

**Пугачов Є. В., д.т.н., проф., Літницький С. І., к.т.н., доцент,
Кундрат Т. М., к.т.н., доцент, Зданевич В. А., Бутеєць С. П., студент**
(Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне, s.i.litnitskyi@nuwm.edu.ua)

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПОЛІПШЕННЯ АКУСТИКИ ЛЕКЦІЙНОЇ АУДИТОРІЇ № 453

Проаналізовано об'ємно-планувальне рішення аудиторії № 453 стосовно відбиття звуку і утворення луни. Було виявлено, що відбитий від бічних стін аудиторії звук покриває поверхню глядачів з великими прогалинами. Крім того, деякі простінки можуть утворювати луну в межах приміщення. Наведені пропозиції щодо поліпшення акустики лекційної аудиторії № 453. Запропоновано влаштувати екран на розрізі приміщення. Виконана його перевірка на утворення луни. Визначені ділянки на стінах та стелі, які слід опорядити звуковідбиваючими матеріалами.

***Ключові слова:* акустика; акустичний екран; звукові відбиття; звукопоглинання; луна; час реверберації.**

Лекційна аудиторія № 453 (рис. 1) знаходиться в четвертому корпусі НУВГП на останньому четвертому поверсі. В плані має прямокутну форму: ширина 11,56 м, довжина 18,1 м. Висота приміщення складає 3,6 м. Ряди місць розташовані паралельно між собою і до площини дошки. Вочевидь, передбачалося розташувати їх на одній похилій площині. Після косметичного ремонту в аудиторії крейдяна дошка була замінена на мультимедійну. Розміщення і кількість вікон в аудиторії наводить на думку, що це негативно впливає на акустичні властивості аудиторії: вузькі простінки мають малу площу, яка здатна працювати в якості звуковідбиваючих екранів. Крім того, значна довжина приміщення (18,1 м) призводить до суттєвого згасання енергії прямого звуку на шляху від лектора до останніх рядів [1], а прямокутна в плані форма приміщення може створювати ефект луни [2; 3].

В роботі поставлено мету – проаналізувати об'ємно-планувальне рішення аудиторії № 453 в контексті впливу її параметрів на акустичний режим приміщення. Якщо будуть

виявленні недоліки, то, за можливості, запропонувати заходи для їхнього повного або часткового усунення.

Питання аналізу акустичних властивостей глядацьких зал розглядалися в роботах [4; 5]. Аналіз об'ємно-планувального рішення, умов видимості та природної освітленості в аудиторії № 453 був виконаний в роботі [6], але питання акустичних властивостей цієї аудиторії ніким не розглядалося.



Рис. 1. Лекційна аудиторія № 453

На рис. 2 показані розміри аудиторії, розміщення в плані рядів для глядачів і мультимедійної дошки, отримані в результаті обмірів. На рис. 3 наведено її поздовжній розріз. Проаналізуємо спершу величину питомого об'єму залу (на одного глядача). Для аудиторій [7] це значення рекомендують приймати в межах $4\text{--}5\text{ м}^3$. Від цієї величини залежить час реверберації в залі, який в свою чергу впливає на гучність та чутність. Аудиторія № 453 обладнана лавами, але якщо на одного слухача виділити $0,5\text{ м}$ довжини лавок, то наближено в даному залі може поміститися 200 людей. Об'єм аудиторії складає приблизно 652 м^3 . Звідси випливає, що на одну людину припадає $3,26\text{ м}^3$, що є недостатнім. Проте фактичний час реверберації в залі в цій роботі обчислюватися не буде. Її акустичні властивості будуть оцінюватися лише з геометричної точки зору.

Аудиторія має довжину $18,1\text{ м}$, а відстань від лектора до слухача останнього ряду фактично буде навіть більшою (див. рис. 3). Долаючи таку відстань звук буде суттєво згасати. Це частково можна виправити за рахунок відбивання звуку від бічних стін і стелі як акустичних екранів.

Зокрема, горизонтальну плоску стелю можна вважати одним акустичним екраном. Для довжини аудиторії понад 18 м цього

замало, тому пропонується в кінці приміщення влаштувати додатковий криволінійний циліндричний екран. Це підсилить енергію звуку для кількох останніх рядів (рис. 4).

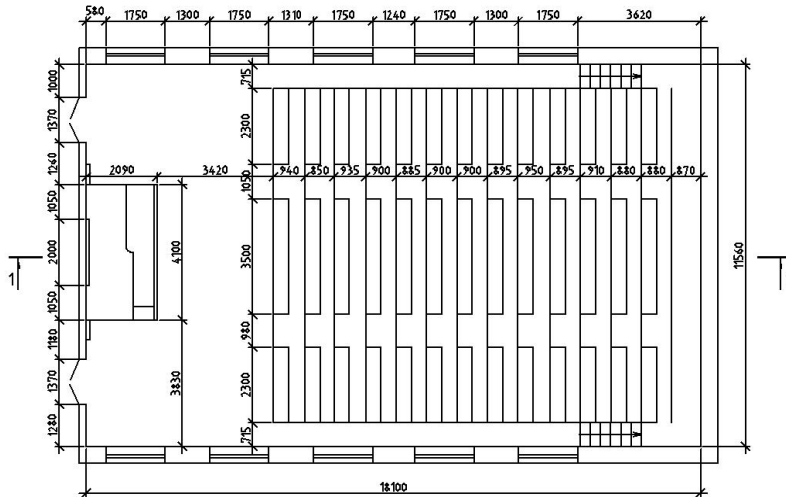


Рис. 2. Розміри аудиторії, розміщення в плані рядів для глядачів та мультимедійної дошки

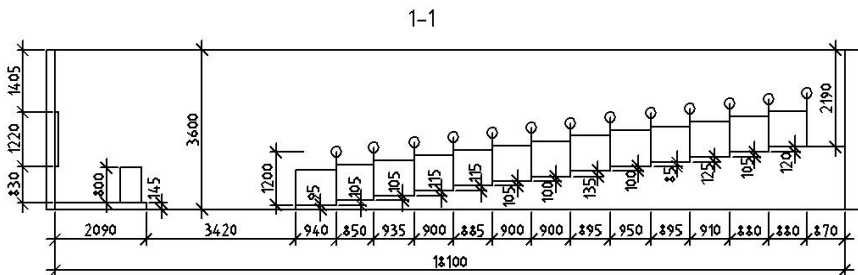


Рис. 3. Поздовжній розріз аудиторії

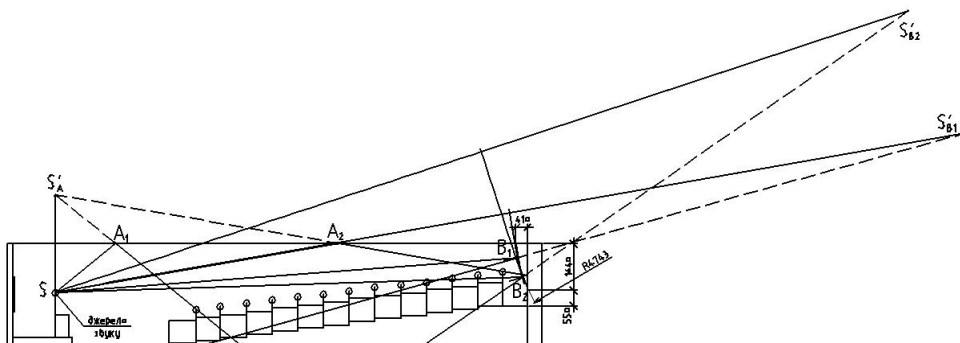


Рис. 4. Дослідження форми екранів на розрізі 1-1

На стінах в якості звуковідбиваючих екранів можна використати простінки між вікнами. Оскільки перші 0,5 м екрану не враховується, зважаючи на явище дифракції звуку [8], то лише невелика частина простінків відбиває звук в аудиторію згідно з методом геометричної акустики. Наслідок – на більшу частину поверхні глядачів залу відбитий звук від бічних екранів не потрапляє. Досліджувалися два варіанти розташування джерела звуку: коли лектор стоїть біля кафедри і коли він стоїть напроти середини дошки (рис. 5).

Зміна форми простінків не дала бажаного ефекту: звук майже не відбивався на слухачів або ж нові екрани утворювали значну луна в межах приміщення. Варіант із закриттям світлопрорізів також не бажаний, оскільки це знизить природну освітленість і негативно вплине на інтер'єр аудиторії. Тому конфігурація плану не змінювалась.

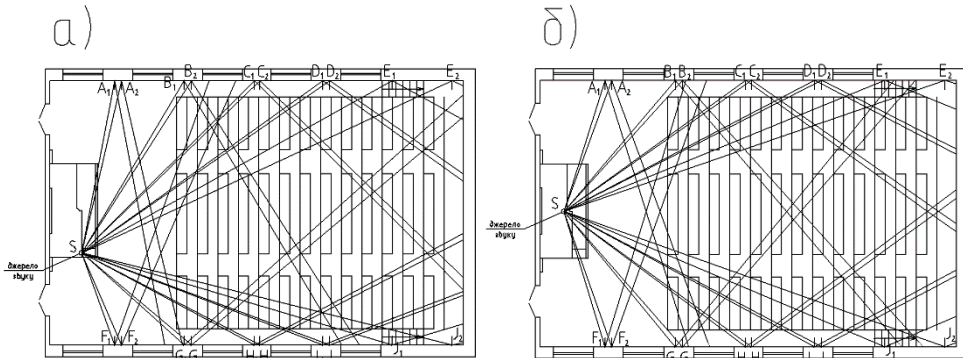


Рис. 5. Дослідження форми екранів на плані: а – лектор стоїть біля кафедри; б – лектор стоїть навпроти середини дошки

Перевірка на утворення луни на поздовжньому розрізі показала, що від стелі луна утворюватися не буде, тому що її площина перетинає сферу радіусом 5 м, центр якої розташовано в джерелі звуку [2; 3]. Гранична поверхня луни, створена криволінійним екраном, виникає лише нижче поверхні слухачів (рис. 6), що цілком допустимо. Перевірка на можливість утворення луни бічних екранів показала, що луна може утворюватися від першого, рахуючи від дошки, простінку для обох випадків розташування лектора (джерела звуку) (рис. 7). Тому цей простінок необхідно заглушити звукопоглинаючим матеріалом.

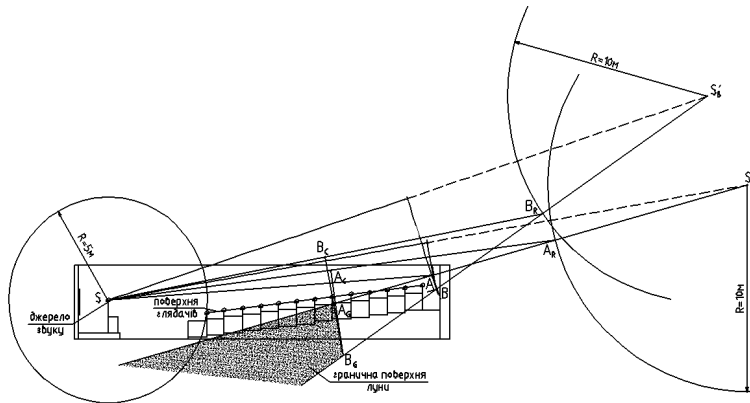


Рис. 6. Перевірка утворення луни на розрізі залу

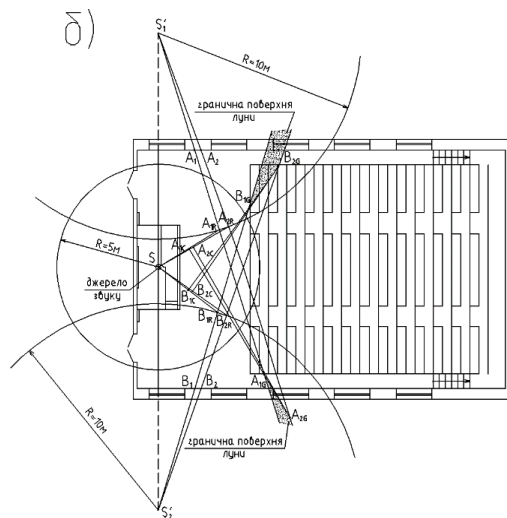
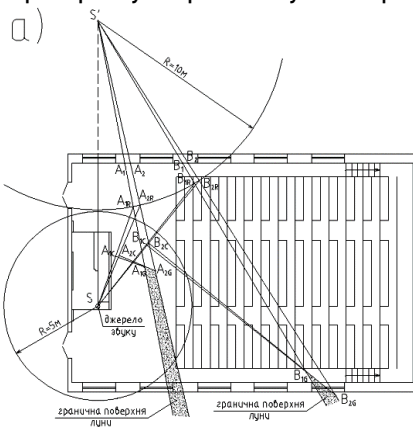


Рис. 7. Перевірка утворення луни на плані залу: а – лектор стоїть біля кафедри; б – лектор стоїть навпроти середини дошки

Далі за способом, наведеним в [8], визначені зони, які слід облицювати звуковідбиваючими матеріалами. Визначення таких зон для стін і стелі показані на рис. 8–9.

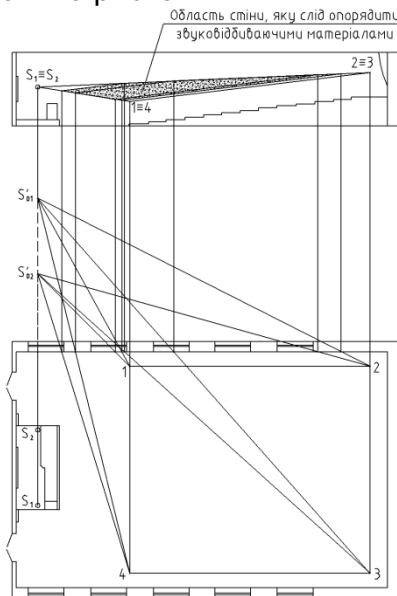


Рис. 8. Визначення області стіни, яку слід опорядити звуковідбиваючими матеріалами (дають корисні перші відбивання в зал)

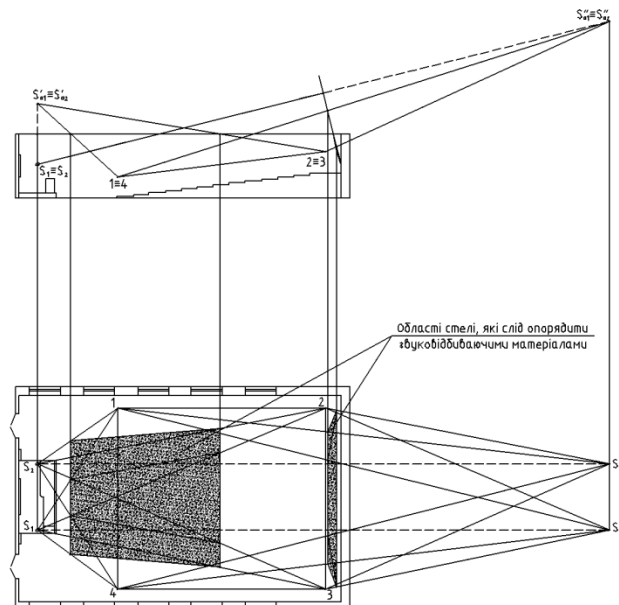


Рис. 9. Визначення області стелі, яку слід опорядити звуковідбиваючими матеріалами (дають корисні перші відбивання в зал)

В статті наведено пропозиції щодо поліпшення акустики лекційної аудиторії № 453 НУВГП. Надалі отриманий досвід можна використати для акустичної реконструкції інших залів будь-якого призначення з незадовільною акустикою.

1. Сергейчук О. В. Дослідження перших звукових відбиттів у залі за методом проф. О. Л. Підгорного. *Геометричне та комп'ютерне моделювання*. 2004. Вип. 4. С. 72–78. **2.** Сергейчук О. В. Об одном способе проектирования форми залов, лишенных эха. *Прикл. геометрия и инж. графика*. 1983. Вып. 37. С. 26–28. **3.** Подгорный А. Л. Исследование возможностей возникновения эха при многократных отражениях. *Прикл. геометрия и инж. графика*. 1986. Вып. 42. С. 5–7. **4.** Подгорный А. Л. Опыт геометрического моделирования акустики залов театра кукол в г. Николаеве. *Прикл. геометрия и инж. графика*. 1994. Вып. 57. С. 8–11. **5.** Пропозиції щодо поліпшення акустичного режиму в актовій залі музичної школи міста Вараш / Зданевич В. А., Кундрат Т. М., Літницький С. І., Пугачов Є. В. *Прикладна геометрія та інженерна графіка* : міжвідомчий науково-технічний збірник ; відповідальний редактор В. Є. Михайленко. Київ : КНУБА, 2019. Вип. 95. С. 91–97. **6.** Аналіз об'ємно-планувального рішення, умов видимості та природної освітленості лекційної аудиторії № 453 / Пугачов Є. В., Літницький С. І., Дуніна А. П., Лисюк О. О. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2018. Вип. 1(81). С. 145–153. **7.** Вітвицька Є. В. Акустика залів : навч. посіб. Одеса : Астропринт, 2002. 144 с. **8.** Сергейчук О. В. Строительная физика. Акустика. К. : УМКВО, 1992. 120 с.

REFERENCES:

1. Serheichuk O. V. Doslidzhennia pershykh zvukovykh vidbyttiv u zali za metodom prof. O. L. Pidhornoho. *Heometrychne ta kompiuterne modeliuвання*. 2004. Vyp. 4. S. 72–78. **2.** Serheichuk O. V. Ob odnom sposobе proektyrovanyia formi zalov, lyshennykh ekha. *Prykl. heometryia y ynzh. hrafyka*. 1983. Vyp. 37. S. 26–28. **3.** Podhornyi A. L. Yssledovanye vozmozhnostei voznyknovenyia ekha pry mnohokratnykh otrazheniyakh. *Prykl. heometryia y ynzh. hrafyka*. 1986. Vyp. 42. S. 5–7. **4.** Podhornyi A. L. Opyt heometrycheskoho modelyrovanyia akustyky zalov teatra kukol v h. Nykolaeve. *Prykl. heometryia y ynzh. hrafyka*. 1994. Vyp. 57. S. 8–11. **5.** Propozytsii shchodo polipshennia akustychnoho rezhymu v aktovii zali muzychnoi shkoly mista Varash / Zdanevych V. A., Kundrat T. M., Litnitskyi S. I., Puhachov Ye. V. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika* : mizhvidomchyi naukovо-tekhnichniy zbirnyk ; vidpovidalnyi redaktor V. Ye. Mykhailenko. Kyiv : KNUBA, 2019. Vyp. 95. S. 91–97. **6.** Analiz obiemno-planuvalnogo rishennia, umov vydymosti ta pryrodnoi

osvitlenosti lektsiinoi audytorii № 453 / Puhachov Ye. V., Litnitskyi S. I., Dunina A. P., Lysiuk O. O. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2018. Vyp. 1(81). S. 145–153. **7.** Vitvytska Ye. V. Akustyka zaliv : navch. posib. Odesa : Astroprynt, 2002. 144 s. **8.** Serheichuk O. V. Stroytelnaia fizyka. Akustyka. K. : UMKVO, 1992. 120 s.

Puhachev E. V., Doctor of Engineering, Professor, Litnitskyi S. I., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Kundrat T. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Zdanevych V. A., Butesets S. P., Senior Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

PROPOSALS TO IMPROVE ACOUSTIC OF LECTURE AUDIENCE № 453

The volume-planning solution of auditorium No 453 was analyzed in the context of the influence of its parameters on the acoustic regime of the room.

The value of the specific volume of the hall per spectator was analyzed. This value is recommended to be within 4–5 m³ for classrooms. The reverberation time in the hall depends on this value which in turn affects the volume and audibility. Approximately 200 people can fit in this lecture hall. The volume of the auditorium is approximately 652 m³. One person in auditorium No 453 accounts for 3,26 m³, which is not enough. But the actual reverberation time was not calculated in this work. The acoustic properties of the hall were analyzed only from a geometric point of view.

The auditorium is 18,1 m long. Overcoming such a distance, the sound will fade. This problem can be partly compensated by repeated sound reflections from the side walls and ceiling which will serve as sound-reflecting screens.

The horizontal flat ceiling was adopted as one sound-reflecting screen. It was also proposed to arrange an additional curved screen at the end of the room. This will boost the sound quality for the last few rows.

The partitions between the windows were used on the walls as sound-reflecting screens. Significant parts of the lecture hall where the reflected sound from the side screens does not enter were found.

The case when the lecturer stands next to the lectern and, separately, when the lecturer stands opposite the middle of the blackboard, were investigated. Changes in the configuration of the walls did not have the desired effect. Almost no sound was reflected to listeners, or the new screens created a significant echo within the room. Therefore, we did not change the configuration of the plan.

A check for echo formation on the longitudinal section showed that no echo will be formed from the ceiling. The boundary surface of the echo formed by the curved screen may occur below the surface of the listeners. Therefore, it can be considered permissible. A check for the formation of an echo from the side screens showed that an echo can be formed from the first wall for both cases of the location of the lecturer (sound source).

Zones that should be lined with sound-absorbing materials were also determined. Since the first wall can create an echo, it is recommended to completely cover it with sound-absorbing materials.

***Keywords:* acoustics; acoustic screen; sound reflections; sound absorption; echo; reverberation time.**