

¹Жайлауов Е., ²Зубова О.

¹магистрант ГПИИР, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан,
г. Алматы, e-mail: erkebulan.zhailauov@gmail.com

²к.т.н., ст. преподаватель кафедры ЮНЕСКО по устойчивому развитию,
факультет географии и природопользования, Казахский национальный университет имени
аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы,
e-mail: Olga.Zubova@kaznu.kz

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В статье описаны методики и перспективы использования энергосберегающих технологий в строительстве сооружений. Даны характеристики теплоизоляционных материалов, такие как плотность, прочность, сжимаемость, водопоглощение, морозостойкость и т.д. Описаны общие принципы и виды теплоизоляции. Применение теплоизоляционных материалов является одним из важнейших методов энергосбережения, а также имеет важное технологическое значение, позволяя уменьшать толщину конструктивных элементов. Изучены виды теплоизоляционных материалов (органического и неорганического происхождения). Данные материалы являются наиболее эффективными, так как основной особенностью является их высокая пористость и, как следствие, малая средняя плотность и низкая теплопроводность. Применение теплоизоляционных материалов в строительстве позволяет снизить массу конструкций, уменьшить потребление конструктивных строительных материалов (бетон, кирпич, древесина и др.), достичь важнейшей цели теплоизоляции строительных конструкций, а именно сокращения расхода энергии на отопление здания. Теплоизоляционные материалы существенно улучшают комфорт в жилых помещениях. Выявлены основные пути потери тепла в зданиях и сооружениях. Важнейшей технической характеристикой теплоизоляционных материалов является теплопроводность, то есть способность материала передавать теплоту сквозь свою толщину, так как именно от нее напрямую зависит термическое сопротивление ограждающей конструкции.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы (ТИМ), теплоизоляция, минеральная вата, органические теплоизоляционные материалы, неорганические теплоизоляционные материалы.

¹Zhailauov Y., ²Zubova O.

¹master student of GPIIR, al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty,
e-mail: erkebulan.zhailauov@gmail.com

²candidate of technical sciences, senior lecturer, al-Farabi Kazakh National University,
Kazakhstan, Almaty, e-mail: Olga.Zubova@kaznu.kz

Study of the prospects for the use of thermal insulation materials in construction

The article describes the methodology and perspective of using energy-saving technologies in the construction of structures. The characteristics of thermal materials, such as density, strength, compressibility, water absorption, frost resistance, etc., have been implemented. General principles and types of thermal insulation are introduced. The use of thermal insulation materials is one of the most important methods of energy saving, and also has an important technological significance, allowing to reduce the thickness of structural elements. The types of heat-insulating materials (organic and inorganic origin) have been studied. These materials are the most effective since, the main feature is their high porosity and, consequently, low average density and low thermal conductivity. The use of heat-insulating materials in construction makes it possible to reduce the weight of structures, reduce the consumption of structural building materials (concrete, brick, wood, etc.) and that will achieve the most important goal of thermal insulation of building structures, this is the reduction in energy consumption for heating the

building. Thermal insulation materials significantly improve comfort in living quarters. The main ways of heat loss in buildings and structures have been identified. The most important technical characteristic of thermal insulation materials is thermal conductivity – the ability of a material to transmit heat through its thickness, since it directly depends on the thermal resistance of the enclosing structure.

Key words: heat-insulating materials (TIM), heat insulation, mineral wool, organic heat-insulating materials, inorganic heat-insulating materials.

Жайлауов Е.¹, Зубова О.²

¹магистрант ГПИИР, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан, Алматы қ., e-mail: erkebulan.zhailauov@gmail.com

²т.ғ.к., аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан, Алматы қ., e-mail: Olga.Zubova@kaznu.kz

Құрылыста жылу оқшаулағыш материалдарды пайдаланудың келешегін зерттеу

Мақалада құрылыс саласында энергия үнемдеуіш технологиялардың әдісі және оның пайдалану болашағы сипатталған. Жылу материалдардың тығыздығы, беріктігі, сығымдалуы, су сіңірілуі, суыққа төзімділігі және т.б. сияқты сипаттамалары қарастырылған. Жылу оқшаулаудың жалпы принциптері және түрлері сипатталған. Жылу оқшаулағыш материалдарын пайдалану энергияны үнемдеудің маңызды әдістерінің бірі болып табылады, сонымен қатар құрылымдық элементтердің қалыңдығын азайтуға мүмкіндік беретін маңызды технологиялық маңызы бар. Жылу өткізбейтін материалдардың түрлері (органикалық және бейорганикалық) зерттелді. Бұл материалдар ең тиімді болып табылады, себебі олардың басты ерекшелігі – жоғары кеуектілігі және оның саласы ретінде кіші орташа тығыздығы мен төмен жылу өткізгіштік. Құрылыста жылу оқшаулағыш материалдарды пайдалану конструкциялардың салмағын төмендетуге, құрылымдық құрылыс материалдарын тұтынуды азайтуға мүмкіндік береді (бетон, кірпіш, ағаш және т.б.) және құрылыс конструкцияларын жылу оқшаулаудың ең маңызды мақсатына жету – ғимаратты жылыту үшін энергияны тұтынуды азайту. Жылу оқшаулағыштары тұрғын жайлылықты үй-жайларды айтарлықтай жақсартады. Ғимараттар мен құрылыстарда жылу жоғалтудың негізгі жолдары анықталды. Жылу оқшаулағыш материалдардың маңызды техникалық сипаттамасы жылу өткізгіштігі – материалдың жылуды қалыңдығы арқылы беру қабілеттілігі, себебі жабық құрылымның жылу кедергісі оған тікелей байланысты.

Түйін сөздер: жылу өткізбейтін материалдар, жылуды оқшаулау, минералды мақта, органикалық жылу өткізбейтін материалдар, бейорганикалық жылу өткізбейтін материалдар.

Технологии энергосбережения представлены не только в строительстве, но и других отраслях и затрагивают вопросы, как сохранения тепла, так и оптимизации других ресурсов. Поэтому вопрос энергосбережения нужно рассматривать в разрезе таких направлений, как оптимизация электроэнергии, тепловой энергии, водных ресурсов, топлива, а также ухудшения общей экологической ситуации. Параллельно с ухудшением экологической ситуации и ростом цен на традиционные источники энергии растет спрос на новые возможности в строительной сфере, развиваются новые технологии энергоэффективного строительства.

В своем Послании народу Казахстана «Стратегия-2050» Президент Республики Казахстан Н.А. Назарбаев указал на необходимость внедрения методик энергосбережения и энергоэффективности в стране. В области энергосбережения и энергоэффективности в Казахстане принят закон «Об энергосбережении и энергоэффективности». Согласно ему энергосбережение

– реализация организационных, технологических, экономических и других мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов

Энергетическая эффективность – это характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенных в целях получения такого эффекта.

Применение теплоизоляционных материалов является одним из важнейших методов энергосбережения, а также имеет важное технологическое значение, позволяя уменьшать толщину конструктивных элементов. Теплоизоляционными называют материалы, характеризующиеся низкой теплопроводностью и применяемые для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов.

Теплоизоляционные материалы (ТИМ) предназначены для тепловой изоляции конструкций зданий и сооружений, а также различных

технических применений. Основной особенностью теплоизоляционных материалов является их высокая пористость и, следовательно, малая средняя плотность и низкая теплопроводность. Применение теплоизоляционных материалов в строительстве позволяет снизить массу конструкций, уменьшить потребление конструктивных строительных материалов (бетон, кирпич, древесина и др.). Теплоизоляционные материалы существенно улучшают комфорт в жилых помещениях. Важнейшей целью теплоизоляции строительных конструкций является сокращение расхода энергии на отопление здания (Айрапотова Г.А., 2004: 302).

Теплоизоляция – это элементы конструкции, уменьшающие передачу тепла, материалы для выполнения таких элементов или комплекс мероприятий по их устройству. Также теплоизоляция, она же термоизоляция, это защита жилых либо хозяйственных объектов, промышленных тепловых установок, морозильных камер, теплотрасс и т.д. от вредного теплового обмена с

внешней средой. В случае строительных объектов, теплоизоляция используется для снижения утечки тепла во внешнюю среду, в морозильных и холодильных камерах теплоизоляция напротив, применяется с целью уменьшения притока теплого воздуха извне (Андреевский А.А., 2005: 301).

Необходимая теплоизоляция в вышеописанных случаях, обеспечивается посредством применения специальных покрытий, оболочек, изготовленных из теплоизоляционного материала, и ориентированных на частичное либо полное пресечение теплопередачи. Эффективность теплоизоляционных материалов, в процессе препятствования негативной теплопроводности, определяется его термическим сопротивлением. Эти показатели становятся наиболее оптимальными в том случае, если в качестве теплоизоляции применяются высокопористые материалы, собранные в сложные многослойные конструкции, где они перемежаются системой воздушных прослоек (Рис. 1).



Рисунок 1 – Теплоизоляция дома

Теплоизоляционные материалы в зависимости от назначения подразделяют на изоляционно-строительные, которые применяют для утепления строительных ограждений, и изоляционно-монтажные – для утепления трубопроводов и промышленного оборудования. Деление это условно, так как некоторые материалы используют как для изоляции строительных конструкций, так и для изоляции промышленных объектов (Афанасьев А.А., 2003: 24).

Теплоизоляционные материалы классифицируют по следующим признакам:

- 1) по форме и внешнему виду:
 - штучные (плиты, блоки, кирпичи, цилиндры, полуцилиндры, сегменты);
 - рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты);
 - рыхлые и сыпучие (вата, перлитовый песок и др.).
- 2) по структуре:
 - волокнистые (минераловатные, стекловолокнистые и др.);
 - зернистые (перлитовые, вермикулитовые);
 - ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты, совелитовые и др.).

3) по виду исходного сырья:

- неорганические;
- органические.

4) по типу жесткости:

– мягкие (М) – сжимаемость по объему выше 30% при удельной нагрузке 0,002 МПа (минеральная и стеклянная вата, вата из каолинового и базальтового волокна, вата из супертонкого стекловолокна, маты и плиты из штапельного стекловолокна);

– полужесткие (П) – сжимаемость от 6 до 30% при удельной нагрузке 0,002 МПа (плиты

минераловатные и из штапельного стекловолокна на синтетическом связующем);

– жесткие (Ж) – сжимаемость до 6% при удельной нагрузке 0,002 МПа.

5) по возгораемости:

– несгораемые,

– трудносгораемые,

– сгораемые,

– трудновоспламеняющиеся (материалы из пластмасс) (Вяземская А., 2005: 65).

По плотности теплоизоляционные материалы делятся на группы и марки, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация теплоизоляционных материалов по средней плотности

Обозначение группы	Группа	Марки	Материалы
ОНП	Особо низкой плотности	15; 25; 35; 50; 75	Минеральная вата марки 75 и ниже; каолиновое волокно; пенопоропласты; супертонкое стекловолокно; базальтовое волокно; вспученный перлит; плиты минераловатные и стекловолокнистые и др.
ПН	низкой плотности	100; 125; 150; 175	Минеральная вата марки выше 75; стеклянная вата из непрерывного стекловолокна; плиты минераловатные на синтетическом связующем; пропитанные минераловатные маты и др.
СП	Средней плотности	200; 225; 250; 300; 350	Изделия совелитовые; вылканистовые; известково-кремнеземистые; перлитцементные; плиты минераловатные на битумном связующем; шнуры минераловатные и др.
ПЛ	Плотные	400; 450; 500; 600	Изделия пенодиатомитовые, диатомитовые, из ячеистого бетона; битумоперлит монолитный и др.

Важнейшей технической характеристикой ТИМ является теплопроводность – способность материала передавать теплоту сквозь свою толщину, так как именно от нее напрямую зависит термическое сопротивление ограждающей конструкции. Количественно определяется коэффициентом теплопроводности λ , выражающим количество тепла, проходящее через образец материала толщиной 1 м и площадью 1 м² при разности температур на противоположных поверхностях 1°С за 1 ч. Коэффициент теплопроводности в справочной и нормативной документации имеет размерность Вт/(м·°С).

На величину теплопроводности теплоизоляционных материалов оказывают влияние плотность материала, вид, размеры и расположение пор (пустот) и т.д. Сильное влияние на теплопроводность оказывает также температура материала и, особенно, его влажность. Методики измерения теплопроводности в различных странах

значительно отличаются друг от друга, поэтому при сравнении теплопроводностей различных материалов необходимо указывать, при каких условиях проводились измерения (Девятаева Г.В., 2005: 378).

Рассмотрим основные характеристики теплоизоляционных материалов.

Плотность – это отношение массы сухого материала к его объему, определенному при заданной нагрузке (кг/м³).

Прочность на сжатие – это величина нагрузки (КПа), вызывающей изменение толщины изделия на 10%.

Сжимаемость – это способность материала изменять толщину под действием заданного давления. Сжимаемость характеризуется относительной деформацией материала под действием нагрузки 2 КПа.

Способность материала впитывать и удерживать в порах (пустотах) влагу при непосред-

венном контакте с водой называется водопоглощением. Водопоглощение теплоизоляционных материалов характеризуется количеством воды, которое впитывает сухой материал при выдерживании в воде, отнесенным к массе или объему сухого материала (Горчаков Г.Н., 2005: 148).

Сорбционной влажностью называется равновесная гигроскопическая влажность материала при определенных условиях в течение заданного времени. С повышением влажности теплоизоляционных материалов повышается их теплопроводность.

Способность материала в насыщенном влагой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения называется морозостойкостью. От этого показателя существенно зависит долговечность всей конструкции, однако, данные по морозостойкости не приводятся в ГОСТ или ТУ.

Паропроницаемость – это способность материала обеспечивать диффузионный перенос водяного пара. Диффузия пара характеризуется сопротивлением паропроницаемости ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$). Паропроницаемость ТИМ во многом определяет влагоперенос через ограждающую конструкцию в целом. В свою очередь, последний является одним из наиболее существенных факторов, влияющих на термическое сопротивление ограждающей конструкции. Во избежание накопления влаги в многослойной ограждающей конструкции и связанного с этим падения термического сопротивления паропроницаемость слоёв должна расти в направлении от тёплой стороны ограждения к холодной.

Теплоизолирующие свойства тем выше, чем ниже воздухопроницаемость ТИМ. Мягкие изоляционные материалы настолько хорошо пропускают воздух, что движение воздуха приходится предотвращать путем применения специальной ветрозащиты. Жесткие изделия, в свою очередь, обладают хорошей воздухопроницаемостью и не нуждаются в каких-либо специальных мерах. Они сами могут применяться в качестве ветрозащиты (Кинчиков В., 2007: 60). При устройстве теплоизоляции наружных стен и других вертикальных конструкций, подвергающихся напору ветра, следует помнить, что при скорости ветра 1 м/с и выше целесообразно оценить необходимость ветрозащиты.

Способность материала выдерживать воздействие высоких температур без воспламенения, нарушения структуры, прочности и других его свойств называется огнестойкостью.

По группе горючести теплоизоляционные материалы подразделяют на горючие и негорючие. Это является одним из важнейших критериев выбора теплоизоляционного материала.

Если говорить о химической стойкости материалов, то минеральные теплоизоляционные материалы обладают хорошей стойкостью к действию органических веществ, таких как масла и растворители. Слабые кислые или щелочные вещества также не вызывают проблем. В условиях нормальной влажности они не способствуют появлению коррозии, хотя и не могут предотвратить ее (Кравченя Э.М., 2005: 105).

В настоящее время теплоизоляционные материалы подразделяют на органические и неорганические. Кратко охарактеризуем и сравним их основные разновидности.

Большинство органических теплоизоляционных материалов изготавливают в виде плит, обычно крупноформатных, что упрощает и ускоряет производство работ и способствует удешевлению строительства (Рис. 2).



Рисунок 2 – Органический ТИМ-Фибролит

Основным сырьем для их изготовления служит древесина в виде отходов (опилки, стружка, горбыль, рейка) и другое растительное сырье волокнистого строения (камыш, солома, малоразложившийся верховой торф, костра льна и конопля).

Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия изготавливают на основе минерального сырья (горных пород, шлака, стекла, асбеста). К этой группе относят минеральную, стеклянную вату и изделия из них, некоторые виды легких бетонов на пористых заполнителях

(вспученном перлите и вермикулите), ячеистые теплоизоляционные бетоны, пеностекло, асбестовые и асбестосодержащие материалы, керамические и др. (Савин В.К., 2005: 401). Эти материалы используют как для утепления строительных конструкций, так и для изоляции горячих поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов.

Многие органические теплоизоляционные материалы подвержены быстрому загниванию, порче различными насекомыми и способны к возгоранию, поэтому их предварительно подвергают обработке. Поскольку использование органических материалов в качестве засыпок малоэффективно в силу неизбежной осадки и способности к загниванию, последние используют в качестве сырья для изготовления плит. В плитах основной материал почти полностью защищен от увлажнения, а следовательно, и от загнивания; кроме того, в процессе производства плит его подвергают обработке антисептиками и антипиренами, повышающими его долговечность.

Среди большого разнообразия теплоизоляционных изделий из органического сырья наибольший интерес представляют плиты древесноволокнистые, камышитовые, фибролитовые, торфяные, пробковая теплоизоляция натуральная, а также теплоизоляционные пенопласты. К органическим теплоизоляционным изделиям и материалам относятся: арболитовые изделия, пенополивинилхлорид, древесностружечные плиты, древесноволокнистые изоляционные плиты, пенополиуретан, пеноизол теплоизоляционный, мипора, пенополистирол, полиэтилен вспененный, фибролит, сотопласты и ячеистые пластмассы (Самойлов М.В., 2002: 38).

Сырьем для производства арболитовых изделий служит портландцемент и органические коротко-волнистые компоненты (древесные опилки, костры, сечки соломы и камыша, дробленой станочной щепы или стружки), обработанные раствором минерализатора.

Производится пенополивинилхлорид (ППВХ) эластичный и твердый. Твердый ППВХ представляет собой теплоизоляционный материал, с незначительными колебаниями своих характеристик в температурном режиме от +60°C до -60°C (Свидерская О.В., 2008: 44).

Материалом для производства древесностружечных плит (ДСП) служит масса, в состав которой входят 90% органического волокнистого компонента (обычно специально подготовленная древесная шерсть) и 7 – 9%

смола на синтетической основе. Иногда, для того чтобы улучшить свойства плит в качестве сырья, применяют еще и некоторые гидрофобизирующие вещества, антисептики и антипирены.

Материалом для изготовления древесноволокнистых изоляционных плит (ДВИП) служат неделовая древесина, отходы деревообработки и лесопиления, бумажной макулатуры, стеблей кукурузы и соломы. Плотность ДВИП доходит до 250 кг/м³, теплопроводность – не выше 0,07 Вт/(м•К).

Пенополиуретан (ППУ) – это результат химической реакции, которая происходит при соединении полиэфира, воды, диизоцианида, эмульгаторов и катализаторов. Существуют два вида ППУ – твердый и эластичный. Твердый ППУ используется в широком температурном диапазоне (от -50°C до +110°C), имеет высокую механическую прочность, стоек к химическим и биологическим воздействиям, устойчив к износу, легок и экономичен в обработке. Из всех материалов ППУ обладает самой низкой теплопроводностью. Облицовка пеноматериала конструкции (безрулонной кровли) водостойкой алюминиевой фольгой, пленкой и другими покрытиями способствует предотвращению проникновения влаги. Благодаря своей стойкости к воздействию микроорганизмов и грибковых образований, материал не поддается гниению и не разлагается (Wheeler D., 2012: 252).

Развитие современного индустриального строительства связано с созданием и повышением качества теплоизоляционных материалов. При этом наибольший интерес представляют теплоизоляционные материалы на минеральной основе, то есть неорганические теплоизоляционные материалы и изделия, которые не подвержены гниению, достаточно огнестойкие и более долговечные, чем материалы из растительного волокна (Jarman T., 2013: 142). В настоящее время номенклатура выпускаемых теплоизоляционных материалов насчитывает более 25 наименований, из них решающее значение имеют изделия и материалы на основе минерального сырья – горных пород, шлаков, стекла и асбеста.

Минеральная вата и изделия из нее по объему производства занимает первое место среди теплоизоляционных материалов. Этому способствует наличие сырьевых ресурсов для их получения в виде горных пород (доломита, известняка, мергелей, базальта и др.), шлаков и зол (Рис. 3).

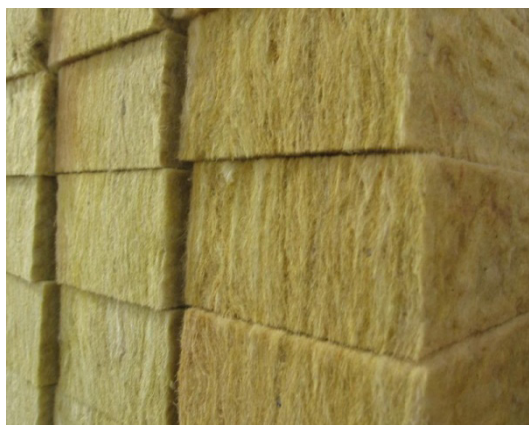


Рисунок 3 – Неорганический ТИМ – Минеральная вата

Применение теплоизоляционных материалов является одним из важнейших методов энергосбережения, а также имеет важное технологическое значение, позволяя уменьшать толщину конструктивных элементов. Теплоизоляционными называют материалы, характеризующиеся низкой теплопроводностью и применяемые для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов. Ассортимент применяемых в настоящее время утеплителей достаточно широк – от пенопластов до минераловатных композиций на полимерных и неорганических связующих.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили следующие виды теплоизоляционных материалов: минеральная вата, базальтовое волокно, стекловата и изделия из них, перлитовые теплоизоляционные материалы, пенодиатомитовые теплоизоляционные материалы, пеностекло, ячеистые бетоны (пенобетон и газобетон) и керамзит (Ihm P., 2009: 514).

Твердой фазой и основной составляющей всех волокнистых теплоизоляционных материалов является волокнистая вата, получаемая из расплавов различных горных пород и других силикатных материалов, а также из доменных и мартеновских шлаков и из прочих отходов металлургических производств. Волокнистая вата состоит из стекловидных волокон и неволокнистых включений, образованных в результате затвердевания силикатного расплава. Волокна в среднем имеют диаметр 1 – 10 мкм и длину от 2 – 3 до 20 – 30 см.

Минеральную вату получают из расплава легкоплавких горных пород, силикатных промышленных отходов, доменных шлаков и их смесей. Минеральная вата предназначена для изготовления теплоизоляционных, звукоизоля-

ционных и звукопоглощающих изделий, а также в качестве теплоизоляционного материала в строительстве и промышленности с предельной температурой эксплуатации до 600 – 700 °С. При более высоких температурах наблюдается спекание волокон минеральной ваты. Базальтовое волокно и каменную вату получают из расплава базальтовых пород (базальтов, габбро, диабазов и близких к ним метаморфических горных пород и мергелей) при температуре около 1500 °С. В отличие от минеральной ваты, выпускаемой преимущественно из смеси легкоплавких пород с промышленными минеральными отходами, теплоизоляционные материалы из базальтового волокна обладают более длительным сроком службы, повышенной виброустойчивостью, термо- и водостойкостью.

Базальтовая теплоизоляция не изменяет своих начальных свойств в течение всего времени эксплуатации, не выделяет вредных веществ в окружающую среду, и не образует токсичных соединений с другими материалами. Основными компонентами для производства стекловолна и стекловаты являются стеклобой, песок, сода, доломит, известняк, этибор и другие компоненты. Процесс волокнообразования происходит из расплавленной при температуре около 1400 °С стеклянной массы, которая распускается на волокна, как правило, под действием центробежной силы на центрифугах (Galasiu A.D., 2007: 10).

В настоящее время при производстве волокнистых теплоизоляционных материалов используют три основные технологии волокнообразования: центробежно-дутьевая, многовалковая и фильерно-вертикально-дутьевая. Наиболее распространенным является центробежно-дутьевой способ. При этом следует отметить, что вырабатываемая данным способом вата отличается низким качеством, с большим (до 25%) количеством неволокнистых включений и отходов волокнообразования (Fontounont M., 2016: 435). Фильерно-вертикально-дутьевой способ обеспечивает безотходную переработку расплава, но ввиду малой мощности и дороговизне применяемых в технологическом процессе питателей из платинородиевого сплава он используется, в основном, на линиях низкой производительности. Центробежно-валковый способ (центробежно-многовалковый) наиболее широко распространен в зарубежной практике и основан на подаче расплава на быстро вращающиеся валки.

Качество изделий из волокнистых теплоизоляционных материалов определяется многими

параметрами. Среди наиболее значимых – химический состав твердой фазы, содержание неволокнистых включений, геометрия и ориентация волокон в пространстве, качественное, экологически безопасное связующее.

От химического состава твердой фазы в первую очередь зависят такие характеристики теплоизоляционных материалов как прочность, термостойкость, химическая стойкость. Прочность теплоизоляционных материалов определяется также параметрами поровой структуры изделия и ориентацией волокон в направлении действия напряжений. Однородное распределение пор по объему и уменьшение их среднего диаметра повышает прочность теплоизоляционных материалов. Прочность на сжатие возрастает с ростом количества вертикально ориентированных волокон. Положительно влияет на прочность также подбор связующего с улучшенными адгезионными свойствами по отношению к наполнителям.

Волокнистая структура также обеспечивает другое важное свойство волокнистых теплоизоляционных материалов – низкую теплопроводность, а также пренебрежимо малую усадку и сохранение геометрических размеров изделий в течение всего периода эксплуатации. Теплопроводность разных типов минеральных ват при нормальной температуре составляет 0,034–0,045 Вт/(мм/°С) и во многом зависит от геометрии и ориентации волокон в пространстве. Наиболее эффективными теплоизоляторами являются изделия с беспорядочно ориентированными волокнами (Fabio Correa Leite, 2013: 27).

Большинство изделий из волокнистых теплоизоляционных материалов обладают высокой термостойкостью, эффективно препятствуют распространению пламени и применяются в качестве противопожарной изоляции и огнезащиты. Более кислые составы имеют большую стойкость, чем основные. Волокнистые изделия из горных пород базальтовой группы могут применяться в условиях очень высоких температур. Базальтоволокнистые материалы способны выдерживать температуру до 1000 °С и выше, и даже после разрушения связующего компонента, их волокна остаются неповрежденными и связанными между собой, сохраняя свою прочность и создавая защиту от огня.

Важной составляющей волокнистых теплоизоляционных материалов, оказывающей большое влияние на эксплуатационные и теплофизические характеристики волокнистых

утеплителей, являются современные многокомпонентные связующие. Для волокнистых теплоизоляционных материалов характерно высокое водопоглощение, достигающее при погружении в воду до 600%. А, как известно, увеличение влажности теплоизоляционного материала значительно ухудшает его теплоизоляционные свойства.

Применение гидрофобизирующих пропиток в составе связующего позволяет снизить водопоглощение до 1,5–2%. Исследования по выбору связующего для производства теплоизоляционных плит показали эффективность использования для этих целей композиций из компонентов органического и неорганического происхождения. Применяемые в настоящее время комбинированные связующие, содержащее в своем составе поливинилацетатную дисперсию, синтетические смолы, натриевое жидкое стекло, поверхностно-активные вещества, гидрофобизатор, обеспыливающие и другие добавки, обеспечивают высокие эксплуатационные свойства получаемых изделий, с повышенными показателями термо- и водостойкости, эффективными водоотталкивающими свойствами, неизменностью структуры, стабильностью геометрических размеров на весь срок эксплуатации (Bondu A., 2015: 3).

Технология производства теплоизоляционных материалов из пенополиуретана является частным случаем изготовления разнообразных по способу производства и применения материалов для тепловой изоляции. Применение теплоизоляционных материалов является одним из важнейших методов энергосбережения, а также имеет важное технологическое значение, позволяя уменьшать толщину конструктивных элементов.

Теплоизоляция сама по себе является одной из приоритетнейших целей эксплуатации зданий. Тепловая сеть – это система прочно и плотно соединенных между собой участников теплопроводов, по которым теплота с помощью теплоносителей (пара или горячей воды) транспортируется от источников к тепловым потребителям. Основными элементами тепловых сетей являются трубопровод, состоящий из стальных труб, соединенных между собой с помощью сварки, изоляционная конструкция, предназначенная для защиты трубопровода от наружной коррозии и тепловых потерь, и несущая конструкция, воспринимающая вес трубопровода и усилия, возникающие при его эксплуатации.

Наиболее ответственными элементами являются трубы, которые должны быть достаточно прочными и герметичными при максимальных давлениях и температурах теплоносителя, обладать низким коэффициентом температурных деформаций, малой шероховатостью внутренней поверхности, высоким термическим сопротивлением стенок, способствующим сохранению теплоты, неизменностью свойств материала при длительном воздействии высоких температур и давлений. Ведь от теплоизоляции зависит насколько экономичным будет здание. Зимой при хорошей теплоизоляции, можно экономить до 80% средств на отопление (Bellia L., 2011: 1985).

Снабжение теплотой потребителей (систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологических процессов) состоит из трех взаимосвязанных процессов: сообщения теплоты теплоносителю, транспорта теплоносителя и использования теплового потенциала теплоносителя. Причиной относительно высокого энергопотребления в зданиях и сооружениях в Республике Казахстан по сравнению с зарубежными странами является то, что многие существующие здания были построены в соответствии с имевшимися на момент строительства строительными нормами и стандартами.

К этому следует добавить и большие затраты энергии на перемещение значительных масс воздуха с помощью вентиляторов, поскольку основным способом отопления производственных помещений является воздушное. Отопить даже среднее производственное помещение с помощью водяной или паровой системы весьма проблематично и в большинстве случаев невозможно. Для этого требуются десятки километров трубопроводов, которые перекрывают проходы и создают другие неудобства. Вместе с удаляемым нагретым воздухом из верхней зоны промышленных зданий с помощью вытяжных крышных вентиляторов выбрасывается большое количество теплоты (Atalla T., 2017: 22). Для ее утилизации целесообразно применять крышные приточно-вытяжные установки с тепло-утилизаторами. Значительны потери тепла в производственных зданиях и сооружениях в зависимости от принятого режима работы предприятий в течение суток и дней месяца.

Для снижения затрат теплоты на нагрев воздуха, поступающего через проемы в стенах общественных зданий, а также для многоэтажных жилых домов применяют воздушно-тепловые завесы. Во многих случаях целесообразно уст-

ройство тамбура. В строительстве и теплоэнергетике теплоизоляция необходима для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду, в холодильной и криогенной технике – для защиты аппаратуры от притока тепла извне. Теплоизоляция обеспечивается устройством специальных ограждений, выполняемых из теплоизоляционных материалов (в виде оболочек, покрытий и т. п.) и затрудняющих теплопередачу; сами эти теплозащитные средства также называются теплоизоляцией (Abdelaziz E.A., 2011: 153). При преимущественном конвективном теплообмене для теплоизоляции используют ограждения, содержащие слои материала, непроницаемого для воздуха; при лучистом теплообмене – конструкции из материалов, отражающих тепловое излучение (например, из фольги, металлизированной лавсановой плёнки); при теплопроводности (основной механизм переноса тепла) – материалы с развитой пористой структурой.

По данным союза инженеров-энергетиков, в Казахстане энергозатраты в более чем три раза выше, чем во многих развитых странах. К числу самых энергоемких сфер в Казахстане относятся металлургия, обрабатывающая промышленность и сама электроэнергетика. Так, в себестоимость одного барреля казахстанской нефти «входят» 15 долларов только за электроэнергию, в других же странах – всего лишь 5-6 долларов.

В списке Международного энергетического агентства в «лидерах» по энергозатратам значатся Россия, Украина и Казахстан. Потери при производстве электроэнергии составляют 10%, при транспортировке по сетям КЕГОКа – порядка 3-5%, на РЭК приходится 15-18%, а потери непосредственно при ее потреблении превышают 30 процентов, т.е. более половины производимой в Казахстане электроэнергии теряется (Федоров С.Н., 2008: 24).

Казахстан на сегодняшний день, по различным оценкам, располагает значительным потенциалом энергосбережения как по тепловой, так и по электрической энергии, который составляет 30-35%. Для реализации потенциала энергосбережения необходимо выполнить целый комплекс работ как в сфере потребления (в промышленности, жилищно-коммунальной сфере, строительном комплексе, транспорте, на потребительском рынке и сфере услуг), так и при производстве и распределении энергии.

Рассмотрим основные энергозатраты при строительстве. Применяемые в настоящее время полносборные конструктивные системы и возводимые здания из кирпича высотой более

5 этажей являются материалоемкими и потребляют значительное количество энергоресурсов. При переходе на строительство жилых домов нового поколения, проекты которых разработаны учеными, возможно снижение их удельной материалоемкости и соответственно энергозатрат. Если в расчете на 1 м² общей площади жилья в 1998 году удельные энергозатраты составляли 284 кг усл. топлива, то уже к 2020 году снижение совокупных энергозатрат зданий нового поколения может составить около 8650 тыс. тонн условного топлива (Самойлов М.В., 2002: 38). Новые требования, предъявляемые к термическому сопротивлению ограждающих конструкций, позволяют уже сегодня проектировать и строить здания, удельный расход тепловой энергии при эксплуатации которых соответствует современным мировым стандартам. В этих целях предусматривается также применение систем утилизации выбросного воздуха, включающих устройства для принудительной вентиляции воздуха и теплообменники, обеспечивающие возврат тепла в помещения.

В производстве строительных материалов, по мнению специалистов, наиболее высок удельный вес энергозатрат в себестоимости продукции. Так, при производстве цемента доля энергоресурсов составляет 56%, извести – 49%, керамического кирпича – 28,7-53%, силикатных стеновых материалов – 11,2-37,7%. На различных предприятиях составляющая энергоресурсов в материалах меняется, и это зависит от применения энергосберегающих технологий.

Снижение энергозатрат на производство строительных материалов можно обеспечить за счет выполнения следующих мероприятий. Российские ученые ГП «НИИСМ», БелНИИС, НИПТИС и других научных центров считают, что одним из путей экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в производстве цемента и извести по мокрому способу является снижение влажности шлама. Например, в настоящее время влажность цементного шлама колеблется от 44-47% на АО «Красносельскцемент», до 39-40% на ПО «Кричевцементношифер». Соответственно расход ТЭР на обжиг клинкера составляет 241,7 кг у.т/т на ПО «Кричевцементношифер» и 269,0 кг у.т/т на АО «Красносельскцемент». Затраты топлива на обжиг 1 тонны клинкера по сухому способу на 70-80 кг ниже, чем по мокрому (Федоров С.Н., 2008: 24).

Аналогичные результаты могут быть достигнуты при обжиге извести по сухому способу. Затраты ТЭР составят 200-210 кг у.т/т по сравне-

нию 288,6 кг у.т/т в настоящее время. В области теплоизоляционных материалов предлагается создать производство теплоизоляционных плит из минеральной ваты на неорганическом связующем. Такая технология разработана ГП «НИИСМ» по способу гидромасс с применением местных сырьевых материалов и неорганического связующего. Технология позволяет получать плиты марки 100 с физико-механическими свойствами, сопоставимыми с плитами марки 175-200, полученными по сухому способу. Это предопределяет снижение энергозатрат на 35%. Для марки 100 по мокрому способу они составляют 119 кг у.т/м³ (топливо и электроэнергия), для марки 175-200 по сухому способу, выпускаемых в настоящее время, расход топлива – 158 кг у.т/м³ (Федоров В.В., 2003: 115).

Исследования белорусских ученых показали, что при производстве керамических стеновых материалов предприятия, оснащенные туннельными печами с шириной канала 4,7 м в цельнометаллическом корпусе, имеют самые низкие расходы топлива на тысячу штук кирпича. Например на Минском заводе строительных материалов расходы топлива составляют 184 кг у.т/1000 шт. усл. кирпича, на Радошковичском заводе – 175 у.т/ 1000 шт. усл. кирпича. В среднем же по подотрасли расход топлива составляет 254 кг у.т/1000 шт. усл. кирпича. Значительная экономия энергоресурсов может быть достигнута при использовании теплообменных устройств для утилизации тепла отходящих газов туннельных печей. Резервы экономии энергоресурсов заложены в технологии производства – в снижении формовочной влажности изделий, повышении пустотности керамического кирпича (Фокин В. М., 2011: 110).

Таким образом, описанные выше разработки можно применять и в нашей стране. Снижения затрат топлива и энергии при производстве только перечисленных выше строительных материалов можно достичь, внедряя новые технологии, новое оборудование, тепловые агрегаты. Это связано с крупными капитальными вложениями. Эта проблема решается на уровне правительства, министерств и других органов центрального управления. Потребление энергии в коммунально-бытовой сфере составляет 38 % и это обуславливает поиск и разработку мер законодательного характера по более экономному расходу энергии в этой сфере. Для осуществления эффективного управления процессом энергосбережения необходимо разработать и внедрить автоматизированную систему управления

теплопотреблением застроенных территорий Республики Казахстан, обеспечивающую государственную программу энергосбережения на основе энергетических паспортов зданий и сетевых компьютерных технологий.

Энергетическая паспортизация жилых и общественных зданий представляет собой мероприятие по установлению фактических показателей энергопотребления жилых и общественных зданий, а также по созданию соответствующего банка данных. Цель энергетической паспортизации зданий – проверка фактического состояния энерго- и теплопотребления в жилищном секторе, выделение зданий, требующих первоочередных мероприятий по повышению теплозащитных свойств, а также поиск оптимальных путей снижения расхода теплопотребления.

В целом, целями постоянно действующего энергетического мониторинга являются:

- контроль в режиме реального времени за количеством поставляемой энергии и ее расходом;
- выявление наиболее значительных источников потерь энергии;
- информационное обеспечение планирования и проведения первоочередных мероприятий по снижению энергопотерь и ликвидации источников наиболее высоких энергопотерь;
- контроль за соответствием количества поставленного тепла, требуемого для обеспечения нормального микроклимата в помещениях и комфортных условий проживания людей.

Организуемая энергетическая экспертиза проектов теплозащиты и капитального ремонта зданий позволит:

- вскрыть энергетические резервы при эксплуатации зданий и застроенных территорий в целом;
- эффективно планировать и своевременно организовать выполнение энергосберегающих мероприятий на застроенных территориях республики;
- осуществлять постоянный контроль за плановым снижением уровня энергопотребления на отдельных территориях;
- совместить теплозащиту зданий с их плановыми ремонтами и реконструкцией, что значительно повысит рентабельность работ по тепловой защите зданий.

Таким образом, применение ТИМ заметно сокращает теплопотери, позволяя экономить на обогреве помещений. Задача теплоизоляции зданий – снизить потери тепла в холодный период года и обеспечить относительное постоянство температуры в помещениях в течение суток при колебаниях температуры наружного воздуха. Применяя для тепловой изоляции эффективные теплоизоляционные материалы, можно существенно уменьшить толщину и снизить массу ограждающих конструкций и таким образом сократить расход основных строительных материалов (кирпича, цемента, стали и др.) и увеличить допустимые размеры сборных элементов.

Литература

- 1 Айрапетова Г.А., Несветаева Г.В. Строительные материалы: учебно-справочное пособие (Серия «Строительство»). – Ростов на/Д.: Феникс, 2004. – 608 с.
- 2 Андриевский А.А. Энергосбережение и энергетический менеджмент: учебное пособие. – Минск: Высшая школа, 2005. – 342 с.
- 3 Кравченя Э.М., Козел Р.Н., Свирид И.П. Охрана труда и энергосбережения. – М.: ТетраСистемс, 2008. – 245 с.
- 4 Афанасьев А.А., Данилов Н.Н., Копылов В.Д. и др. Технология строительных процессов. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
- 5 Вяземская А. Энергосберегающие технологии в строительстве // Строительство и недвижимость – 2005. – № 3. – С. 63-69.
- 6 Горчаков Г.Н., Баженов Ю.М. Строительные материалы. Учеб. для вузов. (ред. Строительные материалы и конструкции). – М.: Строиздат, 2005. – 688 с.
- 7 Девятаева Г.В. Технология реконструкции и модернизации зданий. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 480 с.
- 8 Кинчиков В. Энергосбережение в строительстве и ЖКХ // Строительство и недвижимость. – 2007 – № 4 – С. 59-65.
- 9 Кравченя Э.М. Охрана труда и основы энергосбережения. – Минск: ТетраСистемс, 2005. – 156 с.
- 10 Савин В.К. Энергоперенос. Энергоэффективность. Энергосбережение. – М.: Лазурь, 2005. – 425 с.
- 11 Самойлов М.В. Основы энергосбережения. Учебное пособие. – Минск: БГЭУ, 2002. – 240 с.
- 12 Свиридская О.В. Основы энергосбережения. – Минск: ТетраСистемс, 2008. – 408 с.
- 13 СП 23-101-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 174 с.
- 14 Федоров В.В. Реконструкция и реставрация зданий. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 208 с.
- 15 Федоров С.Н. Приоритетные направления для повышения энергоэффективности зданий // Энергосбережение. – 2008. – №5. – С. 23-25.

- 16 Фокин В. М., Ковылин А.В., Чернышов В. Н. Энергоэффективные методы определения теплофизических свойств строительных материалов. – М.: Спектр, 2011. – 155 с.
- 17 Abdelaziz E.A., Saidur R., Mekhilef S. (2011) A Review on Energy Saving Strategies in Industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 150–168.
- 18 Atalla T., Bean P. (2017) Determinants of energy productivity in 39 countries: An empirical investigation. *Energy Economics*, vol. 62, pp. 217-229.
- 19 Bellia L., Bisegna F., Spada G. (2011) Lighting in indoor environments: visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. *Build. Environ.*, vol. 46, pp. 1984-1992.
- 20 Bondu A., Dachraoui A. (2015) Realistic and very fast simulation of individual electricity consumptions. *Int. Jt. Conf. Neural Networks. IEEE*, pp. 1-8.
- 21 Fabio Correa Leite, Decio Cicone Jr., Luiz Claudio Ribeiro Galvao, Miguel Edgar Morales Udaeta (2013) Energy-Efficiency Economics as a Resource for Energy Planning. *OJEE*, vol. 2, no.1, pp. 22-28.
- 22 Fontoynt M., Ramanarivo K., Soreze T., Fernez G., Skov K.G. (2016) Economic feasibility of maximising daylighting of a standard office building with efficient electric lighting. *Energy and Buildings*, vol. 110, pp. 435-442.
- 23 Galasiu A.D., Newsham G.R., Suvagau C., Sander D.M. (2007) Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study. *Eng. Soc.*, vol. 4, pp. 7-29.
- 24 Ihm P., Nemri A., Krarti M. (2009) Estimation of lighting energy savings from daylighting. *Build. Environ.*, vol. 44, pp. 509-514.
- 25 Jarman T. Jarman, Essam E. Khalil, Elsayed Khalaf (2013) Energy Analyses of Thermoelectric Renewable Energy Sources. *OJEE*, vol. 2, no. 4, pp. 143-153
- 26 Lim G., Barry M., Keumala N., Ghafar N. (2017) Daylight performance and users' visual appraisal for green building offices in Malaysia. *Energy and Buildings*, vol. 141, pp. 175-185.
- 27 Linhart F., Scartezzini J.L. (2010) Evening office lighting – visual comfort vs. energy efficiency vs. performance. *Build. Environ.*, vol. 46, pp. 981-989.
- 28 Study A.C. (2015) Energy Auditing and Management. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, vol. 2, pp. 1807-1813.
- 29 Sun J.W., Ang B.W. (2000) Some properties of an exact energy decomposition model. *Energy*, vol.25 (12), pp. 1177-1188.
- 30 Tewari S.K. (2014) Energy conservation initiatives adopted in mines & plant. *The Indian Mining & Engineering Journal*, vol.53, pp. 16-17.
- 31 Wheeler D. (2012) Energy+ Country Performance Ratings 2001-2010. Center for Global Development Working Paper. 301 P.

References

- 1 Ajrapetova G.A., Nesvetaeva G.V. (2004) *Stroitel'nye materialy. Uchebno – spravocnoe posobie (Serija «Stroitel'stvo».)* [Construction Materials. Educational and reference manual (Series «Construction»)] Rostov N/D, Feniks, 608 P.
- 2 Andrievskij A.A. (2005) *Jenergoberezenie i jenergeticheskij menedzhment: uchebnoe posobie* [Energy saving and energy management: a tutorial]. Minsk, Vysshaja shkola, 342 P.
- 3 Afanas'ev A.A., Danilov N.N., Kopylov V.D. (2003) *Tehnologija stroitel'nyh processov* [Technology of construction processes]. M., Vysshaja shkola, 463 P.
- 4 Vjazemskaja A. (2005) *Jenergoberegajushhie tehnologii v stroitel'stve* [Energy-saving technologies in construction]. *Stroitel'stvo i nedvizhimost'*, no. 3, pp. 63-69.
- 5 Gorchakov G.N., Bazhenov Ju.M. (2005) *Stroitel'nye materialy. Ucheb. dlja vuzov. (red. Stroitel'nye materialy i konstrukcii)* [Construction Materials. Textbook. for universities. (ed., Building materials and constructions)]. M., Stroizdat, 688 P.
- 6 Devjataeva G.V. (2005) *Tehnologija rekonstrukcii i modernizacii zdaniij* [Technology of reconstruction and modernization of buildings]. M., INFRA-M, 480 P.
- 7 Kinchikov V. (2007) *Jenergoberezenie v stroitel'stve i ZhKH* [Energy saving in construction and housing and communal services]. *Stroitel'stvo i nedvizhimost'*, no. 4, pp. 59-65.
- 8 Kravchenja Je.M. (2005) *Ohrana truda i osnovy jenergoberezenija* [Labor protection and energy conservation]. Minsk, TetraSistems, 156 P.
- 9 Savin V.K. (2005) *Jenergoperenos. Jenergojeffektivnost'. Jenergoberezenie* [Energy transfer. Energy efficiency. Energy saving]. M., Lazur', 425 P.
- 10 Samojlov M.V. (2002) *Osnovy jenergoberezenija. Uchebnoe posobie* [Fundamentals of energy conservation. Tutorial] Minsk, BGJeU, 240 P.
- 11 Sviderskaja O.V. (2008) *Osnovy jenergoberezenija* [Basics of energy saving]. Minsk, TetraSistems, 408 P.
- 12 SP 23-101-2004. (2004) *Svod pravil po proektirovaniju i stroitel'stvu. Proektirovanie teplovoj zashhity zdaniij* [Code of rules for design and construction. Designing of thermal protection of buildings]. M., FGUP CPP, 174 P.
- 13 Fedorov V.V. (2003) *Rekonstrukcija i restavracija zdaniij* [Reconstruction and restoration of buildings]. M., INFRA-M, 208 P.
- 14 Fedorov S.N. (2008) *Prioritetnye napravlenija dlja povyshenija jenergojeffektivnosti zdaniij* [Priority directions for improving the energy efficiency of buildings]. *Jenergoberezenie*, no. 5, pp. 23-25.
- 15 Fokin V. M., Kovylin A.V., Chernyshov V. N. (2011) *Jenergojeffektivnye metody opredelenija teplofizicheskikh svoystv stroitel'nyh materialov* [Energy-efficient methods for determining the thermophysical properties of building materials]. M., Spektr, 155 P.

- 16 Abdelaziz E.A., Saidur R., Mekhilef S. (2011) A Review on Energy Saving Strategies in Industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 150–168.
- 17 Atalla T., Bean P. (2017) Determinants of energy productivity in 39 countries: An empirical investigation. *Energy Economics*, vol. 62, pp. 217-229.
- 18 Bellia L., Bisegna F., Spada G. (2011) Lighting in indoor environments: visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. *Build. Environ.*, vol. 46, pp. 1984-1992.
- 19 Bondu A., Dachraoui A. (2015) Realistic and very fast simulation of individual electricity consumptions. *Int. Jt. Conf. Neural Networks. IEEE*, pp. 1-8.
- 20 Fabio Correa Leite, Decio Cicone Jr., Luiz Claudio Ribeiro Galvao, Miguel Edgar Morales Udaeta (2013) Energy-Efficiency Economics as a Resource for Energy Planning. *OJEE*, vol. 2, no.1, pp. 22-28.
- 21 Fontoynt M., Ramanarivo K., Soreze T., Fernez G., Skov K.G. (2016) Economic feasibility of maximising daylighting of a standard office building with efficient electric lighting. *Energy and Buildings*, vol. 110, pp. 435-442.
- 22 Galasiu A.D., Newsham G.R., Suvagau C., Sander D.M. (2007) Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study. *Eng. Soc.*, vol. 4, pp. 7-29.
- 23 Ihm P., Nemri A., Krarti M. (2009) Estimation of lighting energy savings from daylighting. *Build. Environ.*, vol. 44, pp. 509-514.
- 24 Jarman T. Jarman, Essam E. Khalil, Elsayed Khalaf (2013) Energy Analyses of Thermoelectric Renewable Energy Sources. *OJEE*, vol. 2, no. 4, pp. 143-153
- 25 Lim G., Barry M., Keumala N., Ghafar N. (2017) Daylight performance and users' visual appraisal for green building offices in Malaysia. *Energy and Buildings*, vol. 141, pp. 175-185.
- 26 Linhart F., Scartezini J.L. (2010) Evening office lighting – visual comfort vs. energy efficiency vs. performance. *Build. Environ.*, vol. 46, pp. 981-989.
- 27 Study A.C. (2015) Energy Auditing and Management. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, vol. 2, pp. 1807-1813.
- 28 Sun J.W., Ang B.W. (2000) Some properties of an exact energy decomposition model. *Energy*, vol.25 (12), pp. 1177-1188.
- 29 Tewari S.K. (2014) Energy conservation initiatives adopted in mines & plant. *The Indian Mining & Engineering Journal*, vol.53, pp. 16-17.
- 30 Wheeler D. (2012) Energy+ Country Performance Ratings 2001-2010. Center for Global Development Working Paper. 301 P.