

## ОЦЕНКА УСЛОВИЙ СЛЫШИМОСТИ В ЛЕКЦИОННОЙ АУДИТОРИИ 501 К. 1 БНТУ

Пецукевич А.А., Хвясцько В.Л.

*Научный руководитель – Ковальчук О.И.*

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

За четыре года учебы в 501 аудитории корпуса 1 БНТУ мы заметили, что речь лектора без усилителя звука более понятная и отчетливая для восприятия слушателями, в отличие от того случая, когда используется микрофон. При использовании микрофона на последнем ряду от двери слышен свист. А в конце аудитории в принципе не слышно, о чем говорит лектор.

В первом семестре нашего 4-го курса по дисциплине «Архитектурная физика» мы начали изучать раздел Акустика. Изучали мы дисциплину как раз в 501 аудитории и в тот момент поняли, что слышимость вряд ли соответствует современным нормам акустики лекционных залов. Одна из причин этого – изначально аудитория была читальным залом библиотеки, пропорции которой не предназначены для проведения лекций (Рис 1.).



Основные размеры зала должны удовлетворять следующим нормам: отношение длины зала к его средней ширине следует принимать более 1 и не более 2 [1, с. 4] (Рис. 2). Если это отношение более 2, то диффузность звука в зале значительно ухудшается. При отношении меньшем 1, получается нежелательное запаздывание отражений от боковых стен, и вследствие направленности источников звука, ухудшается слышимость на боковых местах. Отношение, близкое к 1, также неблагоприятно для акустики зала.

Удельный объем на человека здесь приходится  $5,3 \text{ м}^3$ , когда норма для лекционных залов  $4-5 \text{ м}^3$  [1, с. 3], поэтому время реверберации на низких частотах все равно будет отличаться от оптимального времени, какой бы вариант реконструкции не был бы предложен. Но улучшить текущее положения возможно.

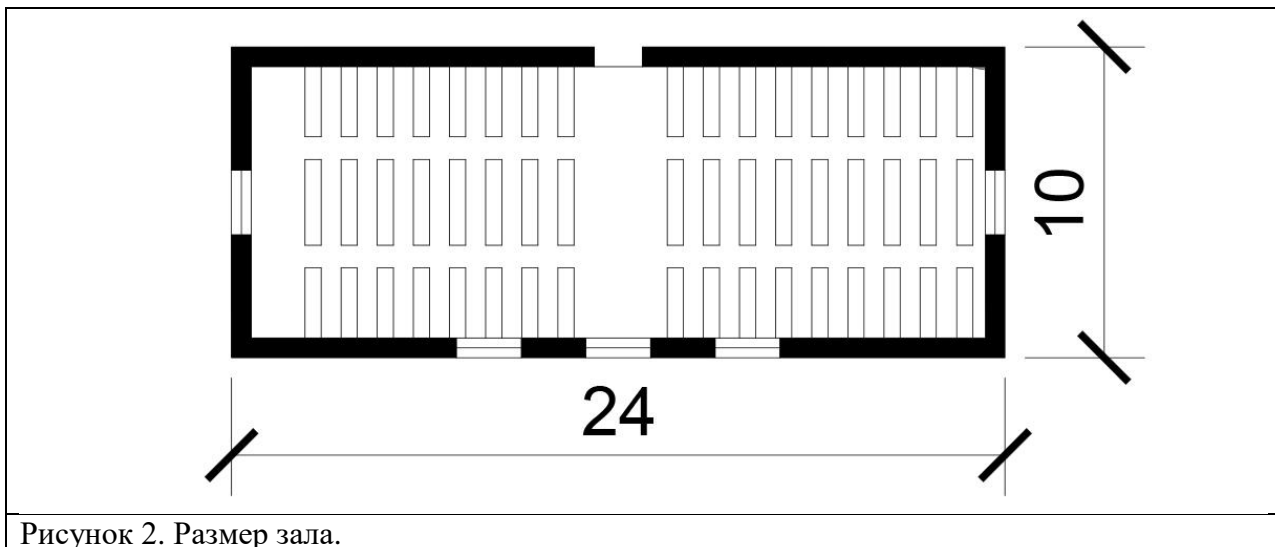


Рисунок 2. Размер зала.

Акустика помещений складывается из нескольких составляющих. Во-первых, важен прямой звук, поэтому мы должны ограничить расстояние от источника звука до последнего слушателя. Во-вторых, важен первично отраженный звук, ведь именно он формирует четкость и разборчивость речи (Рис. 3).

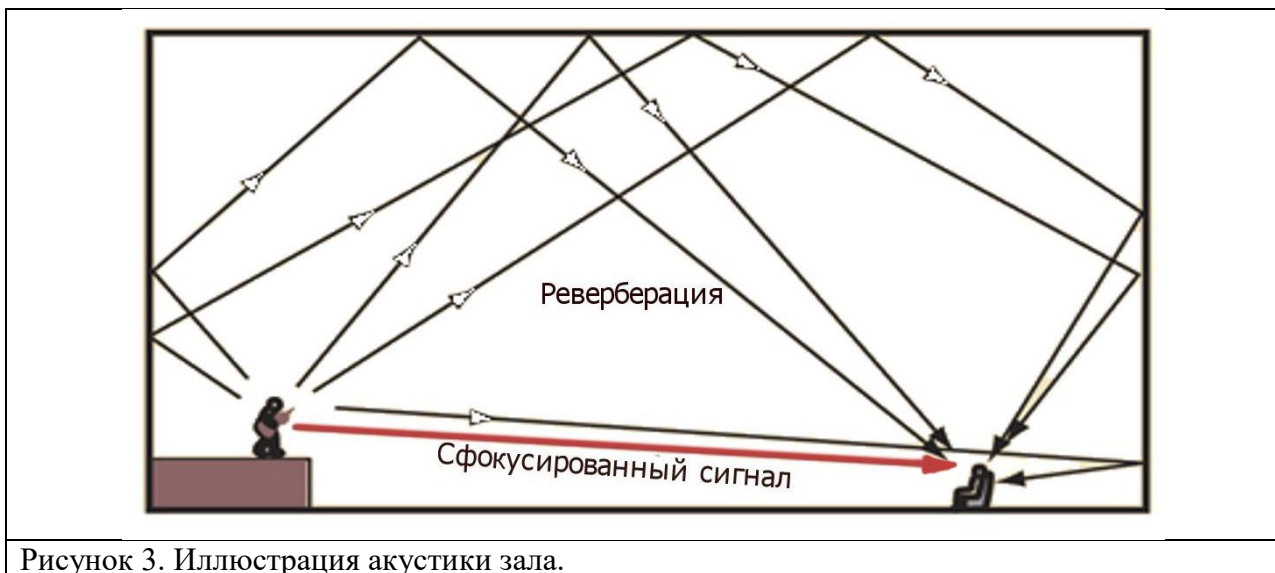


Рисунок 3. Иллюстрация акустики зала.

В-третьих, важен звук многократно отраженный. Продолжительность его звучания в аудитории не должна быть слишком большой, чтобы зал не был гулким и не нарушалось восприятие тех самых первично отраженных звуков и не образовывалось шума. Потому что шум – это слышимая акустическая энергия, которая оказывает негативное влияние на

физиологическое и психологическое состояние человека. Также на комфортный акустический климат в лекционном зале влияет качество звукопоглощения, оно определяется планировкой помещения и используемыми материалами (Рис. 4). Хорошее звукопоглощение ограничивает уровень давления фонового шума в помещении, чтобы создать комфортную среду, в которой люди могут сосредоточиться и продуктивно работать, не испытывая раздражения или стресса, вызванного шумом. Оно повышает разборчивость речи, что делает выступления и переговоры более понятными и слышимыми. Оно предотвращает избыточную реверберацию и “эффект вечеринки”, когда уровень звука в помещении неконтролируемо повышается от того, что люди начинают говорить всё громче и громче, чтобы их расслышали [2].

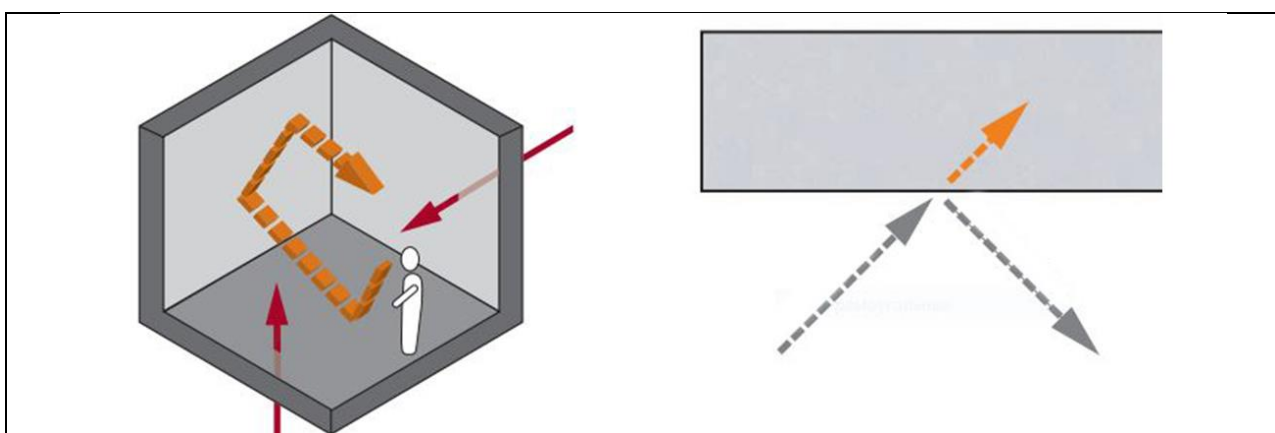


Рисунок 4. Иллюстрация многократно отраженного звука. Вектор звукопоглощения.

Мы провели расчеты для нашей аудитории с учетом волновой теории, построили отражения, и обнаружили, что первичное отражение звука от задней стены создает эхо (Рис. 5).

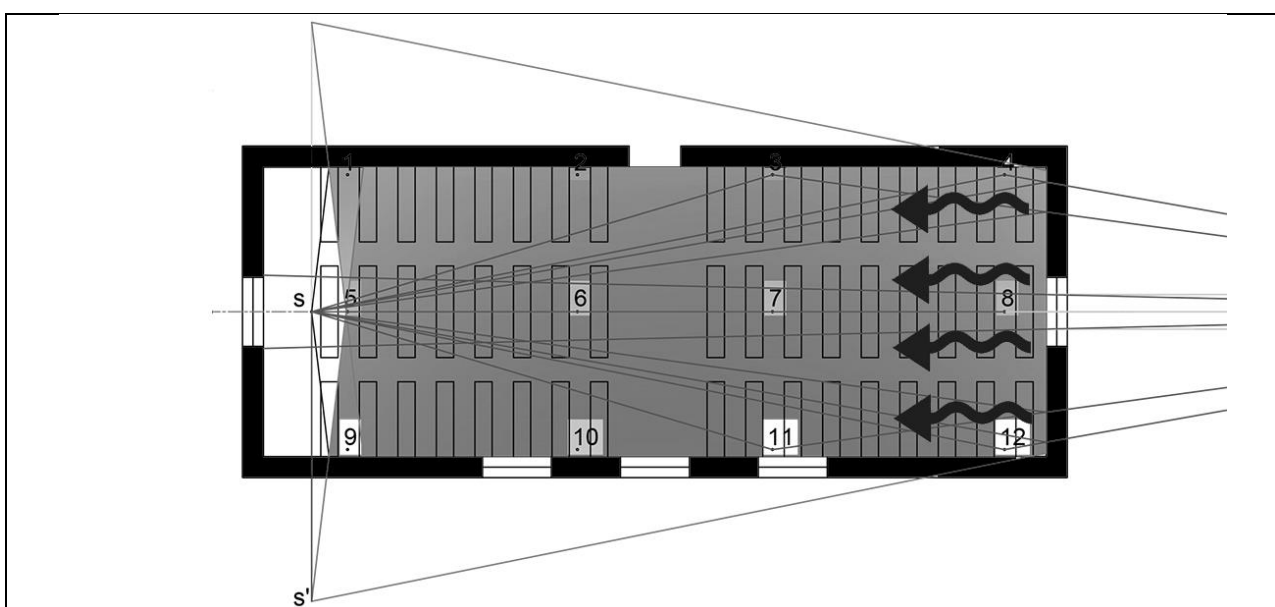
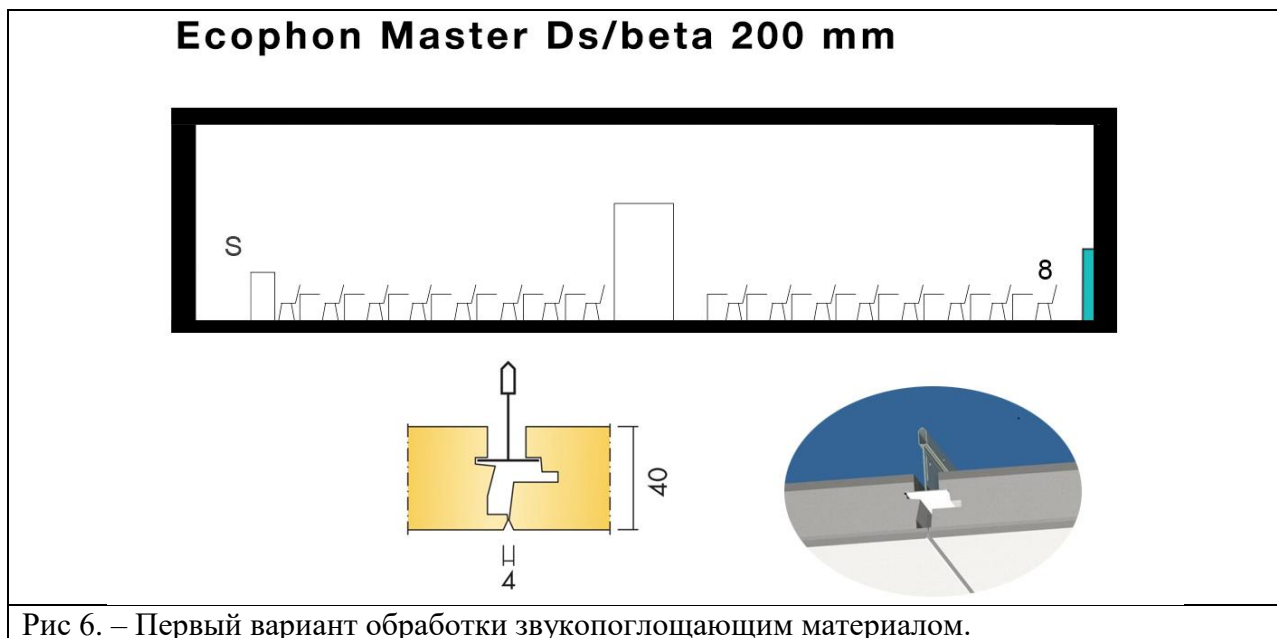
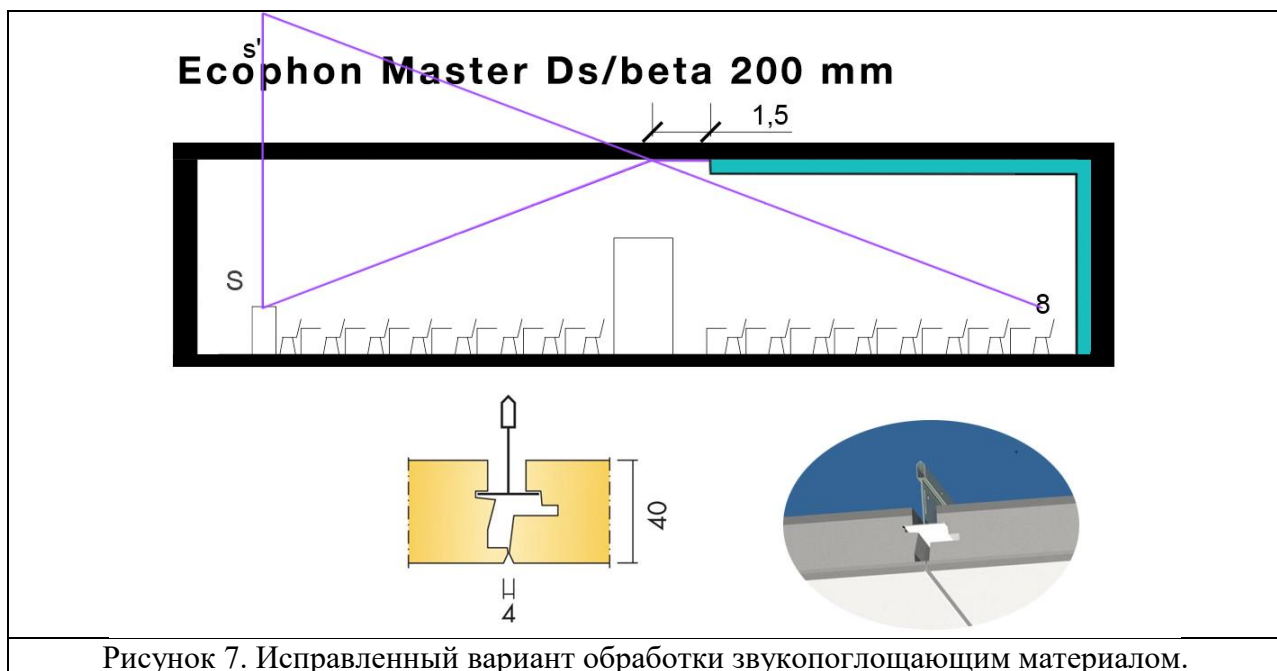


Рисунок 5. – Расчет времени запаздывания звука к расчетным точкам

И это вовсе не странно, ведь стена окрашена масляной краской, у которой коэффициент звукопоглощения очень низкий. Поэтому мы предлагаем обработать эту стену звукопоглощающим материалом Ecophon Master Ds/beta толщиной 200 мм на высоту 2 метра от пола, а оконный проем закрыть рольшторой (Рис. 6).



Затем мы провели повторный расчет аудитории со звукопоглощающим материалом, но зал продолжал оставаться гулким, то есть все равно остается излишек многократно отражённой звуковой энергии. Поэтому акустическим материалом нужно будет обработать полностью всю стену, и захватить небольшую часть потолка (Рис. 7), чтобы убрать лишнюю звуковую энергию.



Расчет с вышеперечисленными мероприятиями показал, что время реверберации на частотах 125 и 250 Гц будет соответствовать норме [3, с. 44] (Рис. 8), но при других диапазонах аудитория становится глухой. Но, как мы писали ранее, добиться идеального состояния будет невозможно, потому что пропорции изначально не соответствуют назначению зала.

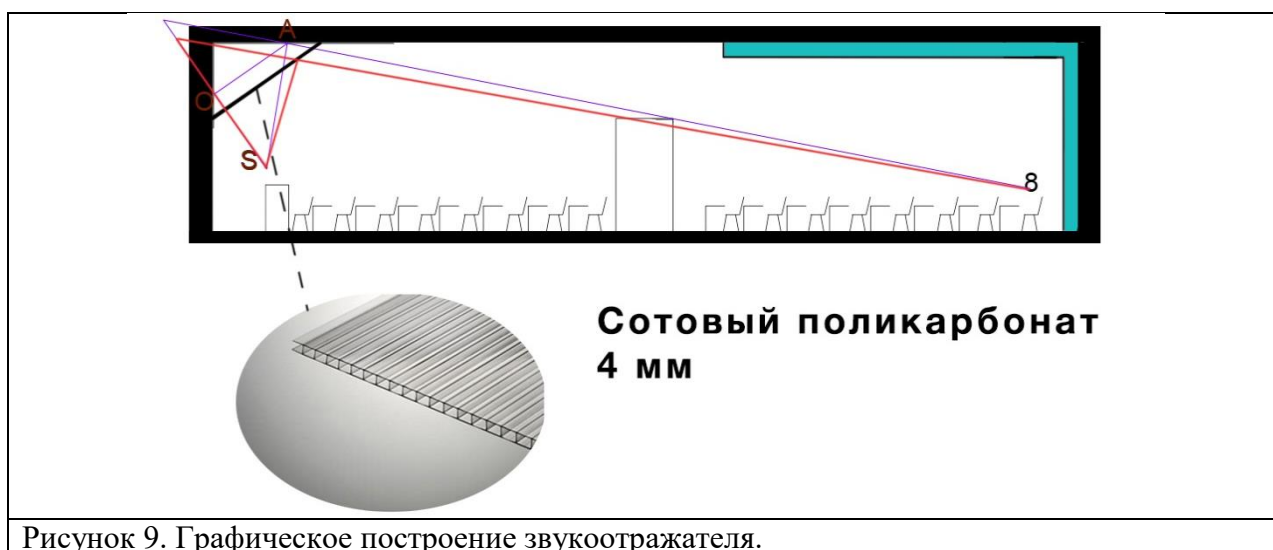
**$\Delta T, \%$**

Степень обработки	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц
1	+136	+136	+109	+57
2	+109	+57	+26	-1
3	+11	-10	-28	-41

1- до обработки акустическим материалом  
 2- обработка акустическим материалом задней стены на высоту 2 м от пола  
 3- обработка акустическим материалом по всей площади задней стены и части потолка

Рисунок 8. Расчет времени реверберации

Когда все места на первых рядах заняты, студентам приходится идти, как говорят многие преподаватели, на галерку, то есть на последние парты. На этих местах слушатели получают недостаточно первых отражений, поэтому и коэффициент разборчивости речи оказался слишком низким. По нашим расчетам он не был удовлетворительным, поэтому мы запроектировали отражатель из сотового поликарбоната толщиной 4 мм (Рис. 9). Вследствие изменений, коэффициент разборчивости в дальней точке стал равен удовлетворительному значению 0,226.



На данном изображении (Рис. 10) видна не просто реконструкция 501 аудитории, но и, на наш взгляд, светлое будущее архитектурного факультета, потому что профессия архитектор не имеет узкой направленности. Как правило, это человек, который разбирается во многих сферах жизни. А наших преподавателей-архитекторов действительно интересно слушать, но не всегда удается услышать по вышеперечисленным причинам.

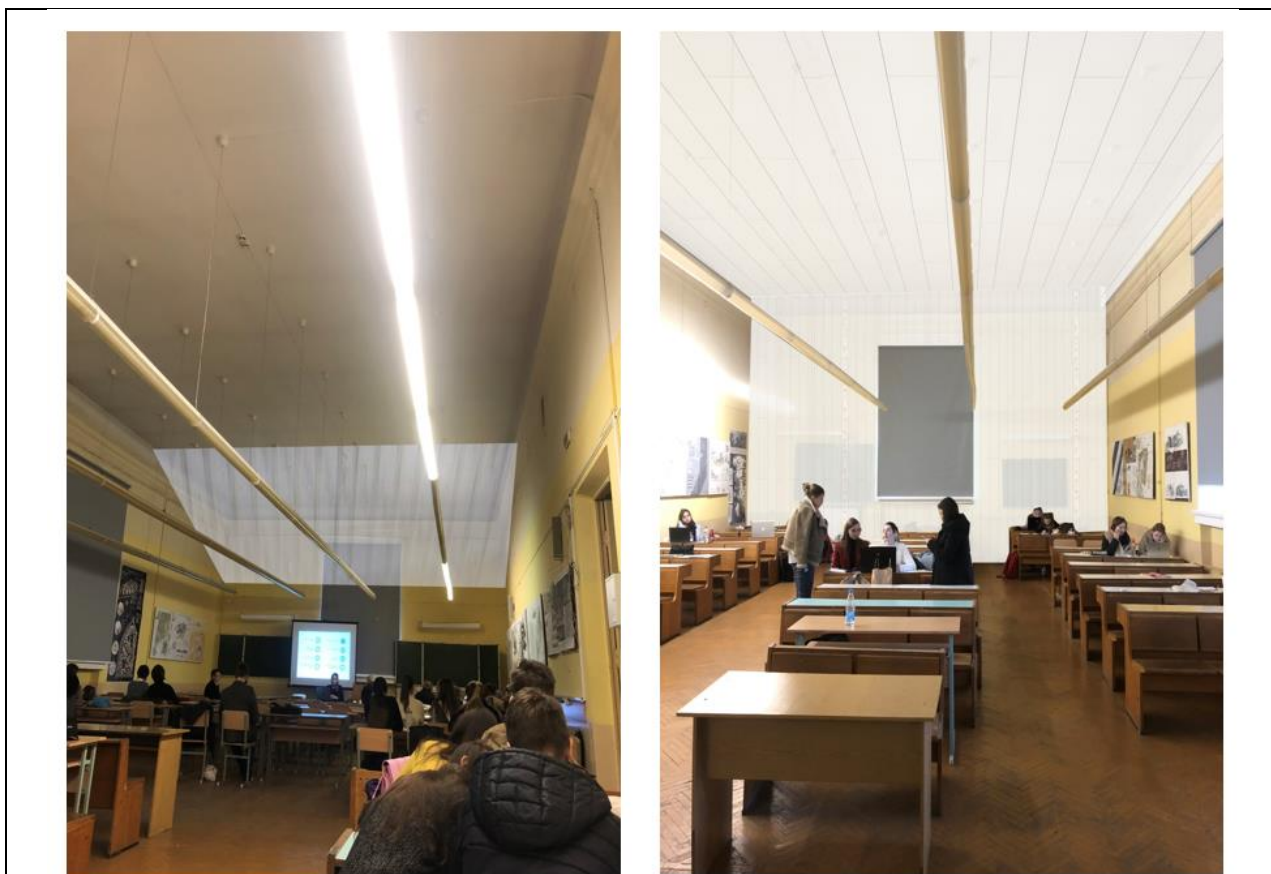


Рисунок 10. Визуализация предложенных изменений.

Существует еще несколько альтернативных решений:

1. Разделить эту аудиторию на две. Так решается проблема с ее избыточной длиной.
2. В начале 2020 года впервые в истории белорусского высшего образования мы все перешли в «онлайн». Мы, пообщавшись с нашими друзьями-студентами, пришли к общему выводу, что такой формат лекций наиболее эффективен и интересен, потому что в наушниках отсутствует эхо и прекрасный коэффициент разборчивости речи. Поэтому мы также предлагаем перевести лекции в дистанционный формат.

### *Литература*

1. Жабько Е. И. Акустическое проектирование залов многоцелевого назначения: Учеб. Пособие / Е. И. Жабько, Н. И. Рублевская. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 89 с.

2. Макриенко Л. И. Акустика помещений общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1986. – 173 с.
3. Защита от шума : СН 2.04.01-2020-2020. – Введ. 15.09.20. – Минск : Минстройархитектуры : РУП «Стройтехнорм», 2020. – 48 с.
4. Acoustic group [Электронный ресурс] / ООО «Акустик Групп». – Минск, 2001-2016. – Режим доступа : [https://www.acoustic-group.by/productions/ceiling/ecophon/master/master\\_ds](https://www.acoustic-group.by/productions/ceiling/ecophon/master/master_ds). – Дата доступа : 31.08.2021.