфорированные звукопоглощающие панели кожуха и радиаторные секции (Сергели)
Fig. 4. Perforated sound-absorbing panels of the enclosure and radiator sections (Sergeli)

Принципиальное преимущество данного подхода — глушение шума непосредственно у источника, до его распространения по объёму помещения. Площадь акустической панели сокращается до $109,73 \text{ м}^2$ (поверхность кожуха), то есть примерно в 6,4 раза по сравнению с первым вариантом.

Трёхмерное моделирование компоновки. Для наглядного сопоставления вариантов построена трёхмерная модель модульного здания с полным комплектом оборудования, отражающая фактическую компоновку: ГПУ в линию с котлом-утилизатором и выхлопным трактом, вынесенные на наружную площадку чиллеры и сухие охладители (рис. 5, 6). Цветовая индикация ограждающих конструкций отражает тип применённой панели.

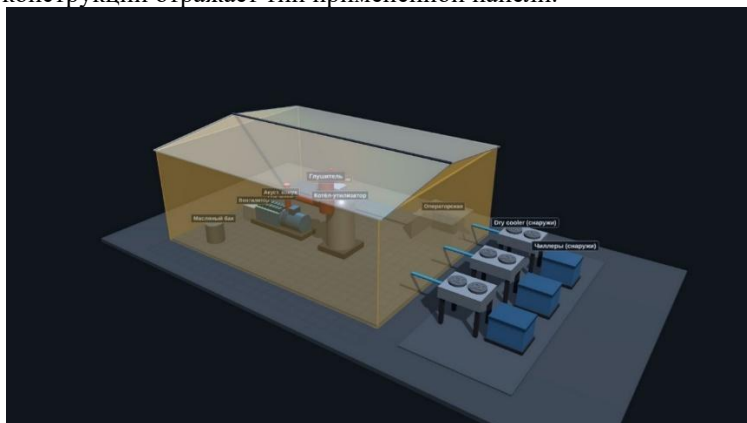


Рис. 5. 3D-модель, вариант 1: все стены здания — акустическая панель (янтарный цвет)
Fig. 5. 3D model, Variant 1: all building walls are acoustic panels (amber colour)

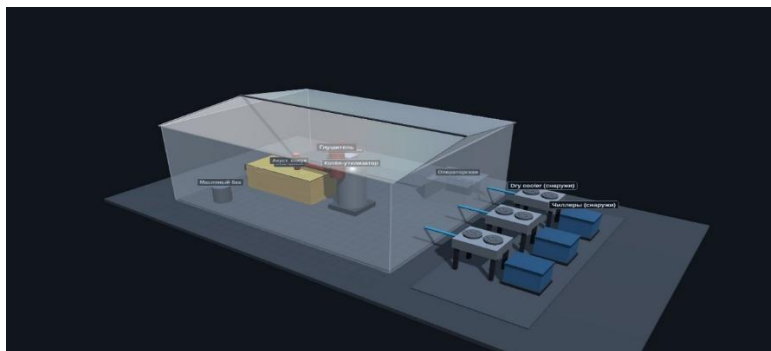


Рис. 6. 3D-модель, вариант 2: стены из обычной панели (серый цвет), акустический кожух — только вокруг ГПУ

Fig. 6. 3D model, Variant 2: walls of conventional panels (grey), acoustic enclosure only around the unit

Технико-экономический расчёт. Удельная стоимость панелей приведена в табл. 2.

Акустическая перфорированная панель является специзделием (перфорированный лист, звукопоглощающий слой, вентиляционные каналы); её цена в 2,3 раза выше стоимости обычной минераловатной панели.

Таблица 2. Удельная стоимость панелей (рынок г. Ташкента, 2026 г.)

Table 2. Unit cost of panels (Tashkent market, 2026)

Тип панели	Цена, сум/м ²	Цена, долл. США/м ²
Обычная минераловатная, 150 мм	235 000	18,7
Акустическая перфорированная, 150 мм	540 000	42,9

Результаты расчёта по формулам (1)–(3) приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Стоимость шумоизоляции по вариантам

Table 3. Noise-insulation cost by variant

Позиция	Площадь, м ²	Цена, сум/м ²	Стоимость, сум
Вариант 1: стены — акустическая панель	703,45	540 000	379 863 000
Итого по варианту 1	—	—	379 863 000
Вариант 2: стены — обычная панель	703,45	235 000	165 310 750
Вариант 2: акустический кожух ГПУ	109,73	540 000	59 254 200
Итого по варианту 2	—	—	224 564 950

Таблица 4. Итоговое сравнение вариантов

Table 4. Final comparison of the variants

Показатель	Вариант 1	Вариант 2
Обшивка здания	акустическая	обычная
Акустическая защита ГПУ	— (всё здание)	локальный кожух
Площадь акустической панели, м ²	703,45	109,73
Стоимость, сум	379 863 000	224 564 950
Стоимость, долл. США	≈ 30 148	≈ 17 823
Экономия относительно варианта 1, сум (%)	—	155 298 050 (40,9 %)

Второй вариант дешевле первого на 155 298 050 сум (≈ 12 325 долл. США), или на 40,9 %. Экономия достигается за счёт сокращения площади акустической панели в 6,4 раза при сохранении обшивки здания обычной панелью.

Акустическая эффективность вариантов. С точки зрения физики распространения звука рассматриваемые варианты реализуют разные принципы. Первый вариант обеспечивает звукопоглощение по контуру помещения: звук от агрегата распространяется по объёму зала, многократно отражается, и при каждом отражении часть энергии поглощается панелями. Второй вариант реализует локализацию источника: звук глушится непосредственно у агрегата, до его распространения по помещению [9, 12].

Важно различать два свойства панели. Звукопоглощение (гашение отражений, снижение реверберации) обеспечивается перфорированным слоем и пористым заполнителем; звукоизоляция (препятствие прохождению звука наружу) обеспечивается массой сплошного слоя [14–16]. Перфорированная панель сама по себе хорошо поглощает, но плохо изолирует, поскольку отверстия пропускают звуковое давление. Поэтому эффективный кожух выполняется двухслойным: перфорированный слой внутри и сплошной массивный слой снаружи. Оценочные уровни звукового давления для обоих вариантов приведены на рис. 7.

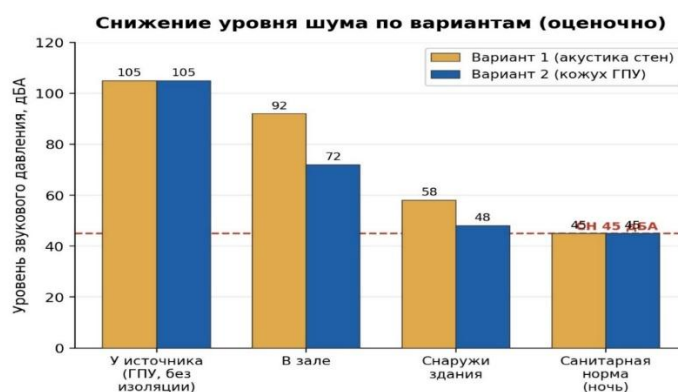


Рис. 7. Оценочное снижение уровня звукового давления по вариантам

Fig. 7. Estimated sound-pressure-level reduction by variant



При корректном исполнении кожуха второй вариант обеспечивает более низкий уровень звукового давления как в зале, так и снаружи здания, поскольку барьер расположен максимально близко к источнику. Эффективность кожуха критически зависит от герметичности акустического контура: открытые вентиляционные проёмы без шумоглушителей способны снизить эффективность кожуха примерно с 20 до 10 дБ [5]. Поэтому обязательны шумоглушители на входе и выходе вентиляционного воздуха, виброразвязка и акустическая заделка проходов трубопроводов и выхлопа, уплотнённая дверь обслуживания. Первый вариант, в свою очередь, обеспечивает равномерный акустический комфорт во всём объёме зала и не требует организации отдельного вентиляционного контура кожуха.

Ограничения расчёта. Полученная экономия является верхней оценкой: в стоимость варианта 2 не включены каркас кожуха, уплотнённые двери обслуживания, шумоглушители и вентиляторы вентиляционного контура кожуха, а в стоимость обоих вариантов — кровля. Учёт этих элементов уменьшит разницу в затратах, однако при её величине (около 155,3 млн сум) качественный вывод о преимуществе варианта 2, по-видимому, сохранится; количественно он должен быть уточнён на стадии проектирования. Акустическая эффективность вариантов оценена расчётно; для её подтверждения целесообразно провести натурные измерения уровней звукового давления на обоих объектах и определение звукоизоляции кожуха по ISO 11546-1 [17].

4. Заключение (Conclusion)

Выполнено технико-экономическое и техническое сравнение двух реализованных на практике способов шумоизоляции модульного здания ГПУ MWM TCG 3020 V20: сплошной акустической обшивки здания (объект Чиланзар) и локального акустического кожуха агрегата при обычной обшивке здания (объект Сергели).

Расчёт показал, что при одинаковых габаритах здания и толщине панелей второй вариант дешевле первого на 40,9 %: экономия составляет около 155 298 050 сум ($\approx$ 12 325 долл. США) за счёт сокращения площади акустической панели с 703,45 до 109,73 м², то есть в 6,4 раза.

Локализация акустической защиты у источника физически эффективнее звукопоглощения по контуру здания при условии двухслойной конструкции кожуха и герметичности акустического контура с шумоглушителями на вентиляции. Первый вариант сохраняет преимущества в простоте обслуживания и равномерности акустического комфорта во всём объёме зала, однако проигрывает по капитальным затратам.

Для модульных зданий газопоршневых мини-ТЭЦ рекомендуется применять локальный акустический кожух (вариант 2) как решение, обеспечивающее требуемую акустическую эффективность при существенно меньших капитальных затратах. Дальнейшие исследования предполагают натурные измерения уровней шума на обоих объектах и уточнение сметы с учётом элементов вентиляционного контура кожуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Koroli M., Nizamova L. The possibilities of application of cogeneration plants at the boiler houses in Uzbekistan // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 461. Art. 01082. DOI: 10.1051/e3sconf/202346101082.
2. MWM GmbH. Gas Engine TCG 3020 V20. Technical Specification. — Mannheim, 2020.
3. ILTEKNO A.Ş. Cogeneration 3×TCG 3020 V20 Natural Gas. Feasibility Report for NURA Group. — Istanbul, 2026.
4. Ziaran S., Chlebo O. Noise control transmission methods of the combustion engine by means of reduction of the vibration // Archives of Acoustics. 2016. Vol. 41, No. 2. P. 277–284. DOI: 10.1515/aoa-2016-0027.
5. Кирюхин А.В., Бобров С.П., Таран В.А., Железнов А.П. Повышение эффективности звукоизоляции энергетического оборудования // Теплоэнергетика. 2022. № 12. С. 23–30. DOI: 10.56304/S0040363622120049.
6. СанПиН РУз № 0267-09. По обеспечению допустимого шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. — Ташкент, 2009.
7. ШНҚ 2.01.08-24. Шовқиндан ҳимоя (Защита от шума). — Ташкент, 2025.
8. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. — М.: Минрегион России, 2011.
9. ISO 15667:2000. Acoustics — Guidelines for noise control by enclosures and cabins. — Geneva: ISO, 2000.
10. Ličanin M., Prašćević M., Mihajlov D. Noise control solution for diesel generator – a case study // Safety Engineering. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 57–62. DOI: 10.5937/SE2002057L.
11. Ghorbani Z., Hassan-Beygi S.R., Ghobadian B. Noise reduction of a portable generator set driven by small natural gas engine using an acoustic enclosure // Agricultural Engineering International: CIGR

Journal. 2016. Vol. 18, No. 3. P. 159–170.

12. Kosała K., Majkut L., Olszewski R. Experimental study and prediction of insertion loss of acoustical enclosures // *Vibrations in Physical Systems*. 2020. Vol. 31, No. 2. Art. 2020209. DOI: 10.21008/j.0860-6897.2020.2.09.

13. Проектная документация «Строительство генераторной установки с газовым двигателем MWM типа TCG 3020V20P, массив Чиланзар, г. Ташкент». Раздел АР. — Ташкент, 2023.

14. Kosała K. Experimental tests of the acoustic properties of sound-absorbing linings and cores of layered baffles // *Vibrations in Physical Systems*. 2021. Vol. 32, No. 1. Art. 2021107. DOI: 10.21008/j.0860-6897.2021.1.07.

15. Cobo P., Simón F. Multiple-layer microperforated panels as sound absorbers in buildings: a review // *Buildings*. 2019. Vol. 9, No. 2. Art. 53. DOI: 10.3390/buildings9020053.

16. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. — М.: Университетская книга, 2013. — 432 с.

17. ISO 11546-1:1995. Acoustics — Determination of sound insulation performances of enclosures — Part 1: Measurements under laboratory conditions (for declaration purposes). — Geneva: ISO, 1995.

REFERENCES

1. Koroli M., Nizamova L. The possibilities of application of cogeneration plants at the boiler houses in Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 461, art. 01082. DOI: 10.1051/e3sconf/202346101082.

2. MWM GmbH. Gas Engine TCG 3020 V20. Technical Specification. Mannheim, 2020.

3. İLTEKNO A.Ş. Cogeneration 3×TCG 3020 V20 Natural Gas. Feasibility Report for NURA Group. Istanbul, 2026.

4. Ziaran S., Chlebo O. Noise control transmission methods of the combustion engine by means of reduction of the vibration. *Archives of Acoustics*, 2016, vol. 41, no. 2, pp. 277–284. DOI: 10.1515/aoa-2016-0027.

5. Kiryukhin A.V., Bobrov S.P., Taran V.A., Zheleznov A.P. Improving the efficiency of acoustic insulation for power equipment. *Teploenergetika*, 2022, no. 12, pp. 23–30. DOI: 10.56304/S0040363622120049. (In Russ.)

6. SanPiN RUz No. 0267-09. Po obespecheniyu dopustimogo shuma v pomeshcheniyakh zhilykh, obshchestvennykh zdaniy i na territorii zhiloy zastroyki [On ensuring permissible noise in residential and public buildings and in residential areas]. Tashkent, 2009. (In Russ.)

7. ShNK 2.01.08-24. Shovqindan himoya [Noise protection]. Tashkent, 2025. (In Uzbek)

8. SP 51.13330.2011. Zashchita ot shuma. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 23-03-2003 [Noise protection. Updated edition of SNIp 23-03-2003]. Moscow, Minregion of Russia, 2011. (In Russ.)

9. ISO 15667:2000. Acoustics — Guidelines for noise control by enclosures and cabins. Geneva, ISO, 2000.

10. Ličanin M., Prašević M., Mihajlov D. Noise control solution for diesel generator – a case study. *Safety Engineering*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 57–62. DOI: 10.5937/SE2002057L.

11. Ghorbani Z., Hassan-Beygi S.R., Ghobadian B. Noise reduction of a portable generator set driven by small natural gas engine using an acoustic enclosure. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2016, vol. 18, no. 3, pp. 159–170.

12. Kosała K., Majkut L., Olszewski R. Experimental study and prediction of insertion loss of acoustical enclosures. *Vibrations in Physical Systems*, 2020, vol. 31, no. 2, art. 2020209. DOI: 10.21008/j.0860-6897.2020.2.09.

13. Design documentation "Construction of a generator unit with MWM TCG 3020V20P gas engine, Chilanzar district, Tashkent". Section AR. Tashkent, 2023. (In Russ.)

14. Kosała K. Experimental tests of the acoustic properties of sound-absorbing linings and cores of layered baffles. *Vibrations in Physical Systems*, 2021, vol. 32, no. 1, art. 2021107. DOI: 10.21008/j.0860-6897.2021.1.07.

15. Cobo P., Simón F. Multiple-layer microperforated panels as sound absorbers in buildings: a review. *Buildings*, 2019, vol. 9, no. 2, art. 53. DOI: 10.3390/buildings9020053.

16. Ivanov N.I. Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika bor'by s shumom [Engineering acoustics. Theory and practice of noise control]. Moscow, Universitetskaya kniga, 2013. 432 p. (In Russ.)

17. ISO 11546-1:1995. Acoustics — Determination of sound insulation performances of enclosures — Part 1: Measurements under laboratory conditions (for declaration purposes). Geneva, ISO, 1995.