

АГААР – УС ДУЛААНЫ НАСОСЫГ АЙЛ ӨРХИЙН ХАЛААЛТЫН СИСТЕМД ТУРШСАН ҮР ДҮН

Dabalagan^{1, a}, Ж.Амгаланзул^{2, b*}, Ө.Мөнхбаатар^{3, c}, Д.Баатархүү^{4, d}

^{1, 2, 4}Инженер технологийн сургууль, ХААИС

³Green solar energy ХХК

^adabalagan1993@gmail.com, ^bamgalanzul@mul.s.edu.mn, ^cu.munkhbaatar@gmail.com,
^delec_eng@mul.s.edu.mn

Хураангуй

Монгол орны цаг агаарын эрс тэс уур амьсгалаас шалтгаалан жилийн ихэнх хугацаанд барилга байгууламж болон айл өрхүүдэд халаалт шаардлагатай байдаг (Цэрэндорж, 2016). Хот суурин газруудын ихэнх нь төвлөрсөн дулаан хангамжинд холбогдсон байдаг. Харин төвлөрсөн системд холбогдох боломжгүй буюу гэр хорооллын айлууд халаалтандаа түүхий нүүрс ашиглаж байгаа нь агаарын бохирдол үүсэх гол шалтгаан болоод байна. Орчны нам температуртай агаарын эх үүсвэрээр ажилладаг дулааны насосыг айл өрхийн халаалтын системд ашигласнаар ашиглалтын зардал, хүлэмжийн хийн ялгарал буурах, айл өрхийн амьдрах таатай нөхцлийг бүрдүүлэх, байгалийн нөөцийг хэмнэх, агаарын бохирдлыг бууруулах зэрэг олон талын ач холбогдол бүхий олон улсын судалгаанууд байна (Цэрэндорж, 2016). Уг судалгааны ажлаараа бид айлын халаалтын системд агаар – ус дулааны насосыг суурилуулж, 7 хоногийн хугацаанд явуулсан системийн хэмжилт, туршилтын үр дүнг танилцуулж байна.

Түлхүүр үг: дулааны насос, халаалтын систем, COP

ОРШИЛ

Сүүлийн жилүүдэд улсын хэмжээнд агаарын бохирдол нэмэгдэж ялангуяа өвлийн улиралд Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын хэмжээ хэт ихсэж, нийслэлийн иргэдийн эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлсээр байна. Нийт агаарын бохирдлын 80% нь гэр хорооллын айлуудын нүүрсний хэрэглээнээс, 10% нь тээврийн хэрэгслээс, 6% нь дулааны цахилгаан станцаас, 4% нь хөрснөөс дэгдэх тоос болон хог хаягдлаас үүсч байна. Агаарын бохирдол нь хүний биеийн амьсгалын тогтолцоо, зүрх судас, мэдрэл, нөхөн үржихүйн тогтолцоо зэрэг бүхий л эрхтэн тогтолцоо ялангуяа жирэмсэн эхийн ураг, 5 хүртэлх насны хүүхдийн эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөтэй байдаг (ҮСХ, 2019).

Үндэсний статистикийн газраас гаргасан судалгаагаар 2019 оны 1 сарын 25 – нд Улаанбаатар хотын нийт өрхийн хэмжээнд 391688 өрх байдгаас халаалтаа ердийн галлагаагаар 44.98%, нам даралтын зуухаар 2.64%, цахилгаан халаагуураар 1.08%, үлдсэн хувь нь төвийн шугамд холбогдсон орон сууцны айлууд эзэлж байна (ҮСХ, 2019). Иймээс агаарын бохирдлыг бууруулах зорилгоор Монгол улсын засгийн газар 2018 оны 2 сарын 28-ны өдрийн 62 дугаар тогтоолоор боловсруулаагүй нүүрсийг Улаанбаатар хотын төвийн 6 дүүргийн өрхийн хэрэглээнд ашиглахыг хориглосон бөгөөд ингэснээр агаарын бохирдлын хэмжээг 50 хүртэл хувиар бууруулсан байна. Гэвч энэ түвшин нь ДЭМБ-ын хүлээн зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс 6-12 дахин их байна (ҮСХ, 2019). Мөн Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг бууруулах үүднээс 40 мянган өрхийг цахилгаанаар халаахаар төлөвлөж шугам сүлжээний өргөтгөлийг хийж, шөнийн цахилгаан эрчим хүчний тарифийг хөнгөлсөн болно. Энэ хүрээнд айл өрхүүд цахилгаан халаалтыг нэлээдгүй хэрэглэж байгаа боловч ашиглалтын зардал өндөр байгаатай холбоотой эрэлтэй халаалтын систем болж чадахгүй байна. Иймд биднээс халаалтын системийн өөр зохимжтой хувилбарыг шаардаж байна.

Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэр болох агаарыг ашиглан дулааныг үйлдвэрлэж айл өрхийн халаалтын системийг шийдэх боломжтой юм. Монгол орны нөхцөлд ашиглагдаж байгаа агаарын эх үүсвэр бүхий дулааны насосын талаар судлахад 2017 онд Улаанбаатар хотын 7 айл өрхөд агаар – агаар төрлийн дулааны насосыг суурилуулж, судалгаа явуулсан байдаг (Smith, 2018).

Дулааны насос нь агаар-агаар, агаар-ус, хөрс-ус, ус-ус төрлийн насосууд байдаг. Үүнээс бид агаар – ус дулааны насосыг халаалтанд хэрэглэх боломж, эрчим хүчний үр ашгийг гаргах зорилгоор Сонгино хайрхан дүүргийн 6-р хороонд байрлалтай 48.8 м² талбайтай өрхийн халаалтын системд суурилуулж, туршилт судалгаа хийсэн. Уг төхөөрөмжийн ажиллах зарчим нь гадна агаарын нам температурын дулаанаар дулааны насосын ажлын бие нь ууршиж, компрессороор шахагдан үүссэн дулаанаар халаалтын системийн ажлын биеийн температурыг нэмэгдүүлдэг.

1. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Агаар-ус дулааны насосыг турших арга зүй

- Агаар-ус дулааны насосоор халаах сууцны дулааны алдагдлын тооцоог хийж, дулааны насосын хүчин чадлыг сонгоно.

- Дулааны насосоо суурилуулан Smart data logger ухаалаг системийн тусламжтай 1 минут тутамд гадна болон дотор агаарын температур, дулааны насосын өгөх, буцах шугамын температур, нөөц савны өгөх, буцах шугамын температур, дулаан насосны чадал, гүйдэл зэрэг үзүүлэлтүүдийн утгыг хэмжиж авна.
- Хэмжилтийн тоон цуваан дотор хэт ялгарах хэмжигдэхүүн байгаа эсэх, тоон цуваа нэгэн төрөл эсэх, хэвийн тархалтын хуульд захирагдаж байгаа эсэх зэргийг тодорхойлох математик статистик боловсруулалт хийж, хэмжилтийн өөр өөр утгуудын хорондоо корреляци хамааралтай эсэхийг тогтооно.
- Хэмжилт тооцооны үр дүнгээр гарсан үзүүлэлтүүдийг үндэслэн дулааны насосны хувиргалтын коэффициент (Coefficient of Performance – COP) – ийг тодорхойлно.

Барилгын хаших хашиц (хана, цонх, тааз, шал)-үүдийн материал болон зузааныг ашиглаж барилгын дулаан алдагдлын ачааллыг тооцон гаргана.

Барилгаас дулаан хоёр замаар алдагдана. Үүнд:

1. Хаших хашиц (хана, цонх, тааз, шал)-ээр алдагдах дулаан ($Q_{\text{х.алд}}$) нь дулаан дамжуулалтын тэгшитгэлээр тодорхойлогдоно (Намхайням, 2001).

$$Q_{\text{х.алд}} = \sum F_l \cdot k_l \cdot (t_B - t_H); \text{Вт} \quad (1)$$

Үүнд: k_l - хаших хашиц (хана, цонх, тааз, шал) - үүдийн дулаан дамжуулалтын коэффициент, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; F_l - хаших хашиц (хана, цонх, тааз, шал) – үүдийн дулаан дамжуулах гадаргуу, м^2 ; $t_B - t_H$ - барилгын дотор болон гадна агаарын температур, $^\circ\text{C}$

2. Хашиц хийцийн зай завсараар алдагдах инфильтрацийн дулааны алдагдал

$$Q_{\text{инф.алд}} = C_p \cdot \rho \cdot n \cdot V(t_B - t_H); \text{Вт} \quad (3)$$

Үүнд: C_p - агаарын дулаан багтаамж, $C_p = 0.33 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$; ρ – агаарын нягт $\rho = 1.2, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; n – агаар сэлгэлтийн тоо, $n = 0.3$; V – барилгын нийт эзэлхүүн, м^3

Барилгын нийт дулааны алдагдал

$$Q_{\text{н.алд}} = Q_{\text{х.алд}} + Q_{\text{инф.алд}}, \text{Вт} \quad (4)$$

Дулааны насосын хувиргалтын коэффициент (COP) – ыг дараах байдлаар тодорхойлов (Мөнхбаяр. Б, 2005).

$$\text{COP} = \frac{Q}{P} \quad (5)$$

Үүнд: Q – үйлдвэрлэсэн дулааны эрчим хүчний хэмжээ, Вт ; P – хэрэглэсэн цахилгаан эрчим хүчний хэмжээ, Вт

Дулааны насосын үйлдвэрлэсэн дулааны эрчим хүчний хэмжээ

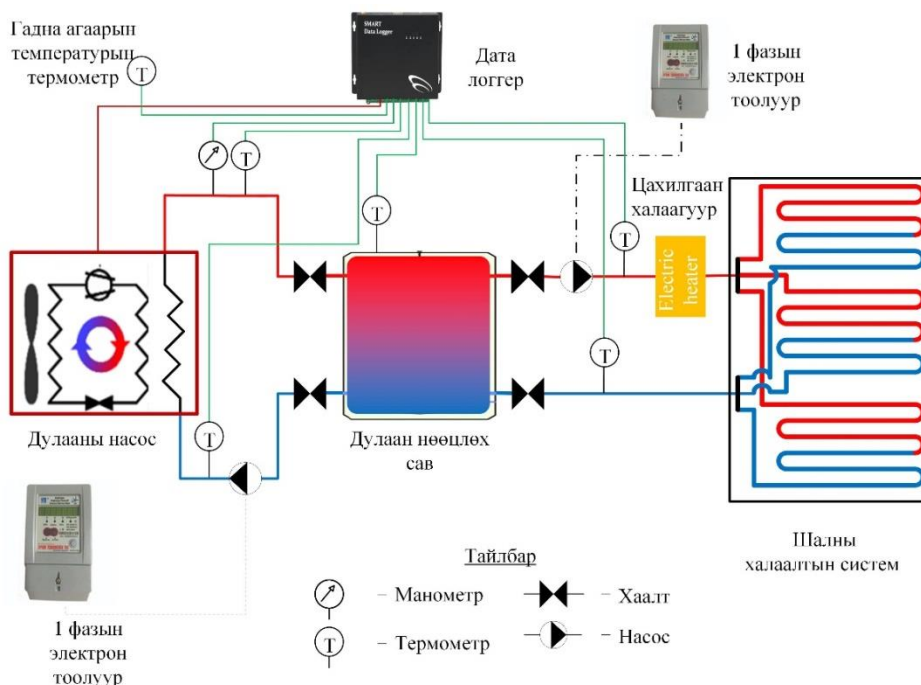
$$Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T \cdot \rho \quad (6)$$

Үүнд: c_p – тосолны дулаан багтаамж, $c_p = 3151 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$; m – тосолны зарцуулалт, $\text{кг}/\text{сек}$; ΔT – дулааны насосны ирж, буцах тосолны температурын зөрүү; ρ – тосолны нягт, $\rho = 1076 \text{ кг}/\text{м}^3$

2. ТУРШИЛТ СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

БНХАУ–д үйлдвэрлэгдсэн F-015 маркийн агаар – усны дулааны насосыг суурилуулсан барилга нь Улаанбаатар хотын Сонгинохайрхан дүүргийн 6 – р хороонд байрладаг. Барилгын талбай 48.8 м², эзлэхүүн нь 117.1 м³. Барилгын нийт дулааны алдагдал 4.29 кВт байв.

Дулааны насосоор халаалтын системийг бүрэн ажиллуулж, 2019 оны 2 сарын 26 - аас эхлэн өдөр бүр 2019 оны 3 сарын 06 – ны өдөр хүртэл хэмжилтийг хийсэн. Хэмжилтийн багаж, мэдрэгчүүдийн холболтын бүдүүвчийг дараах зурагт харуулав.

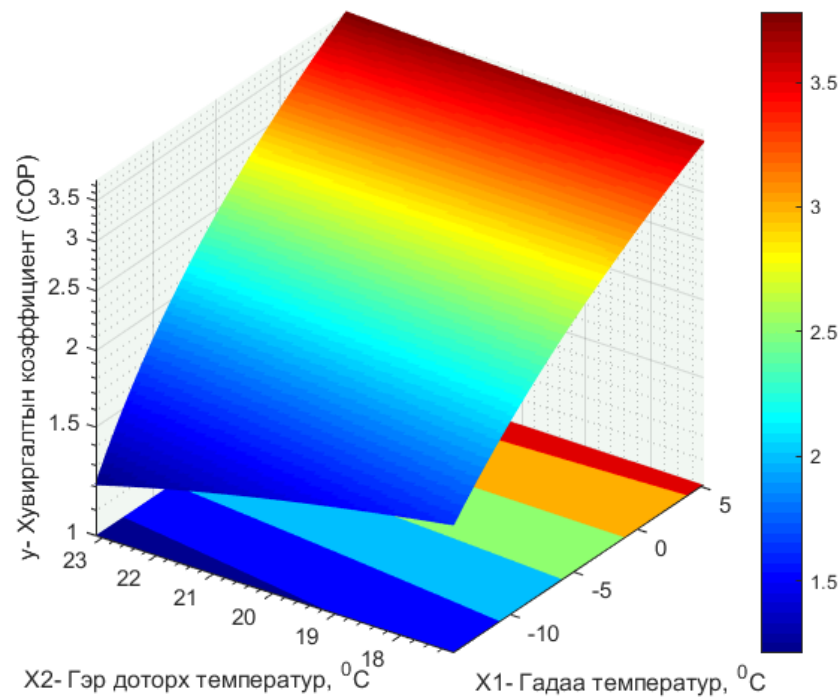


Зураг 1. Агаар – ус дулааны насос бүхий шалны халаалтын системийн хэмжилт явуулсан холболтын схем



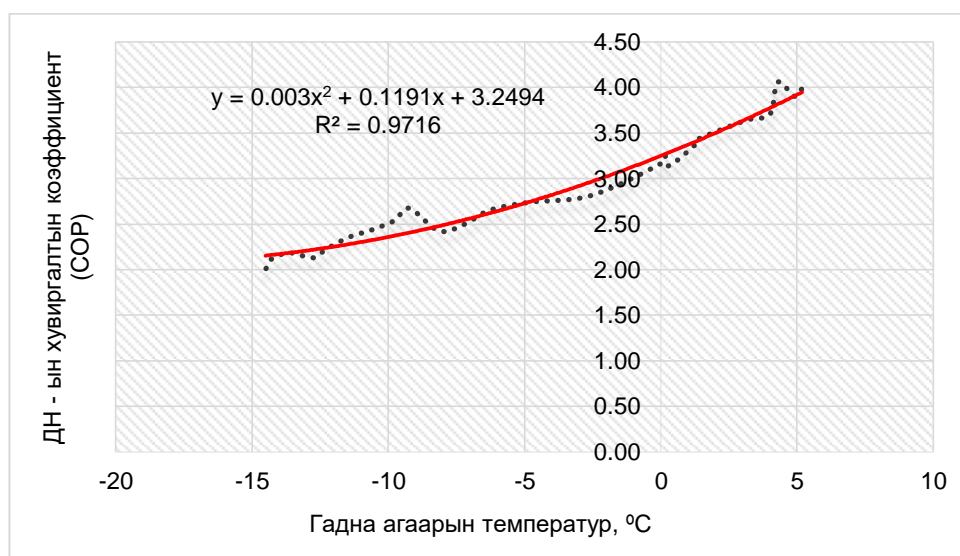
Зураг 2. FA-015 Агаар – усны дулааны насосыг халаалтын системд суурилагдсан байдал. 1 – агаарын эх үүсвэрийн дулааны насос, 2 – дулааны насосын оролтын хоолой, 3 – дулааны насосын гаралтын хоолой, 4 – дулаан нөөцлөх сав, 5 - насос

Дотор агаарын температурын утгыг хэмжих мэдрэгч /төрөл, марк/ өрөөний гол хэсэгт таазнаас 40 см - ын зайд байрлуулсан. Хэмжилтийн утгаас харахад өрөөний дундаж температур хамгийн ихдээ 27°C, хамгийн бага 17°C, дундажаар 22°C градус байв. Гадна агаарын температурыг хэмжихдээ температур мэдрэгчийг нар тусахгүй хэсэгт байрлуулж, хэмжилтийг явуулсан. Хэмжилтийн утгаас харахад гадна агаарын хамгийн бага температур – 14.5°C байв. Туршилт явуулсан өдрүүдээс хамгийн хүйтэн өдрийг сонгож, гадна, дотор агаарын харьцуулсан графикийг дараах зурагт харуулав.



Зураг 3. Гадна, дотор агаарын температурын хэмжилтийн дүн

Гадна агаарын температурын өөрчлөлтөөс үл хамааран өрөөний температур тогтмол 17 – 23°C – ын хооронд хэлбэлзэж байв. Гадна агаарын температураас хамаарах дулааны насосын хувиргалтын коэффициентийн хамаарлыг дараах графикт харуулав.



Зураг 4. Гадна агаарын температураас хамаарах COP - ын утга

Гадна агаарын температур $-14.5 \dots 5.1^{\circ}\text{C}$ үед дулааны насосын чадлын коэффициент $2.01 \dots 4.05$ хооронд хэлбэлзэж байв.

3. ШҮҮН ХЭЛЭЛЦЭХҮЙ

Калифорния Их сургууль, Энэтхэгийн Цэвэр агаарын бодлогын төв, Монгол улсын эрчим хүчний яам, ШУТИС зэрэг байгууллагууд хамтран 2017 оны 9 сараас 2018 оны 3 сар хүртэлх хугацаанд агаар – агаар төрлийн дулааны насосыг гэр хорооллын 2 гэр, 5 байшин нийт 7 айлын 280 м^2 талбайд тус бүр 4 кВт, 8 кВт – ын агаар – агаар дулааны насосыг суурилуулж, туршилт явуулсан байна. Судалгааны үр дүнгээс харахад агаар – агаар дулааны насос нь гадна агаарын температур $-25 \dots 2^{\circ}\text{C}$ температурын хооронд байхад дотор агаарын температур $15 \dots 20^{\circ}\text{C}$ байна. Харин COP нь $2 \dots 3$ – ын хооронд байсан байна.

ДҮГНЭЛТ

Судалгааны ажлыг гүйцэтгэж дараах дүгнэлтэнд хүрлээ. Үүнд:

1. Сонгож авсан барилгын нийт дулааны алдагдал 4.29 кВт байна.
2. Хэмжилтийн дүнгээр гадна агаарын хамгийн бага температур $-14,5^{\circ}\text{C}$, өрөөний дундаж температур 19.8°C байв.
3. Гадна агаарын температур $-14.5 \dots 5.1^{\circ}\text{C}$ үед дулааны насосын хувиргалтын коэффициент $2.01 \dots 4.05$ хооронд хэлбэлзэж байв. Энэ нь гадна агаарын температураас маш хүчтэй хааралтай болохыг харуулж байна.
4. Агаар – ус дулааны насосыг гадна агаарын температур -20°C –аас багагүй үед өрхийн халаалтын системд ашигласнаар цахилгаан халаалтын системтай харьцуулахад эрчим хүчний зардлыг 50 хүртэл хувиар бууруулж, хэмнэлт гаргаж байгаа нь судалгааны дүнгээр гарлаа.

Бусад төрлийн дулааны насостой харьцуулахад суурилуулалтын зардал бага байх давуу талтай байна.

АШИГЛАСАН НОМ ЗҮЙ

- (CELT), C. f. (2020). *Introduction to Hybrid Teaching*. Creative Commons BY-NC-SA 4.0.
- A.Kamakura, W., P.Novak, T., E.M.Steenkamp, J.-B., & M.M.Verhallen, T. (1993). Identifying Pan-European Value Segments With a Clusterwise Rank-Logit Model. *Journal of Applications en Marketing*, 1-24.
- Altbach. (1991). Impact and adjustment: Foreign students in comparative Persfective. *International higher Education*, 305-323.
- Anne, W., Apostolis, D., Audrey, H., & John, W. (2000). Reasons for studying abroad: A survey of EU students studying in the UK. *European Conference on Educational Research*. Edinburgh.
- Black, G. (2002). A Comparison of traditional, online and hybrid methods of course delivery. *Business Administration online*, 2.
- Boyarsky, K. (2020 оны June 12). owllabs.com: https://www.owllabs.com/blog/hybrid-learning?fbclid=IwAR0wc6hCjhEmhhewgI0rTN-zwdvOINyTwZqzy5b3AaZP5QT1nxlDO_Y4mfA#hybrid-learning-environment-ээс
Гаргасан
- Dibb, S., Stern, P., & Wensley, R. (2002). Marketing Knowledge and The Value of Segmentation. *Marketing Intellingence*, 113-119.
- Driscoll, M. (2002). Blended Learning: let's get beyond the hype, E-learning.
- Dupage. (2016). An Introduction to Hybrid Teaching. *Learning Technologies*, 3.
- Fullon, M. (2007). The new meaning of educational change (4th edition). *Teachers College Press*.
- Grunzweig, W. a. (2002). Rockin' in Red Square: Critical Approches to International Education in the Age of Cyberculture . 7.
- Hemsley-Brown, J. &. (2006). Universities in a competitive global marketplace: A systematic review of the literature on higher education marketing. *International Journal of Public Sector Management*, 316-338.
- Ho, J., & Weinberg, C. B. (2011). Segmenting consumers of pirated movies. *Journal of Consumer Marketing*, 252-260.
- Hou, J. &. (2011). Hybrid learning in lifelong learning implementation. *Hybrid Learning: 4th International Conference*, 129-134.
- Ibrahim, A. Y. (2011). The effects of using PBWorks in a hybrid collaborative class environment on students' academic achievement. (*Doctoral dissertation*). Retrieved from.

- Ilgu, A. K. (2015). Faculty Perspectives on Benefits and Challenges of Hybrid Learning. *122nd American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition 2015: Making Value for Society*. Seattle, Washington, USA.: American Society for Engineering Education (ASEE).
- James, E., Barrlett, W., & Chadwik, C. (2001). Organizational Research: Determining Appropriate Sample Size in Survey Research. *Information rechnology, learning and performance journal*, vol.19.
- Jason, G. (2013). The History of Cinema and America's Role in It:Review Essay of Douglas Gomery and Clara Pafort-Overduin's Movie History: A Survey. *Reason Papers*, 170-186.
- Kevin. (2018). Vovabulary. *VJ*, 2.
- Knight, J. (2003). Interview with Jane Knight.
- Knight, J. (2006). *Higher Education Crossing Borders: A guide to the implications of the General Agreement on Trade in Services for Cross-border education*. Unesco, Paris.
- Knight, J. (2010). Updating the defintion of internationalization. 2-3.
- Kotler, P. A. (1999). *Principles of Marketing*. (Second European Edition ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Lin, Q. (2008). Student Views of Hybrid Learning. *Journal of Computing in Teacher Education*, 57.
- Marchand, J., & Khallaayoune, Z. (2010). 'LOV' and the big screen: A value-syste segmentation of movie goers. *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, 177-188.
- Maringe.F. (2005). *Interrogating the crisis in higher education marketing: the CORD model*.
- Matthews, D. (1999). The origins of distance education and its use in the United States. *T.H.E. Journal* , 54-66.
- MILLER, K. (2020 оны August 13). parade.com: https://parade.com/1074173/korinmiller/what-is-hybrid-learning/?fbclid=IwAR0os6VlugSGSRXfAVJjpID3Ht_34BuXSjGz4ZBgtmc9hJua7ZvDZuuJFv8-ээс Гаграсан
- Mohajan, H. (2018). Quality research Methodology in Social Science and Related Subjects. *Journal of Economics Development, Environment and People*, 23-48.
- Moore.G.M. (2013). Handbook of Distance Education. *New York Routledge*.
- Muin, R. C., S.PAngemanan, S., & V.J.Tielung, M. (2019). ANALYZING THE LIFESTYLE BEHAVIOUR ON MOVIE THEATER CONSUMERS AT UNIVERSITY STUDENTS IN MANADO. *Journal EMBA*, 2880-2889.

- Naidoo, V. (2006). International Education: A tertiary-level industry update. *Journal of Research in International Education*, 323-345.
- Nichols, M. (2003). Theory for eLearning. *Educational Technology & Society*. 10.
- OECD. (2020). *Education at a Glance 2020*.
- Olapiriyakul, K. &. (2006). A guide to establishing Гибрид learning courses: Employing information technology to create a new learning experience, and a case study. *Internet & Higher Education*, 287–301.
- Pavel, A.-P. (2015). Global university rankings - a comparative analysis. *Procedia Economics and Finance* , 26, 54 – 63.
- Poon, J. (2013). Blended Learning: An Institutional Approach for Enhancing Students' Learning Experiences. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*, 271-289.
- Poon, J. (2013). Blended Learning: An Institutional Approach for Enhancing Students' Learning Experiences. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*.
- Ramya, N., & Ali, D. M. (2016). Factors affecting consumer buying behaviour. *International Journal of Applied Research*, 76-80.
- Randy Garrison.D, H. K. (2004). Uncovering its transformative potential in higher education. *Science Direct*, 1.
- Redondo, I., & Holbrook, M. B. (2010). Modeling the appeal of movie features to demographic segments of theatrical demand. *Springer Science Business Media*, 299-315.
- Rodrigo.E, E. O. (2004). Traditional teaching supported by computer-assisted learning for macroscopic anatomy. *The Anatomical record*, 18.
- Sahlberg. (2011). *Finnish lessons. What can the world learn from educational change in Finland?* New York, NY: Teachers College Press, Columbia University.
- Salcedo, C. S. (2010). Comparative analysis of learning outcomes in face-to-face foreign language classes vs. language lab and online. *J. Coll. Teach. Learn.*, 7, 43–54.
- Scott, P. (2000). Massification, Internationalisation and Globalisation. *The Globalisation of higher education, The Society for Research into higher education*, 126-127.
- Seifert, T. (2017). What students think about online lessons? *Site-2017-Austin, United States*, 1792.
- Simola, H. R. (2013). the paradox of the education race: how to win the ranking game by sailing to headwind. *Journal of education ploicy* , 612-633.
- Smith, K. R. (2018). Heat Pump Pilot Study in Ulaanbaatar Phase I Results. *University of California, Berkeley and Collaborative Clean Air Policy Center, Delhi*.

- Spector, J. M. (2008). *Handbook of research on educational communications and technology*. Taylor & Francis Press.
- Spring, J. (2009). *Globalization of education: An introduction*. New York: Routledge.
- Umashankar, V. (2001). The importance of managing points of marketing in marketing higher education programmes: Some conclusions. *Journal of Services Research*, 122.
- Даваасамбуу, Ч. (2005). *Дулаан дамжуулалтын туршилтын судалгаа ба хэмжилтийн аргууд*. Улаанбаатар: Монгол.
- Крысько, В. (2002). *Сэтгэл судлал*. Улаанбаатар хот.
- Лодойравсал, Ч. (. (2019). Бүтээлч монгол хүнийг хэрхэн төлөвшүүлэх вэ? *In Сурахад суралцах нь*. Эмос клуб.
- Мангалжалав, Ч. Ч. (2001). *Хөргөх төхөөрөмж*. Улаанбаатар: Монгол.
- Мөнхбаяр, Б, Н. Б. (2005). *Эрчим хүчний хэмнэлттэй барилга*. Улаанбаатар: Монгол.
- Намхайням, Б. (2001). *Дулаан хангамжийн систем*. Улаанбаатар: Монгол.
- ҮСХ. (2019 оны 12 27). *Улаанбаатар хотын гадаад орчны агаарын бохирдол ба эрүүл мэнд*. Улаанбаатар хот. www.1212.mn.-ээс Гаргасан
- Цэрэндорж, Ц. Э. (2016). *Сэргээгдэх эрчим хүчний хэрэглээ ба энергийн хуримтлуур*. Улаанбаатар: Монгол.

Abstract

Due to the harsh climatic conditions in Mongolia, most buildings and households need heating for most of the year. Most of the urban areas are connected to central heating. However, it is impossible to connect to the centralized system, as ger district households use raw coal in heating, which is the main cause of air pollution.

There are numerous international studies that are useful in the household heating system to reduce the cost of production, to create favorable conditions for living, to save energy, and to reduce air pollution.

We have installed air-water heat pumps in the household heating system and the results of the 7 days testing and testing system. Measurements were determined in one minute of the heat pump capacity, current, external, air temperature, and return line fluid with the help of data logger equipment.

If the air - water pump is not lower than the air temperature of -20 °C, it is possible to reduce the operating cost by 50% compared to the electric heating system when using the household heating system. It also has the advantage of lower installation cost than other types of heat pumps.

Key word: heat pump, heating system, COP