

СТРОИТЕЛЬСТВО ПОДЗЕМНЫХ ЗДАНИЙ НА СЕВЕРЕ – ОДИН ИЗ ПУТЕЙ ЭКОНОМИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

С.А. Гулый

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения РАН,
г. Магадан*

На примере подземного развлекательного центра, совмещенного с надземным искусственным катком, для условий г. Магадана и Якутска сделано обоснование целесообразности строительства подземных зданий с точки зрения экономии тепловой энергии. В результате проведенных расчетов установлено, что подземная компоновка здания позволяет сэкономить до 23 % расходов, идущих на отопление, по сравнению с надземным вариантом. Получено, что симбиоз двух разных по назначению и внутренней температуре сооружений (катка в надземной части и развлекательного центра под землей) положительно влияет на общую экономию затрат, идущих на отопление всего комплекса. Использование теплового насоса вместо морозильного агрегата катка позволяет получать высокую температуру теплоносителя (60 °С и более) и применять водяную систему для отопления подземного здания. Подсчитано, что из-за выгодного соотношения между тарифами на электроэнергию и теплоэнергию применение теплового насоса для отопления подземного здания будет экономически оправдано в г. Магадане. В г. Якутске целесообразно остановиться на варианте использования воздушной системы отопления, работающей за счет теплого воздуха, вырабатываемого холодильным агрегатом катка.

Ключевые слова: теплоснабжение; подземное сооружение; криолитозона; каток; тепловой насос.

Введение

Несмотря на то, что Россия обладает огромными запасами ископаемого топлива, необходимо помнить, что они не безграничны. Поэтому рано или поздно вопрос снижения теплопотерь отапливаемых зданий станет одним из самых важных. Особенно остро эта проблема проявит себя на Севере, где отопительный сезон длится 8, а иногда и 11 месяцев.

Обзор литературы и постановка задачи исследований

Уменьшить теплопотери в здании можно несколькими способами, например, просто увеличив толщину стен или применив строительные материалы с более низким коэффициентом теплопроводности. Такого же результата можно достичь, снизив температуру окружающей нас среды. На первый взгляд последний способ кажется совершенно абсурдным. Но это не так. И дело здесь не в глобальном потеплении климата. Известно, что практически на всей территории России среднегодовая температура воздуха ниже температуры грунта на глубине, превышающей слой сезонного промерзания-оттаивания. При этом на глубине, где годовые колебания температур полностью затухают (это 10–20 м), температура грунта остается неизменной в течение десятилетий [1–4]. Исследования, проведенные А.В. Павловым [5], показали, что в средней полосе России температура грунта на глубине 10–20 м находится в пределах +5...+7 °С. На территории криолитозоны на указанной глубине температура грунтов может меняться от +1,5 до –7,6 °С [1–5]. В соответствии с требова-

нием СНиП 23-02–2003 [6] теплотехнический расчет ограждающих конструкций ведется по средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92. Например, для г. Якутска это –54 °С, для г. Вилюйска: –52 °С, для г. Воркуты: –41 °С, для г. Анадыря: –40 °С, для г. Магадана: –29 °С, для г. Загорска: –28 °С. Простое сопоставление этой температуры с температурой грунта показывает, что если здание будет расположено не на поверхности, а заглублено в грунт, то уже одно это даст существенное снижение расчетной температуры. Отсюда логично предположить, что в здании или сооружении, полностью заглубленном в грунт, затраты на отопление будут меньше, чем в таком же здании, но возведенном на поверхности. В работах, посвященных подземному строительству, действительно высказываются утверждения, что при подземной компоновке здания или сооружения будут снижаться затраты на его отопление [7] и могут решаться энергетические проблемы [8, 9]. Однако в рассмотренной литературе эти утверждения не подтверждены расчетами и поэтому требуют проверки.

Мерзлый грунт имеет не только стабильно более высокую температуру по сравнению со средней температурой воздуха в отопительный период, но и обладает водонепроницаемыми свойствами. Перспективы возведения подземных сооружений в криолитозоне подробно изложены в исследованиях Г.П. Кузьмина [10, 11].

Еще более интересно для подземного строительства использовать такие здания, в которых эксплуатационные условия будут взаимовыгодно дополнять друг друга. Например, если один из

Альтернативные источники энергии

объектов необходимо охлаждать, а другой – отапливать. Использование теплового насоса в этом случае можно удовлетворить потребности обоих зданий [12–14]. Такими комплексами могут быть: холодная стоянка для автомобилей, расположенная на поверхности, и подземный холодильник; искусственный ледяной каток, располагающийся в мерзлых грунтах, и спортивный зал на поверхности, отопление которого будет осуществляться за счет тепла, вырабатываемого холодильным агрегатом; теплица и подземное овощехранилище и т. п.

Цель настоящей работы – определить, какие преимущества и недостатки дает подземная компоновка здания с точки зрения экономии энергии по сравнению с надземной; что можно дополнительно получить за счет совмещения двух разных по назначению и внутренней температуре сооружений; повлияет ли это на общую экономию затрат, идущих на отопление этих зданий; какие дополнительные преимущества появятся при применении теплового насоса вместо холодильного агрегата.

Исходные данные и методика исследований

В качестве объекта, на котором выполнялось моделирование, принят комплекс, включающий в себя четырехэтажное подземное и одноэтажное надземное сооружения. Его общие размеры в плане 70×40 м. Отметка пола четвертого подземного этажа расположена на 25 м ниже уровня поверхности земли. Подземная часть предназначена для размещения помещений торгово-развлекательного центра. В надземном этаже располагается ледовая площадка крытого катка (рис. 1). Размеры ледяной

арены катка приняты равными 30×60 м. Место расположения объекта – г. Якутск и Магадан.

Основные расчетные формулы и исходные данные

Общие затраты тепла на отопление зданий подсчитаны по формуле В.М. Чаплина [15]

$$\sum Q = q_0 V (t_{in} - t_{out} \cdot 1,45), \quad (1)$$

где q_0 – удельная тепловая характеристика принята равной 0,37 Вт/м³·°С для торгово-развлекательного центра, 0,29 Вт/м³·°С – для катка;

V – кубатура зданий по наружному периметру, м³, (20 тыс. м³ – каток, 42 тыс. м³ – подземная часть здания);

t_{in} – температура внутри помещений принята равной 18,0 °С для торгово-развлекательного комплекса и 10,0 °С – для катка;

t_{out} – средняя за месяц температура воздуха на наружных ограждающих конструкциях за отопительный период и в теплое время года, принятая по Климатологическим справочникам для каждого из рассматриваемых сооружений для г. Якутска [16] и г. Магадана [17] по табл. 1.

Расчет теплопритоков ледяного катка при намораживании льда определялся по формуле [18]

$$q_1 = \alpha(t_{air} - t_{ice}) + k(t - t_k) + \sigma(d - d'')r + q_2, \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от воздуха ко льду, $\alpha = 7$ Вт/м² зимой, $\alpha = 9$ Вт/м² летом;

t_{air} – температура воздуха над льдом, $t_{air} = 3$ °С зимой и 8 °С летом в г. Якутске; $t_{air} = 4$ °С зимой и 6 °С летом в г. Магадане;

t_{ice} – температура льда на поверхности катка, $t_{ice} = -3$ °С;

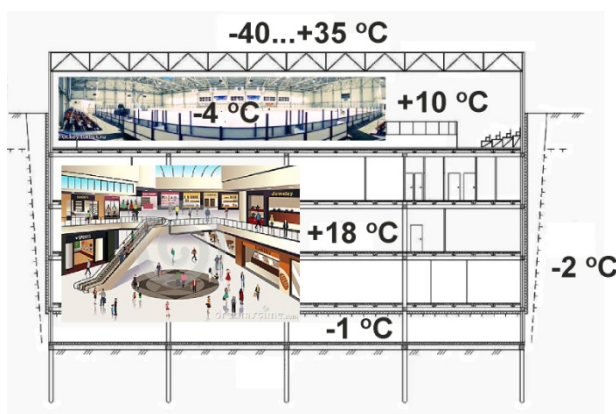


Рис. 1. Комплекс сооружений, совмещающий подземный развлекательный центр с надземным катком. Внешние температуры показаны для условий г. Якутска

Таблица 1
Среднемесячные температуры воздуха (°С) на поверхности внешних ограждающих конструкций зданий для г. Магадана и Якутска в разное время года

Тип сооружения	В отопительный период		При $T > 8$ °С	
	г. Якутск	г. Магадан	г. Якутск	г. Магадан
Подземное здание	-2,0	0	-2,0	0
Надземное здание, каток	-16,5	-9,5	16,3	11,3

k – коэффициент теплопередачи теплоизоляции в основании ледяной арены, $k = 0,26$ Вт/м²;

t – температура воздуха под теплоизоляцией пола катка, $t = 18$ °С;

t_k – температура кипения холодильного агента или рассола, $t_k = -7$ °С.

σ – коэффициент обратный величине испарения, $\sigma = 30$ кг/м²·ч;

d – влагосодержание воздуха с учетом влажности над поверхностью льда, $d = 0,0047$ кг/кг;

d'' – влагосодержание воздуха в пограничном слое в зависимости от температуры льда, $d'' = 0,0029$ кг/кг;

r – теплота конденсации водяных паров с учетом замерзания влаги на поверхности льда, $r = 790$ Вт/кг.

q_2 – тепло, выделяемое конькобежцами, зрителями, освещением, заливочной машиной, $q_2 = 150$ Вт/м².

Коэффициент преобразования парокompрессионного теплового насоса (ТН) определяли исходя из следующего соотношения [19]:

$$\varphi = \eta \frac{T_2}{T_2 - T_1}, \quad (3)$$

где T_1, T_2 – соответственно, температуры кипения и конденсации хладагента, К;

η – соотношение между реальной и идеальной эффективностями термодинамического процесса, для ориентировочных расчетов η для парокompрессионных ТН принято равным 0,5.

T_1 задано на 3–5 градусов ниже температуры низкопотенциального источника, а T_2 – на столько же выше температуры рабочего вещества отопительной системы.

Известно, что тепловой насос не может работать без дополнительного источника энергии, способного поднять температуру со ступени низкопотенциальной энергии до температуры потребителя высокопотенциальной энергии. Поэтому основную энергетическую характеристику ТН (коэффициент преобразования φ) также можно определить по формуле

$$\varphi = \frac{Q_T}{\varepsilon} = \frac{Q_L + \varepsilon}{\varepsilon}, \quad (4)$$

где Q_T – суммарная теплопроизводительность ТН, кВт;

Q_L – количество тепла, отбираемого у низко-

потенциального источника в единицу времени, кВт;

ε – мощность электропривода ТН, кВт.

Решая обратную задачу, при известных мощности низкопотенциального источника Q_L и коэффициенте преобразования φ , из формулы (4) можно определить мощность электропривода ТН и затем его теплопроизводительность.

Стоимость теплового насоса (без учета строительного-монтажных и пуско-наладочных работ) подсчитывали по формуле

$$C_{ТН} = 150(QK_{p/\$}), \quad (5)$$

где 150 – рыночная стоимость импортных тепловых насосов, долларов за 1 кВт суммарной теплопроизводительности ТН;

$K_{p/\$}$ – курс рубля по отношению к доллару, руб./доллар;

Затраты на ТН-отопление определяли по формуле

$$Z_{HP} = \varepsilon T T_{el}, \quad (6)$$

где ε – то же, что и в формуле (4), кВт;

T – время работы ТН в течение года, ч;

T_{el} – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

Затраты на традиционное отопление было определено по формуле

$$Z_{HEAT} = Q_T T T_{HEAT}, \quad (7)$$

где Q_T – теплопроизводительность ТН в Гкал;

T – время работы ТН в течение года, ч;

T_{HEAT} – тариф на теплоэнергию при традиционном способе отопления, руб./Гкал·ч.

Исходные данные для расчета эффективности использования теплового насоса в подземной части комплекса в г. Магадане и Якутске приведены в табл. 2.

Сроки окупаемости (в годах) теплового насоса в первом приближении для конкретных условий г. Магадана и Якутска при компенсации постоянного банковского кредита на приобретение ТН под 16 % годовых (0,16) были определены по формуле

$$T_{eq} = \frac{\left(\frac{C_{ТН}}{Z_{HP} - Z_{HEAT}}\right)(C_{ТН} \cdot 0,16) + C_{ТН}}{Z_{HP} - Z_{HEAT}}, \quad (8)$$

обозначения те же, что были приняты в формулах (5)–(7).

Результаты теоретических исследований

Оценить энергетическую эффективность подземной компоновки здания по сравнению с над-

Таблица 2

Исходные данные для расчета эффективности теплового насоса при использовании его для отопления катка и подземного комплекса

	г. Магадан		г. Якутск	
	Зима	Лето	Зима	Лето
Температура кипения T_1 , °С	-7,0			
Температура конденсации T_2 , °С	+70	+60	+25	+35
Тариф на электроэнергию (2014 г.) T_{el} , руб./кВт·ч	4,19		4,25	
Тариф на теплоэнергию (2014 г.) T_{heat} , руб./Гкал	4200		1371	
Принятый курс рубля к доллару (февраль 2015 г.) $K_{p/\$}$	60			
Время работы теплового насоса T , ч	5640	3000	5640	3000

Альтернативные источники энергии

земной можно по количеству градусо-суток, которое потребуется для обогрева здания в отопительный период (ГСОП). Для надземной компоновки ГСОП подсчитаем по формуле (9), для подземной – по формуле (10):

$$D_{dag} = (t_{in} - t_{ht})Z_{ht}, \quad (9)$$

$$D_{dug} = (t_{in} - t_g)Z_{ht}, \quad (10)$$

где t_{in} – температура внутри помещений, $t_{in} = 18^\circ\text{C}$ для всех расчетов;

t_{ht} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, $^\circ\text{C}$, принимаем по табл. 3;

t_g – средняя температура грунта на глубине 10–20 м, принимаемая по табл. 3;

Z_{ht} – продолжительность отопительного периода для надземного варианта (принимаем по табл. 3), $Z_{ht} = 360$ сут (для подземного строительства).

В результате расчетов получено, что в подземном здании, которое требует круглогодичного обогрева, количество градусо-суток для его обогрева в отопительный период (ГСОП) на 5–20 %

меньше, чем при надземной. Исключением является г. Воркута, где надземный вариант все же оказался более эффективным по сравнению с подземным.

Для г. Магадана и Якутска подземная компоновка рассматриваемого здания позволит в среднем за год экономить 21–23 % тепла по сравнению с надземным расположением этого же здания (табл. 4).

Обогрев помещения ледовой арены катка (в зимнее время) или подземного развлекательного центра (круглогодично) может частично осуществляться за счет холодильного оборудования, обеспечивающего намораживание льда на катке. Среднее количество тепла, которое можно извлечь с поверхности катка площадью 1800 м^2 , было вычислено по формуле (2). Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Как видно из сравнения табл. 4 и 5, если тепло, собранное зимой с поверхности льда, направить на отопление катка, то его избыток составит около 230–280 кВт. Летом, когда отопление в катке не требуется, эта величина будет еще больше: 500–540 кВт.

Таблица 3

Исходные данные для расчета количества градусо-суток в отопительный период

	г. Якутск	г. Вилюйск	г. Воркута	г. Анадырь	г. Магадан	г. Загорск
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период t_{ht} , $^\circ\text{C}$ по [20]	-20,6	-18,2	-5,9	-10,5	-7,1	-3,1
Средняя температура грунта на глубине 10–20 м t_g , $^\circ\text{C}$ по [1–5, 21]	-5,0	-3,0	-0,5	-5,5	0	+7,0
Продолжительность по [20] отопительного периода (при температуре $< 8^\circ\text{C}$) Z_{ht} , сут	256	262	257	311	288	214
ГСОП (надземный вариант) D_{dag} , градусо-сутки	9882	9484	6142	8863	7229	4515
ГСОП (подземный вариант) D_{dug} , градусо-сутки	8280	7560	6660	8460	6480	3960
Отношение $= \frac{D_{dag} - D_{dug}}{D_{dag}} \cdot 100\%$	16	20	-8	5	10	12

Таблица 4

Среднегодовые потребности в тепле рассматриваемых сооружений

	г. Магадан			г. Якутск		
	Подземное 4-этажное сооружение	Надземное 4-этажное сооружение	Каток площадью 1800 м^2	Подземное 4-этажное сооружение	Надземное 4-этажное сооружение	Каток площадью 1800 м^2
Потребности в тепле, кВт	520	630	170	550	680	200

Примечание. Для подземного сооружения потребности в тепле подсчитаны за год, для надземного сооружения и катка – только за отопительный период.

Таблица 5

Количество тепла (кВт), которое можно извлечь с поверхности катка площадью 1800 м^2

г. Магадан		г. Якутск	
Зима	Лето	Зима	Лето
450	500	432	540

В обычных условиях при работе морозильной установки воздух из ее конденсатора с расходом 60–70 тыс. м³/ч и температурой около 30 °С выбрасывается в атмосферу. Наличие подземного сооружения рядом с катком позволит решить вопрос с утилизацией этого тепла. Сравнивая потребности всего комплекса в тепле (см. табл. 4) с выработанным теплом (см. табл. 5) можно видеть, что в зимнее время замещение тепла в подземном сооружении развлекательного центра, получаемое от работы морозильной установки катка может составить 75 % от требуемого и почти полностью обеспечить его теплом в летний период. Недостатком воздушной системы обогрева здания следует признать низкую температуру теплоносителя (+30 °С), который без дополнительного подогрева не сможет обеспечить прогрев помещений по всей высоте подземного здания.

Еще большего эффекта можно достичь, если на рассматриваемом комплексе вместо морозильной установки использовать тепловой насос (ТН). Его применение позволит зимой и летом получать любую требуемую температуру теплоносителя. Кроме того, летом, в режиме кондиционирования, тепловой насос сможет полностью обеспечить ледовую арену воздухом с температурой не выше 15 °С, что для льда катка в г. Якутске,

где температура воздуха в июле может подниматься до 38 °С, будет весьма актуально. Зимой, повышая с помощью теплового насоса температуру теплоносителя в нагревательной системе до 60 °С, в помещении катка и подземного сооружения можно будет пользоваться обычным водяным отоплением.

Результаты расчетов технических характеристик тепловых насосов и экономической эффективности их использования в рассматриваемом подземном здании для г. Магадана и Якутска представлены в табл. 6.

Получено, что при теплоснабжении подземного здания с помощью теплового насоса в г. Якутске, если за критерий эффективности его применения будет поставлен срок окупаемости, область его внедрения становится ограниченной.

Связано это с тем, что расчет эффективности ТН связан не только с температурами T_1 , T_2 , но и с тарифами на электроэнергию и теплоснабжение, действующими в данный момент на территории, где она внедряется. Для определения экономической целесообразности ТН стоимость ее «продукции» необходимо сопоставлять с экономическими показателями систем теплоснабжения, традиционными для этой территории. Эффективность тепловых насосов будет

Таблица 6

Результаты расчетов технических характеристик ТН и сроков их окупаемости

	г. Магадан		г. Якутск	
	Зима	Лето	Зима	Лето
Коэффициент преобразования, ϕ	2,23	2,49	4,66	3,67
Тепловая мощность ТН, кВт (Гкал)	817 (0,7)	837 (0,7)	550 (0,5)	743 (0,6)
Мощность электропривода ТН ϵ , кВт	367	337	118	203
Стоимость ТН, руб.	7 350 000	7 530 150	4 951 385	6 682 500
Расход электроэнергии, кВт·ч	2 068 000	1 010 050	666 388	607 500
Заграты по ТН-отоплению, руб.	8 664 920	4 232 111	2 832 148	2 581 875
Заграты на обычную систему отопления, руб.	16 633 878	9 064 670	3 657 809	2 625 883
Эффект от использования ТН-отопления, руб.	7 968 958	4 832 559	825 661	44 008
Срок окупаемости, лет	1,1	2,0	11,8	Не окупается

Примечание. Расчет выполнен на основе данных, приведенных в табл. 2 и 5.



Рис. 2. Схема распределения тепловых потоков при работе теплового насоса в г. Магадане в зимний период в комплексе двойного назначения: каток – подземный развлекательный центр

Альтернативные источники энергии

выше там, где используется относительно дешевая электроэнергия при высокой стоимости органического топлива, расходуемого на тепло-снабжение. Именно поэтому в г. Магадане ТН-установка окупается за один-два года, а в г. Якутске – за 12 лет.

Выводы

1. Подземная компоновка здания развлекательного центра при его строительстве в г. Магадане или г. Якутске позволит в среднем за год экономить 21–23 % тепла по сравнению с надземным расположением такого же здания.

2. Симбиоз катка и подземного здания позволяет утилизировать тепло, вырабатываемое холодильным оборудованием катка. Количество тепла, которое в настоящее время выбрасывается в атмосферу, достаточно не только для того, чтобы обеспечить отоплением каток, но и снабжать подземное сооружение теплом на 50 % в зимнее время, и почти полностью – в летнее время. Недостатком воздушной системы обогрева здания следует признать низкую температуру теплоносителя (+30 °С), который без дополнительного подогрева не сможет полностью обеспечить прогрев помещений по всей высоте подземного здания.

3. Использование теплового насоса в паре комплекса «каток – подземное здание» вместо обычного морозильного агрегата позволяет получать высокую температуру теплоносителя (60 °С и более) и применять водяную систему отопления здания. Из-за выгодного соотношения между тарифами на электроэнергию и теплоэнергию применение теплового насоса экономически оправдано в г. Магадане, где срок окупаемости ТН не превысит двух лет. В г. Якутске соотношение тарифов на электричество и тепло позволяют эффективно использовать тепловой насос только в летнее время в режиме кондиционирования. Использовать тепловой насос для условий г. Якутска с целью отопления экономически не выгодно даже при очень низких температурах теплоносителя (25 °С). Срок окупаемости в рассматриваемом случае будет составлять почти 12 лет. Здесь целесообразно остановиться на варианте использования воздушной системы отопления за счет сбрасываемого холодильным агрегатом катка теплого воздуха.

Литература

1. Железняк, М.Н. Температурное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы / М.Н. Железняк. – Новосибирск: Наука, 2005. – 227 с.
2. Павлов, А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР / А.В. Павлов. – Якутск: Якут. кн. изд-во, 1975. – 300 с.
3. Калабин, А.И. Вечная мерзлота и гидрогео-

логия Северо-Востока СССР / А.И. Калабин // Труды ВНИИ-1. – 1960. – Т. XVIII. – 471 с.

4. Некрасов, И.А. Морфология и температурный режим криолитозоны и побережья Охотского моря / И.А. Некрасов, А.И. Микова. // Региональные и тематические геокриологические исследования: сб. – Новосибирск: Изд-во Наука. Сибирское отделение, 1975. – С. 3–22.

5. Фельдман, Г.М. Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии / Г.М. Фельдман, А.С. Тетельбаум, Н.И. Шендер и др. – Якутск: Институт мерзлотоведения СО РАН, 1988. – 240 с.

6. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – Взамен СНиП II-3-79*; введ. 26.06.2003. – М.: ФГУП ЦПП, 2004.

7. Тетиор, А.Н. Проектирование и строительство подземных зданий и сооружений / А.Н. Тетиор, В.Ф. Логинов. – Киев: Будивельник, 1990. – 168 с.

8. Якубсон, В.М. Подземное строительство в городах / В.М. Якубсон // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 5. – С. 2–3.

9. Базилевич, М.Е. Типология подземных сооружений / М.Е. Базилевич, Н.Е. Козыренко, А.П. Иванова // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – Хабаровск: ФАД ТОГУ. – 2011. – Т. 1. – С. 133–136.

10. Кузьмин, Г.П. Некоторые результаты изучения мерзлых грунтов как вмещающей среды для подземных сооружений / Г.П. Кузьмин // Труды научно-практического семинара «Геокриологические и геоэкологические проблемы строительства в районах Крайнего Севера». – Норильск, 2001. – С. 135–139.

11. Кузьмин, Г.П. Подземные сооружения в криолитозоне / Г.П. Кузьмин. – Новосибирск: Наука, 2002. – 176 с.

12. Рей, Д. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Макмайкл. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.

13. Хайнрих, Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего снабжения / Г. Хайнрих, Х. Найорк, В. Нестлер. – М.: Стройиздат, 1985. – 351 с.

14. Guly, S.A. Ice food depot cooled with the heat pump. Pre-feasibility Study / S.A. Guly, G.Z. Perlshtein // 7-th International Conference on Permafrost. – 1998. – P. 383–390.

15. Федоров, Н.Ф. Санитарная техника / Н.Ф. Федоров, В.М. Гусев. – М.; Л.: Госстройиздат, 1961. – 372 с.

16. Справочник по климату СССР. Вып. 24. Якутская АССР. Ч. II. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометиздат, 1966. – 325 с.

17. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 33. Магаданская область, Чукотский автономный округ. – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 566 с.

18. Комаров, Н.С. Справочник холодильщика / Н.С. Комаров. – М.: Машигиз, 1962. – 408 с.

19. Мартыновский, В.С. Тепловые насосы / В.С. Мартыновский. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 191 с.

20. СНиП 23-01-99*. Строительная климато-

логия. – Взамен СНиП 2.01.01-82; введ. 2000-01-01. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 79 с.

21. Прикладной климатологический справочник Северо-Востока СССР/ под ред. Н.К. Ключкина. – Магадан: Магадан. кн. изд-во, 1960. – 426 с.

Гульй Сергей Александрович, канд. техн. наук, начальник Северо-Восточной научно-исследовательской мерзлотной станции, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения РАН, г. Магадан; svnims@mail.ru.

Поступила в редакцию 17 июня 2015 г.

DOI: 10.14529/power150409

UNDERGROUND BUILDING IN THE NORTH IS A WAY TO SAVE THERMAL ENERGY

S.A. Gulyy, svnims@mail.ru

Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Magadan, Russian Federation

This paper investigates the viability of constructing underground buildings in terms of thermal energy reduction. The study considers a recreation center with an ice rink for the conditions of Magadan and Yakutsk. Results indicate that underground layout saves up to 23 % of heating costs compared to aboveground construction. A scheme combining two facilities differing in use and indoor temperature (an ice rink above the ground and a recreation center underneath) has a good potential in reducing total heating costs for the building. Using a heat pump instead of a refrigeration system will provide high refrigerant temperatures (60 °C or more) and make it possible to apply a water heating system. Because of the favorable ratio between electricity and heat tariffs, the use of a heat pump to heat the underground space will be cost-effective in Magadan. In Yakutsk, it will be expedient to select an air heating option utilizing warm air released by the refrigeration system of the ice rink.

Keywords: heat supply, underground structure, permafrost, skating-rink, heat pump.

References

1. Zheleznyak M.N. *Temperaturnoe pole i kriolitizona yugo-vostoka Sibirskoy platformy* [The Temperature Field and Permafrost South-East of the Siberian Platform]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005. 227 p.

2. Pavlov A.V. *Teploobmen pochvy s atmosferoy v severnykh i umerennykh shirotax territorii SSSR* [Heat Transfer the Soil to the Atmosphere in the Northern and Middle Latitudes of the USSR]. Yakutsk, Yakutsk Publ., 1975. 300 p.

3. Kalabin A.I. *Vechnaya merzlota i gidrogeologiya Severo-Vostoka SSSR* [Permafrost and Hydrogeology of the North-East of the USSR]. Magadan, VNII-I Publ. Vol. XVIII, 1960. 471 p.

4. Nekrasov I.A., Mikova A.I. [The Morphology and Temperature Permafrost Zone and the Coast of the Sea of Okhotsk]. *V sb. "Regional'nye i tematicheskie geokriologicheskie issledovaniya"* [Digest "Regional and Thematic Studies Permafrost"]. Novosibirsk, Nauka, Sibirskoe otdelenie Publ., 1975. pp. 3–22 (in Russ.)

5. Fel'dman G.M., Tetel'baum A.S., Shender N.I. *Posobie po prognozu temperaturnogo rezhima gruntov Yakutii* [Benefit Forecast Temperature of Soils of Yakutia]. Yakutsk, Institut merzlotovedeniya SO RAN Publ., 1988. 240 p.

6. SNiP 23-02-2003. *Teplovaya zashchita zdaniy* [Thermal Protection of Buildings]. Moscow, FGUP CPP Publ., 2004.

7. Tetior A.N., Loginov V.F. *Proektirovanie i stroitel'stvo podzemnykh zdaniy i sooruzheniy* [Design and Construction of Underground Buildings]. Kiev, Budiveln'nyk Publ., 1990. 168 p.

8. Yakubson V.M. [Underground Construction in Cities]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2012, no. 5, pp. 2–3 (in Russ.)

Альтернативные источники энергии

9. Bazilevich M.E., Kozyrenko N.E., Ivanova A.P. [Typology of Underground Structures]. *Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii FAD TOGU* [New Ideas of the New Century: Proceedings of the International Conference PNU FAD]. Khabarovsk, FAD TOGU Publ., 2011, vol. 1, pp. 133–136 (in Russ.)
10. Kuz'min G.P. [Some Results of the Study of Frozen Soils as a Host Medium for the Underground Structures]. *Trudy nauchno-prakticheskogo seminar "Geokriologicheskie i geokologicheskie problemy stroitel'stva v rayonakh Kraynego Severa"* [Proceedings of the Scientific-Practical Seminar "Geocryological and Geo-Ecological Problems of Construction in the Far North"]. Noril'sk, 2001, pp. 135–139 (in Russ.)
11. Kuz'min G.P. *Podzemnye sooruzheniya v kriolitozone*. [Underground Structures in Permafrost]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2002. 176 p.
12. Rey D., Makmaykl D. *Teplovye nasosy* [Heat Pumps]. Moscow, Ehnergoizdat Publ., 1982. 224 p.
13. Khaynrikh G., Nayork Kh., Nestler V. *Teplonasosnye ustanovki dlya otopleniya i goryachego snabzheniya* [Heat Pumps for Heating and Hot Supply]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 351 p.
14. Guly S.A., Perlshtein G.Z. Ice Food Depot Cooled with the Heat Pump. Pre-Feasibility Study. *7-th International Conference on Permafrost*. 1998, pp. 383–390.
15. Fedorov N.F., Gusev V.M. *Sanitarnaya tekhnika* [Sanitary Engineering]. Moscow-Leningrad, Gosstroyizdat Publ., 1961. 372 p.
16. *Spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 24. Yakutskaya ASSR. Ch. II. Temperatura vozdukha i pochvy* [USSR Climate Reference Book. Issue 24. Yakut ASSR. Part II. The Temperature of Air and Soil]. Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1966. 325 p.
17. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Ch. 1–6. Vyp. 33. Magadanskaya oblast', Chukotskiy avtonomnyy okrug* [Research and Applied Climate Handbook. Series 3. Long-term Data. Parts 1–6. Issue 33. The Magadan Region, Chukotka Autonomous Okrug]. Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1990. 566 p.
18. Komarov N.S. *Spravochnik kholodil'shchika* [Manual Refrigeration]. Moscow, Mashgiz Publ., 1962. 408 p.
19. Martynovskiy V.S. *Teplovye nasosy* [Heat Pumps]. Moscow-Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1955. 191 p.
20. SNiP 23-01-99*. *Stroitel'naya klimatologiya* [Construction Climatology]. Moscow, GUP CPP publ., 2003. 79 p.
21. *Prikladnoy klimatologicheskoy spravochnik Severo-Vostoka SSSR* [Application Reference Climatological North-East of the USSR]. Magadan Publ., 1960. 426 p.

Received 17 June 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Гулый, С.А. Строительство подземных зданий на Севере – один из путей экономии тепловой энергии / С.А. Гулый // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 61–68. DOI: 10.14529/power150409

FOR CITATION

Guly S.A. Underground Building in the North is a Way to Save Thermal Energy. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 61–68. (in Russ.) DOI: 10.14529/power150409
