

**TURAR JOY BINOLARINING DEVOR PANELLARINI
AKUSTIKAGA HISOBLASH**

PhD., dotsent Toxirov J.O.

Tadqiqotchi: Jobbarberganov J.R.

ANNOTATSIYA: Ushbu maqolada panelli turar joy binolarining devor konstruksiyalarida tovushning uzatilishi va so'nish xususiyatlari sonli modellash tirish asosida tadqiq etilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi turli konstruktiv tarkibga ega bo'lgan panelli devorlarning akustik samaradorligini aniqlash va ularning tovush izolyatsiyasi xususiyatlarini o'zaro taqqoslashdan iborat. Tadqiqot davomida bir jinsli beton panel, issiqlik va akustik izolyatsion qatlamga ega bo'lgan ko'p qatlamli panel hamda ichki havo bo'shlig'iga ega panel konstruksiyalarining tovush ta'siriga javobi o'rganilgan. Sonli modellash tirish yordamida tovush to'lqinlarining konstruksiya orqali tarqalishi, tovush bosimining o'zgarishi va devorning tovush energiyasini so'ndirish xususiyatlari baholangan. Turli konstruktiv variantlarda materiallar tarkibi va qatlamlararo tuzilishning tovush uzatilishiga ta'siri tahlil qilingan. Tadqiqot natijalarini o'zaro taqqoslash orqali beton konstruksiyaga penoplast yoki havo qatlamini kiritishning akustik samaradorlikka ta'siri aniqlangan. Olingan natijalar panelli turar joy binolarida ichki akustik qulaylikni yaxshilash, tashqi va qo'shni xonalardan keluvchi shovqinlarning uzatilishini kamaytirish hamda samarali ko'p qatlamli devor konstruksiyalarini tanlash uchun ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

АННОТАЦИЯ : В статье исследованы процессы передачи и затухания звука в стеновых конструкциях панельных жилых зданий на основе численного моделирования. Основной целью исследования является определение акустической эффективности стеновых панелей различного конструктивного состава и сравнительная оценка их звукоизоляционных характеристик. В исследовании рассмотрены однородная бетонная панель,

многослойная панель с тепло- и звукоизоляционным слоем, а также панель с внутренней воздушной прослойкой. С помощью численного моделирования оценены распространение звуковых волн через конструкцию, изменение звукового давления и способность стеновой панели снижать интенсивность передаваемого звука. Проанализировано влияние состава материалов и внутренней структуры панелей на передачу звуковых колебаний. На основе сравнительного анализа определено влияние включения пенопластового слоя и воздушной прослойки в бетонную конструкцию на её акустическую эффективность. Полученные результаты могут служить научно-практической основой для повышения акустического комфорта в панельных жилых зданиях, снижения передачи воздушного шума между помещениями и выбора эффективных многослойных стеновых конструкций.

ANNOTATION: This paper investigates sound transmission and attenuation in wall structures of residential panel buildings using numerical modeling. The main objective of the study is to evaluate the acoustic performance of wall panels with different structural compositions and to comparatively assess their sound insulation characteristics. The study considers a homogeneous concrete panel, a multilayer panel incorporating a foam insulation layer, and a panel with an internal air cavity. Numerical modeling is used to evaluate the propagation of sound waves through the structures, changes in sound pressure, and the ability of the wall panels to attenuate transmitted sound. The influence of material composition and internal structural configuration on sound transmission is analyzed. Based on the comparative assessment, the effects of incorporating a foam layer and an air cavity into concrete wall structures on their acoustic performance are determined. The obtained results can provide a scientific and practical basis for improving acoustic comfort in residential panel buildings, reducing airborne sound transmission between spaces, and selecting effective multilayer wall constructions.

KIRISH

Turar joy binolarida akustik qulaylikni ta'minlash zamonaviy qurilishning muhim talablaridan biri hisoblanadi. Tashqi muhitdan, qo'shni xonalardan yoki binoning boshqa konstruktiv qismlaridan tarqaladigan shovqin insonlarning yashash qulayligi, dam olishi va mehnat faoliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli binolarning tashqi va ichki to'suvchi konstruksiyalarini loyihalashda ularning nafaqat mustahkamlik va issiqlik-texnik, balki akustik xususiyatlarini ham hisobga olish zarur. Panelli turar joy binolarida devor konstruksiyalari yirik yig'ma elementlardan tashkil topganligi sababli ularning tovush izolyatsiyasi konstruksiyaning materiali, massasi, qalinligi, qatlamlarining o'zaro joylashuvi va birikish xususiyatlariga bog'liq. Ayniqsa, panelning ichki tuzilishi tovush to'lqinlarining konstruksiya orqali uzatilishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bir jinsli beton devorda tovush tebranishlari konstruksiya orqali bevosita tarqalishi mumkin, ko'p qatlamli konstruksiyalarda esa materiallar orasidagi akustik xususiyatlarning farqi tovush energiyasining kamayishiga olib kelishi mumkin. Tovushning konstruksiya orqali uzatilishi murakkab fizik jarayon bo'lib, unda tovush to'lqinlarining aks etishi, yutilishi, konstruktiv elementlarda tebranishlarning hosil bo'lishi va boshqa muhitga qayta uzatilishi sodir bo'ladi. Devorning akustik samaradorligini baholashda tovush bosimi, tovush intensivligi, chastota va tovush uzatilish darajasi kabi parametrlar muhim ahamiyatga ega. Shu sababli faqat materialning zichligi yoki qalinligiga asoslangan oddiy taqqoslash konstruksiyaning haqiqiy akustik xususiyatlarini to'liq ifodalamasligi mumkin. Ko'p qatlamli devor konstruksiyalaridan foydalanish tovush izolyatsiyasini yaxshilashning samarali usullaridan biri hisoblanadi. Bunday konstruksiyalarda asosiy konstruktiv qatlamlar orasiga past zichlikka yoki boshqa elastik-akustik xususiyatlarga ega materiallarni joylashtirish orqali tovush tebranishlarining uzatilishini kamaytirish mumkin. Penoplast kabi g'ovak materiallarning akustik xususiyatlari uning zichligi, g'ovakligi, elastikligi va qatlam qalinligiga bog'liq bo'ladi. Shu bilan birga, konstruksiya ichida havo bo'shlig'ini hosil qilish ham tovush uzatilish mexanizmini o'zgartirishi mumkin. Panelli konstruksiyalarning

akustik samaradorligini baholashda sonli modellashtirish usullaridan foydalanish muhim imkoniyatlar yaratadi. Kompyuterli modellashtirish yordamida turli konstruktiv variantlarning tovush ta'siriga javobini bir xil sharoitlarda o'rganish, tovush bosimining konstruksiya bo'ylab o'zgarishini aniqlash va turli materiallarning tovush uzatilishiga ta'sirini taqqoslash mumkin. Bunday yondashuv konstruksiyani amaliy ravishda tayyorlashdan oldin uning akustik xususiyatlarini baholash imkonini beradi. Mazkur tadqiqotda panelli turar joy binolarining devor konstruksiyalarida qatlam tarkibining tovush uzatilishiga ta'siri o'rganiladi. Tadqiqot uchun bir xil umumiy konstruktiv qalinlikka ega bo'lgan turli panel variantlari qabul qilinib, ularning akustik xususiyatlari o'zaro taqqoslanadi. Birinchi variant bir jinsli beton konstruksiya sifatida, keyingi variantlar esa beton qatlamlari orasiga penoplast yoki havo bo'shlig'i joylashtirilgan ko'p qatlamli konstruksiyalar sifatida ko'rib chiqiladi. Tadqiqotning asosiy maqsadi turli konstruktiv tarkibdagi panelli devorlarning tovushni uzatish va so'ndirish qobiliyatini sonli hisoblash asosida aniqlash hamda eng samarali konstruktiv variantni belgilashdan iborat. Buning uchun barcha modellar uchun bir xil hisoblash shartlari saqlanib, faqat panelning ichki tarkibi o'zgartiriladi. Shu orqali natijalardagi farqning asosiy sababi sifatida konstruktiv qatlamlarning akustik xususiyatlarini baholash imkoniyati yaratiladi. Tadqiqotda beton panelning boshlang'ich holati asosiy taqqoslash varianti sifatida qabul qilinadi. Keyinchalik beton qatlamlari orasida penoplast va havo bo'shlig'i mavjud bo'lgan konstruksiyalarning tovush uzatilish ko'rsatkichlari aniqlanadi.

Hisoblash natijalarida tovush bosimining o'zgarishi va konstruksiya orqali uzatilayotgan tovushning kamayish darajasi asosiy baholash mezonlari sifatida qaraladi. Ushbu yondashuv orqali panelning ichki qatlam tuzilishini o'zgartirish uning akustik samaradorligiga qanday ta'sir ko'rsatishini aniqlash mumkin. Natijalarni o'zaro taqqoslash esa bir xil umumiy qalinlikdagi konstruksiyalar orasidan tovush izolyatsiyasi jihatidan samaraliroq variantni tanlash imkonini beradi. Shu bilan birga, tadqiqot natijalari panelli turar joy binolarida konstruktiv va akustik talablarni birgalikda hisobga olish zarurligini ko'rsatishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Panelli turar joy binolari, akustik hisoblash, tovush izolyatsiyasi, tovush so'nishi, tovush uzatilishi, tovush bosimi, tovush to'lqinlari, beton panel, ko'p qatlamli panel, penoplast, havo bo'shlig'i, devor konstruksiyasi, akustik samaradorlik, shovqindan himoyalash, sonli modellash, chekli elementlar usuli, ANSYS, chastota, tovush intensivligi, konstruktiv qatlamlar.

Akustik talablar

Panelli turar joy binolarini akustik hisoblashdan asosiy maqsad bino ichida inson uchun qulay shovqin darajasini ta'minlash va devor konstruksiyasi orqali tovushning ortiqcha uzatilishini cheklashdan iborat. Bunda devorning tovush izolyatsiyasi, konstruksiyaning tovush to'lqinlariga javobi va turli chastotalardagi tovush uzatilishi baholanadi. Akustik hisoblashda, avvalo, tovush bosimi darajasi, tovush chastotasi, tovush intensivligi va konstruksiya orqali tovush uzatilishining kamayish darajasi kabi ko'rsatkichlar hisobga olinadi. Devorning akustik samaradorligini baholashda tovushning konstruksiyaga kirishidan oldingi va undan chiqqandan keyingi qiymatlari taqqoslanadi. Ular orasidagi farq konstruksiyaning tovushni kamaytirish qobiliyatini ifodalash uchun ishlatiladi va odatda dB birlikda baholanadi. Panelli devorning tovush izolyatsiyasi konstruksiyaning massasi, qalinligi, materiallarning elastik va akustik xususiyatlari, qatlamlar soni hamda ular orasidagi bog'lanishga bog'liq. Bir jinsli beton panelda tovush tebranishlari konstruksiya bo'ylab uzatilsa, ko'p qatlamli konstruksiyada turli materiallarning mavjudligi tovush energiyasining kamayishiga ta'sir qilishi mumkin. Shu sababli beton–penoplast–beton va beton–havo–beton kabi konstruksiyalarni alohida baholash muhimdir. Akustik hisoblashlarda chastota omili ham muhim ahamiyatga ega. Devorning tovushni o'tkazish xususiyati barcha chastotalarda bir xil bo'lmaydi. Past, o'rta va yuqori chastotalarda konstruksiyaning tebranish xususiyatlari va tovush uzatilishi farq qilishi mumkin. Shu sababli sonli modellashda ma'lum chastota diapazonida hisoblash olib borish va natijalarni chastota bo'yicha taqqoslash maqsadga muvofiqdir.

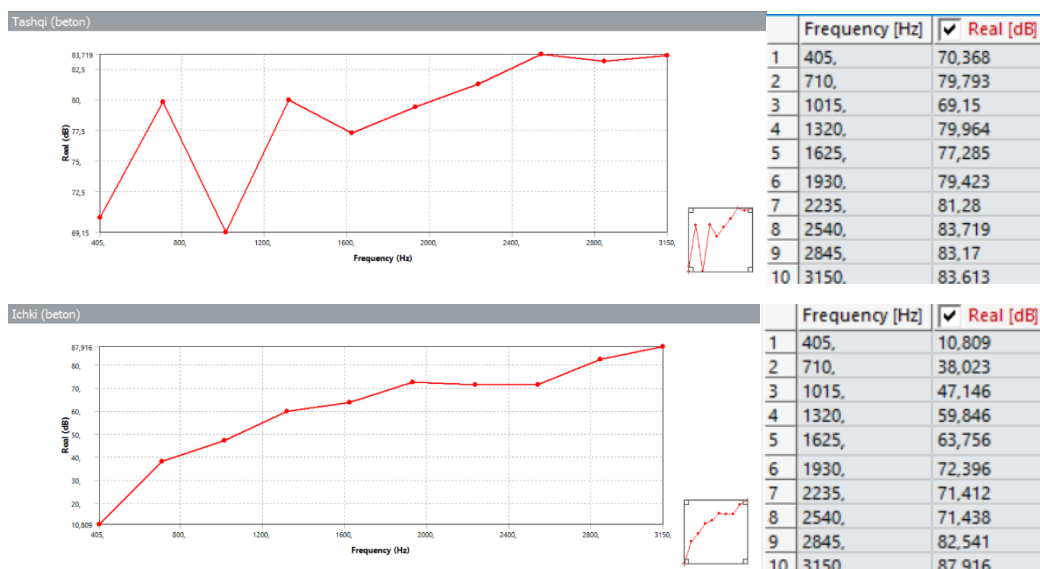
Hisoblash metodikasi

Tadqiqotda panelli turar joy binolari devor konstruksiyalarining akustik

samaradorligini baholash uchun ANSYS dasturida sonli modellashtirish usulidan foydalanildi. Tadqiqotning asosiy vazifasi turli ichki tuzilishga ega bo'lgan panellarning tovush to'liqlarini uzatish va so'ndirish xususiyatlarini bir xil sharoitlarda o'zaro taqqoslashdan iborat. Hisoblash uchun uch xil devor konstruksiyasi modeli qabul qilindi. Birinchi model 30 sm qalinlikdagi bir jinsli beton panel sifatida shakllantirildi. Ikkinchi modelda umumiy qalinlik saqlangan holda konstruksiya 10 sm beton + 10 sm penoplast + 10 sm beton qatlamlaridan tashkil qilindi. Uchinchi model esa 10 sm beton + 10 sm havo bo'shlig'i + 10 sm beton ko'rinishida modellashtirildi. Har bir konstruktiv variant uchun materiallarning tegishli fizik va akustik xususiyatlari ANSYS muhitiga kiritildi. Modellarga bir xil boshlang'ich akustik ta'sir va bir xil chegaraviy shartlar berildi. Shu orqali hisoblash natijalaridagi farqning asosan panelning konstruktiv tarkibi bilan bog'liqligini aniqlash imkoniyati yaratildi. Sonli hisoblash jarayonida tovush to'liqlarining panelga ta'siri, konstruksiya bo'ylab tarqalishi va panelning qarama-qarshi tomoniga o'tishi kuzatildi. Har bir model uchun tovush bosimi darajasining o'zgarishi aniqlanib, kiruvchi va chiquvchi akustik ko'rsatkichlar o'zaro taqqoslandi. Konstruksiya orqali tovush uzatilishining kamayishi uning akustik samaradorligini baholashning asosiy mezon sifatida qabul qilindi. Hisoblash natijalari uchta model bo'yicha jadval va grafiklar ko'rinishida umumlashtirilib, beton panelning boshlang'ich holati bilan penoplast va havo qatlamiga ega konstruksiyalar taqqoslandi. Natijalar asosida qaysi konstruktiv yechimda tovushning ko'proq so'nishi va tovush uzatilishining kamayishi kuzatilishi aniqlandi.

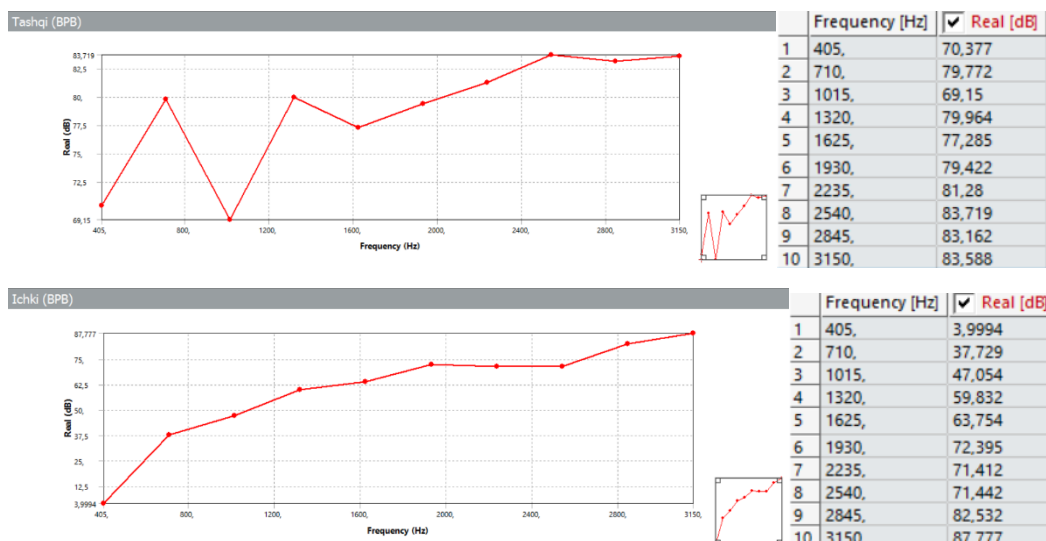
Hisoblash natijalari

Hisoblash ishlari Ansys dasturida bir xil shartlar asosida amalga oshirildi. 100-3150 Hz oralig'ida har bir model solishtirildi va tovush qancha dB ga kamayishi, so'nishi o'rganildi. Faqat betonadan iborat bo'lgan panelda tovush so'nishini 1-rasmda ko'rish mumkin.



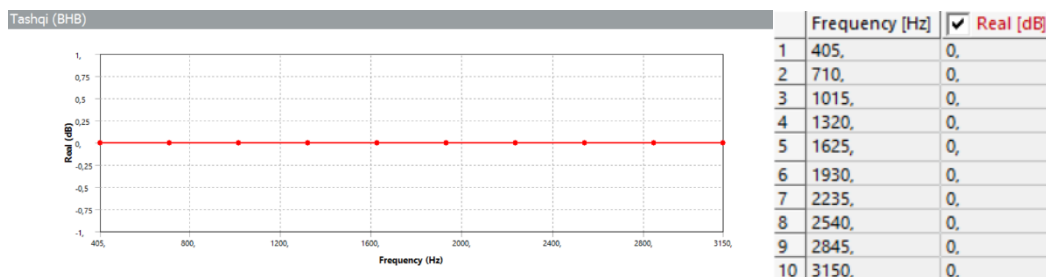
1-rasm. Beton panelda tovush so'nishi.

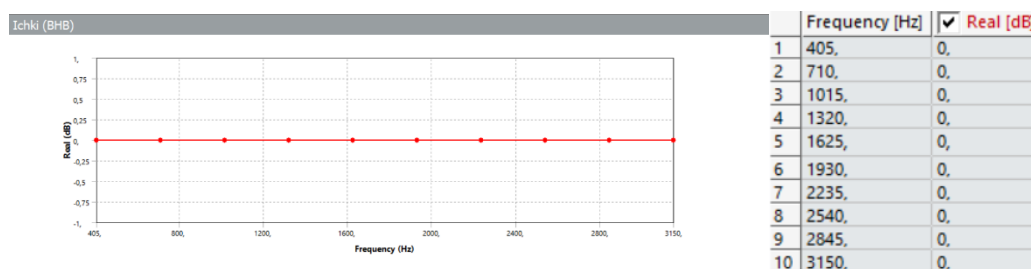
Keyingi bosqichda o'rtaga 10 sm qalinlikda penoplast kiritib qayta hisoblandi va tovush so'nishini qayd qilindi (2-rasm).



2-rasm. Beton-penoplast-beton panelida tovush so'nishi.

Oxirgi qismda penoplast o'rniga havo qatlamini qo'yib qayta hisoblandi. Hisoblash natijasiga ko'ra agar 10 sm qalinlikdagi havo vakum ko'rinishida joylashsa tovush devordan o'tmasligi namoyon bo'ldi (3-rasm).





3-rasm. Beton-havo-beton panelda tovush soʻnishi.

Natijalar tahlili

ANSYS dasturida olib borilgan akustik hisoblashlar natijasida 100–3150 Hz chastota diapazonida uch xil konstruktiv tarkibga ega boʻlgan panelli devorlarning tovushni soʻndirish xususiyatlari oʻzaro taqqoslandi. Hisoblashlarda bir xil akustik taʼsir sharoitlari qabul qilinib, asosiy baholash mezonini sifatida konstruksiyaga kiruvchi va undan chiquvchi tovush darajalari orasidagi farq, yaʼni tovushning kamayish darajasi (dB) qabul qilindi.

Birinchi bosqichda 30 sm qalinlikdagi bir jinsli beton panelning akustik xususiyatlari tahlil qilindi. Hisoblash natijalariga koʻra, 405 Hz chastotada tovush darajasining kamayishi 59,559 dB ni tashkil etdi. Chastota oshib borishi bilan tovushning kamayish qiymati bosqichma-bosqich pasayishi kuzatildi. Bu holat beton konstruksiyaning tovush uzatish xususiyati chastotaga bogʻliq ekanligini koʻrsatadi. Yaʼni mazkur panel barcha chastotalarda bir xil akustik samaradorlikni namoyon qilmaydi. Keyingi bosqichda 10 sm beton + 10 sm penoplast + 10 sm beton tarkibidagi uch qatlamli panel hisoblandi. Ushbu konstruksiyada 405 Hz chastotada tovushning kamayish darajasi 66,3776 dB ga yetdi. Bu beton paneldagi 59,559 dB qiymatiga nisbatan 6,8186 dB yuqori boʻlib, penoplast qatlamining kiritilishi ushbu chastotada tovush uzatilishini qoʻshimcha ravishda kamaytirganini koʻrsatadi. Penoplastli konstruksiyada ham chastota ortishi bilan tovushning kamayish darajasi pasayib bordi. Biroq chastota oshgani sari penoplastli panelning natijalari beton panel natijalariga yaqinlashgani kuzatildi. Bu esa penoplast qatlamining akustik samaradorligi chastotaga bogʻliq ekanligini va uning taʼsiri barcha chastota diapazonlarida bir xil darajada saqlanmasligini koʻrsatadi. Shuning uchun faqat bitta chastotadagi natijaga asoslanib, konstruksiyaning umumiy akustik samaradorligiga yakuniy baho berish maqsadga muvofiq emas. Uchinchi variantda

10 sm beton + 10 sm havo + 10 sm beton tarkibidagi panel tadqiq qilindi. Hisoblashning 100–3150 Hz chastota diapazonida olingan natijalari boshqa ikki variantdan keskin farq qildi. Mazkur konstruksiyada hisoblash davomida tovushning konstruksiya orqali o'tishi 0 qiymatda qayd etildi. Ya'ni modelda berilgan hisoblash shartlari doirasida panelning qarama-qarshi tomoniga tovush uzatilishi aniqlanmadi. Ushbu natija havo qatlamining beton qatlamlari orasida joylashtirilishi konstruksiyaning tovush uzatish xususiyatiga juda katta ta'sir ko'rsatganini ko'rsatadi. Biroq bu natijani real konstruksiyada mutlaq ravishda "tovush umuman o'tmaydi" deb talqin qilish to'g'ri bo'lmaydi. Chunki real binolarda panel birikmalari, choklar, tayanchlar va boshqa konstruktiv elementlar orqali tovushning bilvosita uzatilishi, shuningdek, havo bo'shlig'ida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan akustik jarayonlar mavjud. Shuning uchun ANSYS modelida olingan 0 qiymat aynan qabul qilingan geometrik model, material xususiyatlari va chegaraviy shartlar doirasidagi natija sifatida baholanishi kerak.

Umumiy natijalarni taqqoslash shuni ko'rsatadiki, bir jinsli beton panelga nisbatan penoplastli panelda 405 Hz chastotada tovushning kamayish darajasi yuqoriroq bo'lgan. Demak, beton qatlamlari orasiga penoplast kiritilishi panelning akustik samaradorligini oshirgan. Chastota ortishi bilan esa ikki konstruksiyaning natijalari bir-biriga yaqinlashgan. Havo qatlamli panelda esa tadqiq qilingan butun 100–3150 Hz diapazonida tovush uzatilishi model natijalarida 0 qiymatda saqlangan. Natijalarni umumlashtirib, konstruksiyalarning akustik samaradorligi quyidagi ketma-ketlikda namoyon bo'lgan: beton panel - penoplastli panel - havo qatlamli panel. Bunda penoplastli panel beton panelga nisbatan yuqori tovush so'ndirish ko'rsatkichini bergan bo'lsa, havo qatlamli konstruksiya hisoblash modelida tovush uzatilishini to'liq cheklagan. Shu sababli panelning ichki qatlamini o'zgartirish orqali uning akustik xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilash mumkinligi aniqlandi. Olingan natijalar panelli turar joy binolarida devor konstruksiyasining akustik samaradorligini faqat betonning qalinligi yoki massasi bilan emas, balki qatlamlarning tarkibi, o'zaro joylashuvi va ular orasidagi muhit bilan ham belgilash zarurligini ko'rsatadi. Ayniqsa, penoplast va havo qatlamlaridan

foydalanish tovush uzatilishini kamaytirishga qaratilgan istiqbolli konstruktiv yechim sifatida baholanishi mumkin. Shu bilan birga, havo qatlamli modeldagi 0 dB uzatish natijasini eksperimental sinovlar yoki yanada real chegaraviy shartlarga ega sonli modellar yordamida qo'shimcha tekshirish maqsadga muvofiqdir.

Akustikaga hisoblashning ahamiyati

Panelli turar joy binolarini akustikaga hisoblash bino ichida qulay akustik muhitni ta'minlash va tashqi hamda qo'shni xonalardan keladigan shovqinlarning konstruksiya orqali tarqalishini kamaytirish uchun muhim ahamiyatga ega. Devorning tovush izolyatsiyasi yetarli bo'lmasa, transport, texnik qurilmalar, qo'shni xonalar va tashqi muhitdagi shovqinlar bino ichiga osonroq kirib, yashash sharoitiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Akustik hisoblash orqali turli konstruktiv yechimlarning tovushni o'tkazish va so'ndirish qobiliyatini oldindan baholash imkoniyati yaratiladi. Ayniqsa, beton qatlamlari orasiga penoplast yoki havo bo'shlig'ini joylashtirish kabi yechimlarning akustik samaradorligini bir xil sharoitlarda taqqoslash mumkin. Bu esa konstruksiya tarkibini tanlashni ilmiy jihatdan asoslashga yordam beradi. Hisoblashning yana bir muhim jihat — chastotaga bog'liq akustik xususiyatlarni aniqlashdir. Devor konstruksiyasi past, o'rta va yuqori chastotali tovushlarga bir xil qarshilik ko'rsatmaydi. Shuning uchun keng chastota diapazonida hisoblash olib borish konstruksiyaning real akustik xususiyatlarini batafsilroq baholash imkonini beradi. ANSYS kabi sonli modellashtirish vositalaridan foydalanish turli panel variantlarini amaliy tajriba o'tkazishdan oldin baholash va eng samarali konstruktiv yechimni tanlash imkonini beradi. Natijada tovush izolyatsiyasini yaxshilash, akustik qulaylikni oshirish va konstruksiya tarkibini optimallashtirish uchun ilmiy asos yaratiladi. Shu sababli akustik hisoblash panelli turar joy binolarini loyihalashda nafaqat shovqinni kamaytirish vositasi, balki inson uchun qulay yashash muhitini yaratish va konstruktiv yechimlarning akustik samaradorligini oldindan baholashning muhim ilmiy-amaliy vositasi hisoblanadi.

XULOSA

Olib borilgan tadqiqotda panelli turar joy binolari devor

konstruksiylarining akustik samaradorligi ANSYS dasturida sonli modellashtirish asosida o'rganildi. Tadqiqot davomida bir xil umumiy qalinlikka ega bo'lgan uch xil konstruktiv yechim — bir jinsli beton panel, beton–penoplast–beton panel va beton–havo–beton panel — 100–3150 Hz chastota diapazonida hisoblab chiqildi va natijalari o'zaro taqqoslandi. Hisoblash natijalari konstruksiyaning ichki qatlam tarkibi tovush uzatilishiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini ko'rsatdi. 405 Hz chastotada bir jinsli beton panelda tovushning kamayish darajasi 59,559 dB, beton–penoplast–beton konstruksiyasida esa 66,3776 dB ni tashkil etdi. Ya'ni penoplast qatlamining kiritilishi ushbu chastotada tovush so'ndirish ko'rsatkichini 6,8186 dB ga oshirdi. Shu bilan birga, chastota ortishi bilan ikkala konstruksiyada ham tovushning kamayish qiymati pasayib, ularning natijalari bir-biriga yaqinlashishi kuzatildi. Beton–havo–beton konstruksiyasida esa hisoblash natijalari boshqa ikki variantdan sezilarli darajada farq qildi. Tadqiq etilgan 100–3150 Hz chastota diapazonida model orqali tovush uzatilishi 0 qiymatda qayd etildi. Bu mazkur hisoblash sharoitlarida havo qatlamining tovush uzatilishini cheklashda yuqori samaradorlik ko'rsatganini bildiradi. Biroq ushbu natijani real bino sharoitida tovushning mutlaq ravishda umuman o'tmasligi sifatida qabul qilish mumkin emas, chunki amaliy konstruksiyalarda choklar, birikmalar, tayanchlar va boshqa elementlar orqali tovushning bilvosita uzatilishi mavjud bo'lishi mumkin. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, panelning akustik xususiyatlari faqat uning umumiy qalinligi yoki beton massasiga emas, balki konstruksiyaning qatlamli tuzilishi va qatlamlar orasidagi materiallarning xususiyatlariga ham bevosita bog'liq. Beton qatlamlari orasida penoplast yoki havo bo'shlig'idan foydalanish tovush energiyasining konstruksiya orqali uzatilishini kamaytirish imkonini beradi. Umuman olganda, olingan natijalar panelli turar joy binolari uchun ko'p qatlamli devor konstruksiyalaridan foydalanish akustik qulaylikni oshirishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri ekanligini ko'rsatdi. Ayniqsa, beton–penoplast–beton konstruksiyasi bir jinsli beton panelga nisbatan yaxshiroq tovush so'ndirish xususiyatini namoyon etdi. Havo qatlamli konstruksiya esa mazkur sonli model sharoitida eng yuqori akustik samaradorlikni ko'rsatdi. Shu asosda ANSYS yordamida olib borilgan sonli hisoblashlar turli konstruktiv

variantlarni dastlabki bosqichda baholash, ularning akustik samaradorligini taqqoslash va panelli turar joy binolari uchun maqbul devor konstruksiyasini tanlashda samarali ilmiy-amaliy vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Bies D.A Hansen C.H. Engineering Noise Control: Theory and Practice. CRC Press.
2. Fahy F., Gardonio P. Sound and Structural Vibration: Radiation, Transmission and Response. Academic Press.
3. Beranek L.L., Vér I.L. Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications. John Wiley & Sons.
4. Crocker M.J. Handbook of Acoustics. John Wiley & Sons.
5. Long M. Architectural Acoustics. Academic Press.
6. Kuttruff H. Room Acoustics. CRC Press.
7. Everest F.A., Pohlmann K.C. Master Handbook of Acoustics. McGraw-Hill Education.
8. Mehta M., Johnson J., Rocafort J. Architectural Acoustics: Principles and Design. Prentice Hall.
9. ISO 717-1:2020. Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation. Ushbu standart devor, pol va boshqa konstruktiv elementlarning havodagi tovush izolyatsiyasini baholash usullarini belgilaydi.
10. ISO 10140-1:2021. Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 1: Application rules for specific products.
11. ISO 10140-2:2021. Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation. Ushbu standart devor va boshqa qurilish elementlarining havodagi tovush izolyatsiyasini laboratoriya sharoitida aniqlash usullarini belgilaydi.
12. ISO 10140-4:2021. Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 4: Measurement procedures and requirements.
13. ISO 12354-1:2017. Building acoustics — Estimation of acoustic performance

of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms. Ushbu standart binolar orasidagi havodagi tovush izolyatsiyasini hisoblash modellarini o'z ichiga oladi.

14. ANSYS, Inc. Mechanical Acoustic Analysis Guide. https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v242/en/mech_acous/mech_acous.html

15. ANSYS, Inc. Harmonic Acoustics Analysis. https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v242/en/mech_acous/mech_acous_harmonic_acoustics.html

16. ANSYS, Inc. Harmonic Acoustics System. https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v242/en/wb2_help/wb2_harmonic_acousticAN.html

17. International Organization for Standardization (ISO). ISO 717-1:2020 — Airborne Sound Insulation. <https://www.iso.org/standard/77435.html>

18. International Organization for Standardization (ISO). ISO 10140-2:2021 — Measurement of Airborne Sound Insulation. <https://www.iso.org/standard/79487.html>

19. International Organization for Standardization (ISO). ISO 10140-1:2021 — Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements. <https://www.iso.org/standard/73910.html>

20. International Organization for Standardization (ISO). ISO 12354-1:2017 — Airborne Sound Insulation Between Rooms. <https://www.iso.org/standard/70242.html>

21. ASHRAE. ASHRAE Handbook. <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook>

22. ASHRAE. ASHRAE Handbook Online. <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook/ashrae-handbook-online>

23. International Organization for Standardization (ISO). <https://www.iso.org/>

24. <https://www.ansys.com/>