

**ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԳՐԱԴԻԵՆՏԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ
ԱՐՏԱՂՐԱԿԱՆ ՆՇԱՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՄԵՆՔԵՐՈՒՄ**

Տիգրան Դավիթի Մանուկյան

*Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ
myan_tigran@mail.ru*

Ուսումնասիրված և վերլուծված է ջերմաստիճանային գրադիենտի փոփոխությունն արտադրական նշանակության սենքերում, որտեղ առկա է մեխանիկական օդափոխության համակարգ և սենքի բարձրությունը մեծ է 4 մ-ից: Այսպիսի սենքերում առկա է ջերմային անջատումների զգալի քանակ և օդի ծավալային հոսքը կախված է մի շարք գործոններից, որոնք կարող են զգալիորեն փոփոխել օդափոխության համակարգի արժեքը: Այդ գործոններից է մատակարար և շրջանառու օդի ջերմաստիճանների միջև նախապես սահմանված ջերմաստիճանային տարբերությունը: Արտադրական սենքերում, որտեղ օդաբաշխիչ սարքերը տեղադրված են առաստաղին մոտ, անհրաժեշտ է հաշվի առնել աշխատանքային գոտուց վերև գտնվող հավելյալ ջերմաստիճանային գրադիենտը, որի համար կատարվել է փորձնական ուսումնասիրություն: Հնդվածում ներկայացված է օդի ջերմաստիճանի բաշխման չափումների արդյունքները: Արտադրական սենքում մատակարար օդի համար նախատեսված են հողմային դիֆուզորներ, իսկ արտաձման համակարգի համար՝ այլումինե կարգավորվող ճաղաշարեր: Կատարվել են չափումներ և հաշվարկվել է ջերմաստիճանային գրադիենտի փոփոխությունը 2...7 մ բարձրության միջակայքում:

***Բանալի բառեր.** ջերմաստիճանային գրադիենտ, մեխանիկական օդափոխություն, ջերմային անջատումներ, ջերմային հարմարավետություն*

Ներածություն

Հետազոտության համար ընտրված շինությունը մետաղական կոնստրուկցիաների արտադրամաս է, որի ֆիզիկական չափերն են. լայնություն՝ 22 մ, երկարություն՝ 82 մ, բարձրություն՝ 10,5 մ: Շինության բոլոր պատերն արտաքին են՝ 500 մմ հաստությամբ փրփրապոլիտեթանից կառուցված, դրսից և ներսից մետաղե երեսապատումով, առաստաղը ևս կազմված է նույն նյութերից, շինության հատակն անմիջապես հենված է հողի վրա: Մենքում աշխատողների առավելագույն քանակը 36 է, շինության հարմարավետ պայմանների ապահովման համար նախատեսված է ներաձման և արտաձման օդափոխության համակարգ: Մենքում հիմնական ջերմային անջատումները տեղի են ունենում մարդկանցից, լուսավորությունից և հաստոցներից:

Օդի ծավալային հոսքի հաշվարկման համար կարևոր պայման է սահմանել ներաձման և արտաձման օդի ջերմաստիճանները: Այս խնդիրը համեմատաբար դյուրին է սենքերում, որտեղ առաստաղի բարձրությունը 4 մ է և օդաբաշխիչ սարքերը տեղադրված են աշխատանքային

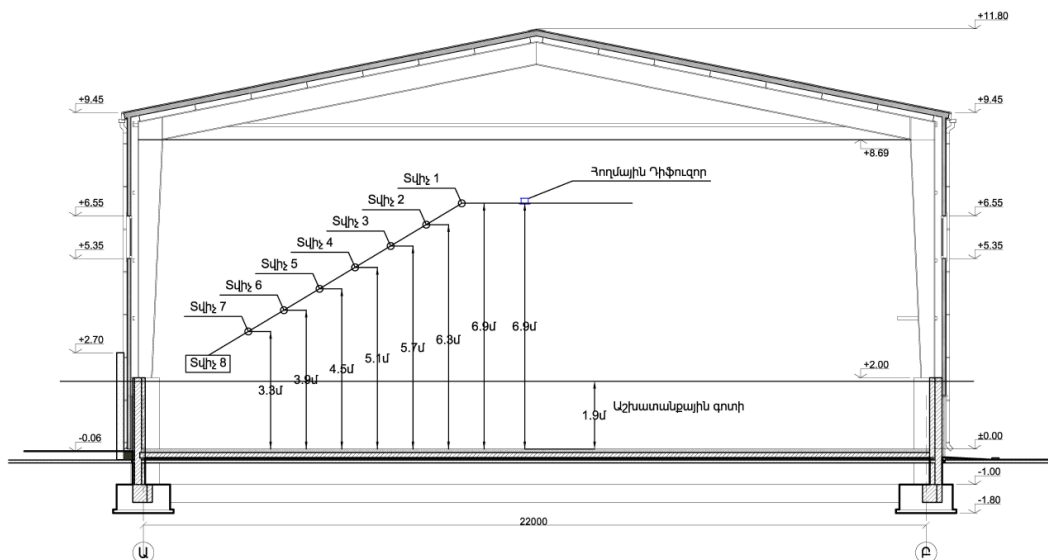
գոտուն հնարավորինս մոտ [1, 2]: Արտադրական սենքերում, որտեղ առաստաղի բարձրությունը մեծ է 4 լ/- ից և օդաբաշխիչ սարքերը տեղադրված են առաստաղին մոտ, առկա է ջերմաստիճանի փոփոխություն սենքի բարձրության ուղղությամբ: Այս խնդիրը հատկապես կարևոր է արտադրական այնպիսի սենքերում, որտեղ առկա է կառուցվածքային և տեխնոլոգիական պահանջ ներածման և արտածման օդաբաշխիչների տեղի հետ կապված. ներածումը՝ սենքի առաստաղին մոտ, արտածումը՝ աշխատանքային գոտուց բարձր:

Աշխատանքային գոտում ուղղահայաց ջերմաստիճանային գրադիենտը ջերմային հարմարավետության ամենակարևոր գործոններից է: Էներգիայի սպառման տեսանկյունից առավել կարևոր է գնահատել ընդհանուր սենքում հնարավոր ջերմաստիճանի աճը, քան պարզապես ներածման և արտածման օդերի ջերմաստիճանների տարբերությունը, միաժամանակ անհրաժեշտ է աշխատանքային գոտում ապահովել հարմարավետ պայմաններ [3, 4]: Աշխատանքային գոտուց վեր ջերմաստիճանի բարձրացումը (θ) սերտորեն կապված է այն խնդրի հետ, որը բնութագրում է սենյակի միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը (δt): Վերջինս դեռևս բավարար կերպով ուսումնասիրված չէ Հայաստանում՝ սենքերի 4 լ/ և ավելի բարձրության դեպքում:

Նյութեր և մեթոդներ

Հաշվարկվել են շինության համար ջերմային կորուստները, պահանջվող ներածման և արտածման օդաքանակներն ըստ նորմատիվատեխնիկական փաստաթղթերի [5-7]:

Չափումները կատարվել են 2024թ.-ի ապրիլից մինչև օգոստոս ամիսները: Չափիչ սարքերը տեղադրվել են հնարավորինս խնդրահարույց հատվածներում: Չափումների համար օգտագործվել են 8 հատ տվիչներ՝ կարգավորվող դիրքով ներածման օդի ջերմաստիճանի չափման և հաստատուն դիրքով աշխատանքային գոտում օդի ջերմաստիճանի չափման համար, մյուս տվիչները տեղադրվել են 1 լ/ հեռավորությամբ՝ հաստատուն դիրքերում: Տվիչների դիրքերը պատկերված են նկ. 1-ում:



Նկ. 1. Չափիչ սարքերի և տվիչների դիրքը սենքում

Սկզբնական չափումները բացահայտեցին այն հատվածները, որտեղ օդափոխության համակարգը բավական արդյունավետ չէր գործում, և այն հատվածները, որտեղ չափազանց ինտենսիվ էր: Ջերմաստիճանի չափումները կատարվել են յուրաքանչյուր 10 *րոպեն* մեկ PT1000 տեսակի տվիչներով:

Մեխանիկական դրդմամբ օդափոխության համակարգերում, որոնք սպասարկում են զգալի ջերմային անջատումներ ունեցող սենքեր, պահանջվող օդաքանակի մեծությունը կախված է նաև ներածման և արտածման գոտիների միջև ջերմաստիճանների տարբերությունից [8]: Օդի հոսքի քանակը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$L = Q / \rho c \Delta t, \quad (1)$$

որտեղ L -ն օդի քանակն է, u^3/d , ρ – ն՝ օդի խտությունը, lq/u^3 , c – ն՝ օդի ջերմունակությունը, $\varphi u/lq^0C$, Δt – ն՝ ջերմաստիճանների տարբերությունը, 0C , Q – ն սենքի ջերմային պահանջն է, φu :

Սենքերում, որտեղ առաստաղի բարձրությունը մեծ է, ջերմաստիճանի փոփոխությունը կարող է արտահայտվել հետևյալ բանաձևով՝

$$\Delta t^{max} = \{[t_{wq} + \delta t(h_{wp} - h_{wq})] - t_u\}^{max}, \quad (2)$$

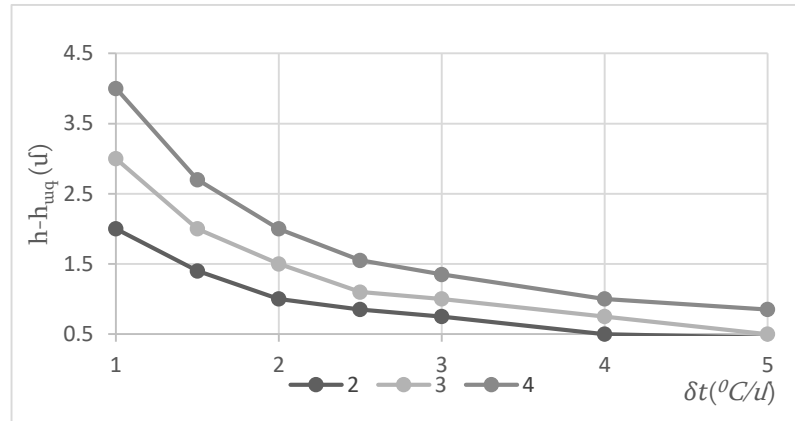
որտեղ t_{wq} -ն աշխատանքային գոտու օդի ջերմաստիճանն է, 0C , t_u -ը՝ ներածվող օդի ջերմաստիճանը, h_{wp} -ը՝ արտածման ճաղաշարի բարձրությունը, h_{wq} –ը՝ աշխատանքային գոտու բարձրությունը, l , δt -ն սենյակի միջին ջերմաստիճանային գրադիենտն է, $^0C/l$:

Սենյակի միջին ջերմաստիճանային գրադիենտն արտահայտում է օդի ջերմաստիճանի փոփոխությունը բարձրության ուղղությամբ, չափված հատակի մակարդակից ուղղահայաց հեռավորությամբ՝ $\delta t (^0C/l)$ [9]: Հոդվածում հիմք է ընդունվել աշխատանքային գոտու բարձրությունը՝ 1,5...1,9 l : Միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\delta t = \frac{\theta}{h_{1wq} - h_{wq}} = \frac{t_{1wq} - t_{wq}}{h_{1wq} - h_{wq}}, \quad (3)$$

որտեղ θ -ն աշխատանքային գոտուց վերև ջերմաստիճանի բարձրացումն է, 0C , h_{1wq} -ը՝ աշխատանքային գոտուց վերև բարձրությունը, h_{wq} -ը՝ աշխատանքային գոտու բարձրությունը, l , t_{1wq} –ը՝ աշխատանքային գոտուց վերև օդի ջերմաստիճանը, t_{wq} -ը՝ աշխատանքային գոտու օդի ջերմաստիճանը:

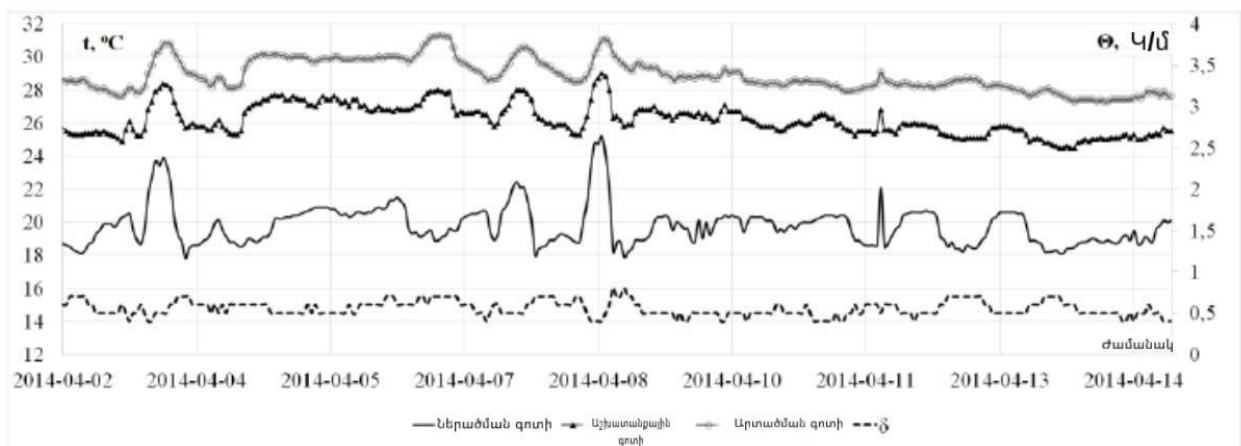
Սենքերում, որտեղ գերակշռում է զգայական ջերմային բեռը, կարելի է տարանջատել երկու գոտի՝ աշխատանքային, որտեղ պետք է ապահովել սահմանված հարմարավետ պայմանները և անցումային, որը գտնվում է աշխատանքային գոտուց բարձր և ջերմային պայմանների ապահովումը պարտադիր չէ: Այս գոտում դիտվում է ջերմաստիճանի շերտավորում և լրացուցիչ ջերմաստիճանային գրադիենտի բարձրացում: Նկ. 2-ում ներկայացված է միջին ջերմաստիճանային գրադիենտի փոփոխությունը, կախված աշխատանքային գոտուց, հեռավորության և բարձրության տարբերությունից: Ըստ նկ. 2-ի, միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը նվազում է աշխատանքային գոտուց:



Նկ. 2. Մենքում միջին ջերմաստիճանի գրաֆիկ միջին ջերմաստիճանային գրադիենտ աճի՝ $\Delta t = 2, 3, 4^{\circ}\text{C}$ արժեքների դեպքում

Արդյունքներ և քննարկում.

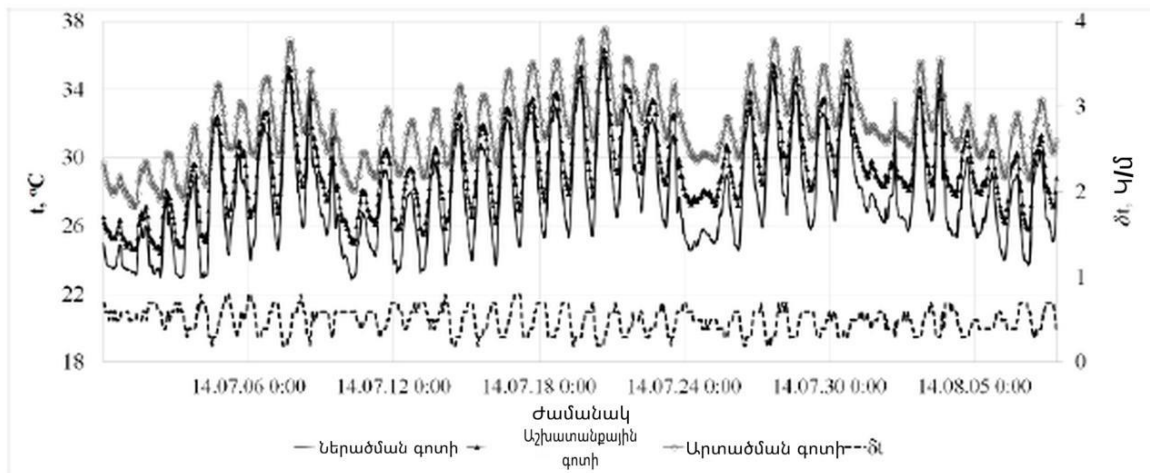
Նկ. 3 և նկ. 4-ում ներկայացված են օդի ջերմաստիճանի փոփոխություններն ու միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը, որոնք գրանցվել են 2024թ. ապրիլ, հուլիս, օգոստոս ամիսներին: Գրաֆիկներում ներկայացված են աշխատանքային գոտու ջերմաստիճանի փոփոխությունները, արտածման և ներածման ճաղաչարերին մոտ օդի ջերմաստիճանը: Ապրիլ ամսին աշխատանքային գոտում գրանցված օդի ջերմաստիճանի աճը կազմել է $5,8^{\circ}\text{C}$, ինչը եղել է ողջ չափման ընթացքում ամենաբարձր արժեքը: Ներածման օդի նվազագույն ջերմաստիճանն ստացվել է $17,8^{\circ}\text{C}$, այդ ժամանակահատվածում աշխատանքային գոտում օդի ջերմաստիճանը եղել է $26,2^{\circ}\text{C}$, իսկ արտավող օդի ջերմաստիճանը՝ $29,3^{\circ}\text{C}$: Մենքում միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը (δt) կազմել է $0,7^{\circ}\text{C}/\text{l}$:



Նկ. 3. Մենքում օդի ջերմաստիճանի և օդի միջին ջերմաստիճանային գրադիենտի փոփոխության գրաֆիկ

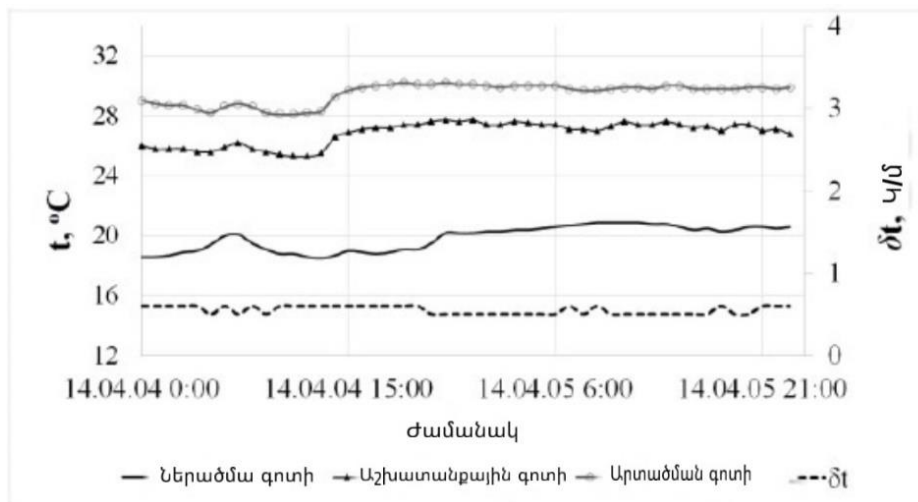
Ներածման օդի ջերմաստիճանի ժամանակավոր աճը (պայմանավորված արտաքին օդի ջերմաստիճանի բարձրացմամբ) հանգեցրել է աշխատանքային գոտու և արտավող օդի ջերմաստիճանների բարձրացման: Մինևույն ժամանակ անցումային գոտում օդի ջերմաստիճանի բարձրացման ցուցանիշը (θ) նվազել է, ինչի արդյունքում նվազել է նաև միջին ջերմաստիճանային

գրադիենտը: Ապրիլ ամսին ներածվող օդը եղել է թարմ, վերաօգտագործված օդի խառնուրդ, որն ապահովել է կայուն ջերմաստիճան աշխատանքային գոտում [10]: Հուլիս և օգոստոս ամիսներին միջին ջերմաստիճանային աճը կազմել է 1,78 °C, ինչը եղել է ամբողջ չափման ընթացքում ամենացածր արժեքը: Ներածվող թարմ օդի ջերմաստիճանի նվազագույն արժեքը եղել է 22,8 °C, այդ ժամանակահատվածում աշխատանքային գոտում օդի ջերմաստիճանը կազմել է 24,5 °C, իսկ արտածման օդի ջերմաստիճանը՝ 27,5 °C: Միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը կազմել է 0,58 °C/մ: Ապրիլ ամսվա չափումներից ստացված ջերմաստիճանային տարբերությունների պատճառը եղել է սառեցման համակարգի բացակայությունը, ինչի հետևանքով ներածվող թարմ օդի ջերմաստիճանը եղել է գրեթե նույնը, ինչ արտաքին օդի ջերմաստիճանն է:



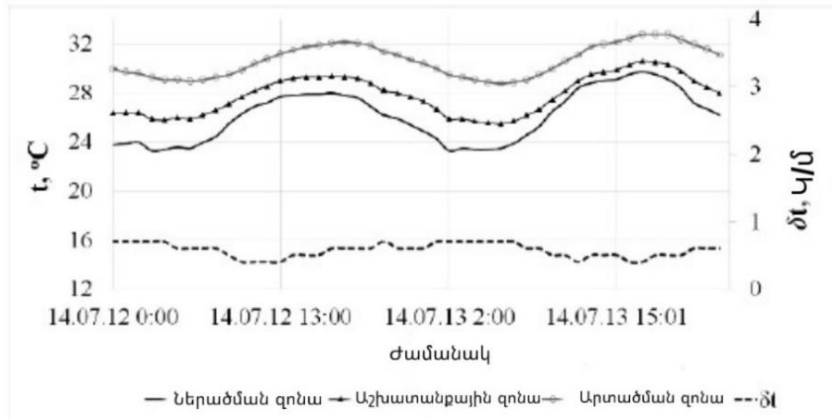
Նկ. 4. Մենքում օդի ջերմաստիճանի և օդի միջին ջերմաստիճանային գրադիենտի փոփոխության գրաֆիկ

Նկ. 5 և նկ. 6-ում ներկայացված են ջերմաստիճանային գրադիենտի և օդի ջերմաստիճանի փոփոխություններն ընտրված երկու օրերի համար՝ ապրիլից մինչև հուլիս:



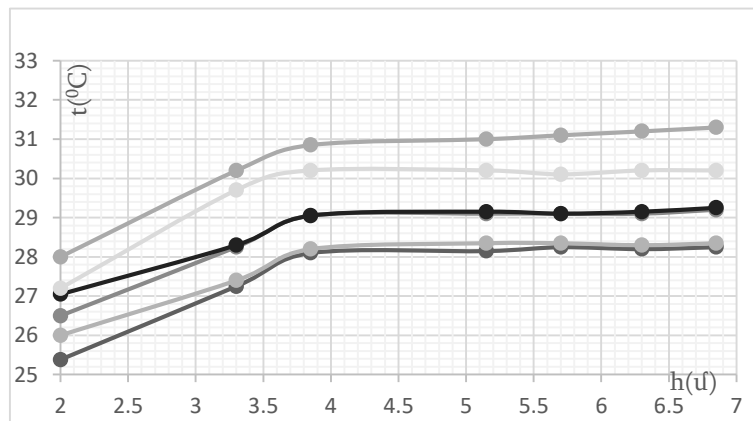
Նկ. 5. Մենքում օդի ջերմաստիճանը և միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը նշված ժամանակահատվածում (ապրիլ)

Ըստ ստացված գրաֆիկների ապրիլ ամսին արտադրամասում օդի ջերմաստիճանը մնացել է գրեթե անփոփոխ, հուլիս և օգոստոս ամիսներին այն կախված է եղել արտաքին օդի ջերմաստիճանից: Ցերեկվա և գիշերվա ջերմաստիճանային տարբերությունները հստակ արտահայտված են գրաֆիկում: Կարելի է նկատել, որ ներածվող օդի ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը նվազում է [11]:



Նկ. 6. Մենքում օդի ջերմաստիճանը և միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը նշված ժամանակահատվածում (հուլիս)

Նկ. 7-ում ներկայացված է արտադրամասի տարբեր բարձրություններում օդի ջերմաստիճանի փոփոխությունը՝ համեմատած աշխատանքային գոտում օդի ջերմաստիճանի և դրա բարձրացման հետ:



Նկ. 7. Մենքում օդի ջերմաստիճանի փոփոխությունը տարբեր բարձրություններում, սենքում ջերմաստիճանի փոփոխությունն ըստ սվիչների

Եզրակացություն

- Արտադրամասում օդի ջերմաստիճանի շերտավորումն արձանագրվում է ինչպես նվազագույն, այնպես էլ առավելագույն ջերմաբեռնվածության ժամանակ:
- Օդի միջին ջերմաստիճանային գրադիենտը հակադարձ հարաբերական է ներածվող օդի ջերմաստիճանին՝ հատկապես ամռանը, երբ սրահ է մատակարարվում արտաքին կամ վերաօգտագործիչով անցկացված օդ:

- Աշխատանքային գոտուց վերև 2 մ տարածությունում դիտվում է օդի ջերմաստիճանի զգալի աճ: Դրանից վեր աճը նվազում է:
- Հաստատվել է սրահում ընդհանուր օդի ջերմաստիճանի աճի և աշխատանքային գոտու այդ աճի միջև կապը: Այս կապը թույլ է տալիս ավելի հեշտությամբ գնահատել անհրաժեշտ օդի ջերմաստիճանի աճը՝ օդի ծախսի հաշվարկման համար նմանատիպ տեխնոլոգիական և ջերմային պայմաններ ունեցող սրահներում, որոնք հազեցած են առանց սառեցման օդափոխիչ կայաններով:

Գրականության ցանկ

- [1] **M. Karim, R. Al-Mansour**, HVAC Design for Industrial Facilities, Springer, 2018, 245 p.
- [2] **Y. Zhou, X. Wang**, Air Distribution and Energy Efficiency in Industrial Buildings, Elsevier, 2017, 294 p.
- [3] **Q. Chen**, Ventilation and Airflow in Large Indoor Spaces, CRC Press, 2013, 310 p.
- [4] **ASHRAE**, Handbook of Fundamentals, ASHRAE Publications, Atlanta, 2021, 980 p.
- [5] **K. Lee, H. Tanaka**, Thermal Stratification and Comfort in High-Ceiling Rooms, Journal of Building Physics 42(2) (2019) 134–150.
- [6] **R. Mikalsen**, Heat Transfer in Industrial Environments, Wiley-Blackwell, 2016, 268 p.
- [7] **Ս. Կ. Քարամյան**, Շենքերի ջերմատեխնիկական հարաչափերի գործիքային չափազորում. Ուս.մեթ.ձեռն., ՄԱԶՕ, Երևան, 2013, 55 էջ:
- [8] **M. Nowak, P. Lewandowski**, Indoor Climate Control: Theory and Practice, Springer, 2020, 312p.
- [9] **S. Sattari & B. Farhanieh**, Experimental Analysis of Temperature Gradients in Factory Halls, Energy and Buildings 86 (2015) 206–213.
- [10] **M. Krajčík, A. Simone**, Numerical Modeling of Vertical Air Temperature Gradient in Industrial Halls, Building and Environment 89 (2015) 206–218.
- [11] **S. Holmberg, Y. Li**, Ventilation of Large Spaces with High Ceilings, Building Services Engineering Research and Technology 31(3) (2010) 223–235.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА В ПОМЕЩЕНИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Манукян Тигран Давидович

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА

myan_tigran@mail.ru

Изучено и проанализировано изменение температурного градиента в помещениях промышленного назначения, оснащённых системой механической вентиляции и имеющих высоту потолка более 4 метров. В таких помещениях наблюдается значительное количество тепловых расслоений, а объёмный расход воздуха зависит от ряда факторов, которые могут существенно повлиять на стоимость и эффективность вентиляционной системы. Одним из таких факторов является заранее заданная разница температур между подаваемым и циркулирующим воздухом. В производственных

помещениях, где воздухораспределительные устройства установлены вблизи потолка, необходимо учитывать дополнительный температурный градиент выше рабочей зоны. С этой целью было проведено экспериментальное исследование. В статье представлены результаты измерений распределения температуры воздуха. В рассматриваемом промышленном помещении для подачи воздуха использовались воздушные диффузоры, а для вытяжной системы — регулируемые алюминиевые решетки. Были выполнены измерения и рассчитано изменение температурного градиента в диапазоне высот от 2 до 7 метров.

Ключевые слова: температурный градиент, механическая вентиляция, тепловые выделения, тепловой комфорт

ANALYSIS OF TEMPERATURE GRADIENT VARIATION IN INDUSTRIAL PREMISES

Tigran Manukyan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA

myan_tigran@mail.ru

The purpose of the article is to study and analyze the variation of the temperature gradient in industrial premises equipped with mechanical ventilation systems and having a ceiling height greater than 4 meters. In such premises, there is a significant number of thermal layers, and the volumetric airflow depends on a number of factors that can substantially affect the cost and efficiency of the ventilation system. One of these factors is the predefined temperature difference between the supply and recirculated air. In industrial halls where air distribution devices are installed near the ceiling, it is necessary to consider the additional temperature gradient above the occupied zone. To investigate this, an experimental study was conducted. The article presents the results of air temperature distribution measurements. In the examined industrial hall, wind-type diffusers were used for supply air, and adjustable aluminum grilles were used for the exhaust system. Measurements were carried out, and the change in temperature gradient was calculated within the height range of 2 to 7 meters.

Keywords: *temperature gradient, mechanical ventilation, thermal stratification, thermal comfort*

Մանուկյան Տիգրան Դավիթի (ՀՀ, ք. Երևան) – ՃՇՀԱՀ, ՋԳՄՕ ավրին, հայցքը (+374)33373708, *myan_tigran@mail.ru*

Манукян Тигран Давидович (РА, г. Ереван) - НУАСА, кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции, соискатель, (+374)33373708, *myan_tigran@mail.ru*

Manukyan Tigran (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, PHD student, (+374)33373708, *myan_tigran@mail.ru*

Ներկայացվել է՝ 17.06.2025թ.

Գրախոսվել է՝ 17.07.2025թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 29.08.2025թ.