

Оценка воздействий на окружающую среду жизненного цикла пенополиуретановой теплоизоляции в строительстве

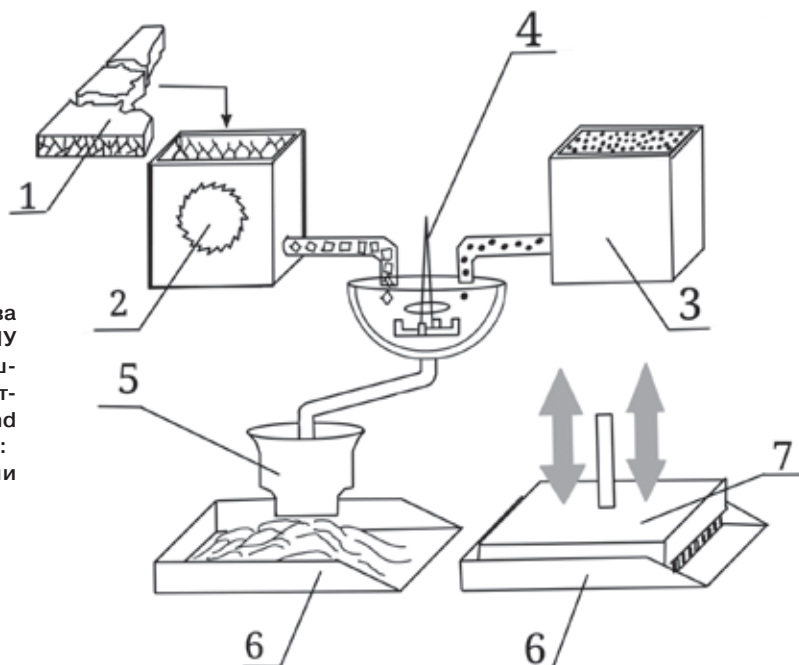
П. М. Жук, д-р техн. наук, декан факультета бакалавриата МАрХИ (Государственная академия)

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, оценка воздействий жизненного цикла, плиты из пенополиуретана

Применяемые в современном строительстве теплоизоляционные материалы нуждаются в оценке воздействий жизненного цикла на основе современных стандартов и методик. Для развития производства плит на основе пенополиуретана важно учитывать возможности сырьевого обеспечения, современных технологий производства и переработки отработанных изделий с учетом экологических требований.

Оценка воздействий на окружающую среду по жизненному циклу продукции (англ. Life Cycle Assessment, LCA) – важнейшая процедура для современных строительных материалов и систем. Нормативная правовая база этого процесса сформулирована в международных стандартах серий ИСО 14040-44, в частности в ГОСТ Р ИСО 14044-2019 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации», где дается определение оценки воздействий жизненного цикла как завершающей стадии всей методики. Представление результатов оценки жизненного цикла, как правило, производится в форме экологических деклараций продукции (англ. Environmental Product Declaration, EPD). Без объективной оценки жизненного

цикла строительной продукции затруднительна постановка задач модернизации отрасли и охраны окружающей среды, которые ставятся в «Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 10.05.2016 № 868-р. Значимость оценки жизненного цикла отмечается и в Регламенте ЕС Европейского парламента и Совета Европейского союза от 09.03.2011 «Об установлении гармонизированных условий для распространения на рынке строительной продукции и отмене Директивы 89/106/ЕЕС» (англ. Regulation (EU) 305/2011). Однако внедрение экологических деклараций в отечественную практику



■ Рис. 1. Ориентировочная схема производства клеевых плит на основе отходов ППУ (на основе исследований Промышленного союза производителей жесткого ППУ Германии – Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V., IVPU [8]):
 1 – чистые производственные или строительные отходы ППУ;
 2 – измельчение (фракция 6 мм);
 3 – введение связующего;
 4 – накопительный силос;
 5 – форма;
 6 – прессование под давлением;
 7 – плита

проектирования и строительства идет постепенно и формирует предпосылки для совершенствования системы стандартизации в этой сфере. Одним из таких шагов, безусловно, должно стать введение в действие национального стандарта об экологических декларациях строительной продукции, разработку которого ведет ТК 474 «Экологические требования к объектам недвижимости». Причем одним из самых сложных с точки зрения рыночных условий и политики развития строительной отрасли направлений в совершенствовании экологических требований является «повышение устойчивости среды обитания за счет применения энергоэффективных теплоизоляционных материалов и изделий» [1–3]. В связи с этим учет особенностей отечественных производств и специфики региональных геосистем нашей страны при оценке воздействий жизненного цикла теплоизоляционных материалов в строительстве представляет собой актуальное и стратегически важное направление исследований [4].

Теплоизоляционные пенопластовые плиты из жесткого пенополиуретана (ППУ) производятся из дифенилметандиизоцианата (MDI) и полиолов (многоатомных спиртов) в результате реакции полиприсоединения. Плиты из жесткого полиуретанового пенопласта частично покрываются алюминиевой фольгой, стеклохолстом или специальной бумагой. Примерный состав пенополиуретановых плит может включать MDI (около 56 %) и полиолы (около 40 %) (в готовых изделиях сами соединения отсутствуют, т. к. образуют высокомолекулярный полиуретан в результате полиприсоединения); пентан или углекислый газ (3 %), гетероциклический амин (0,4 %), добавки антиокислителей,

красителей, стабилизаторов и катализаторов (каждая в районе 0,1 %). Бицидные и антистатические добавки, как правило, для плит из жесткого пенополиуретана не применяют. При этом один из возможных раскладов состава полиолов в плитах из жесткого полиуретана представляет собой такие компоненты, как полиолы на основе полиэтилена (свыше 21 %), полимер-полиолы, например на основе полистирола (около 6 %), сложные полиолы (в частности, галогенизированные) (около 11 %), триэтилфосфат (1,2 %), полиэфирный силосан (около 0,4 %). В настоящее время в России наблюдается существенный дефицит изоцианатов (мировое производство свыше 5 млн т в год) по причине опасений в нестабильности спроса, при том что рентабельность таких предприятий подразумевает производительность не менее 400 тыс. т в год. В то же время нормативная правовая база в области теплоизоляционных изделий на основе ППУ в строительстве постоянно совершенствуется. В частности, введены в действие национальные стандарты ГОСТ Р 56590-2015 «Изделия из жесткого пенополиуретана теплоизоляционные заводского изготовления, применяемые в строительстве. Общие технические условия» и ГОСТ Р 59561-2021 «Изделия теплоизоляционные из пенополиуретана (ППУ) и пенополиизоцианурата (ПИР) для строительства, напыляемые на месте производства работ. Жесткие пенополиуретановые и пенополиизоциануратные системы перед применением. Технические условия», что имеет огромную значимость для широкого применения ППУ-изделий.

В целом производство сырья для пенополиуретана можно характеризовать как

Таблица 1

Данные оценки воздействий жизненного цикла плит на основе пенополиуретана

Наименование материала	Потребление ресурсов		Воздействия на окружающую среду					
	Общие первичные энергозатраты, МДж	Использование воды, м ³	Потенциал глобального потепления, кг CO ₂	Потенциал разрушения озона, кг CFC-11	Потенциал повышения кислотности, кг SO ₂	Потенциал эвтрофикации, кг (PO ₄) ³⁻	Неопасные отходы, кг	Опасные отходы, кг
Плиты с алюминиевым кашированием	301,2	0,075	14,2	1,81E-05	0,041	0,0045	0,62	0,010
Плиты с кашированием из минерального холста	293,2	0,041	12,6	1,96E-05	0,032	0,0042	0,19	0,013
Плиты без каширования	285,2	0,037	11,5	1,97E-05	0,029	0,0039	0,15	0,008

Примечание: за функциональную единицу принимался 1 м² плит из ППУ, обеспечивающий сопротивление теплопередаче 5 м²·К/Вт, без учета рекуперации энергии в рамках жизненного цикла.

многоступенчатый комплексный процесс, который связан с возможным возникновением опасных для здоровья человека промежуточных и побочных продуктов [5]. Так, риски связывают с применением токсикологически опасных компонентов – фосген, дифенилметандиизоцианат (MDI), дифенилметандиамин (MDA), бензол, анилин, газообразный хлор [6]. В связи с этим все современное оборудование для производств полностью герметизируется и соответствует самым жестким требованиям безопасности. В частности, это касается производства и манипуляций с высокотоксичным фосгеном, поскольку даже самые малые концентрации этого вещества могут нанести вред здоровью. Все показатели предельно допустимых концентраций по MDI, аминам и фосфатам в воздухе рабочей зоны регулярно измеряются и неукоснительно соблюдаются. Плиты из жесткого пенополиуретана производятся так называемым методом дублирования [7], при котором реакционная смесь из дифенилметандиизоцианата, полиолов и добавок наносится на непрерывно движущуюся покрывающую пленку путем налива или напыления. Сверху также движется покровный слой, а расстояние между покровными лентами определяет толщину изготавливаемых плит. Пентан вспенивает реакционную смесь в условиях свободно выделяющегося тепла реакции. Нарезка и сборка плит осуществляются механическим способом. Отходы производства перерабатываются за счет обменных реакций со спиртами (алкоголиз) или используются для изготовления склеенных прессованных плит (рис. 1).

На этапе монтажа стоит отметить, что на кровле укладка плит из жесткого пенополиуретана

производится как проницаемым для пара, так и паронепроницаемым образом в зависимости от предусматриваемой конструкции (на обрешетку из древесины или на слой пароизоляции). Закрепление плит из жесткого ППУ может производиться как точечной, так и сплошной наклейкой, а также с помощью гвоздей, дюбелей или шурупов. Предпочтительнее, с точки зрения повторной переработки, является свободная укладка. Технологическая нарезка осуществляется пилой или специальным ножом.

Широту применения теплоизоляционных плит из жесткого ППУ определяют его теплоизоляционные свойства (коэффициент теплопроводности 0,023–0,026 Вт/м·К, средняя плотность 20–100 кг/м³), которые позволяют добиться экономии энергозатрат на отопление до 8400 МДж/м² за период 60 лет по сравнению с недостаточно изолированной ограждающей конструкцией [9]. При этом достижение наилучших теплотехнических показателей ППУ-плит связано с использованием технологии вспенивания с помощью гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ, H-FCKW) [10]. Важнейшим параметром при эксплуатации плит из ППУ является устойчивость к различного рода воздействиям. Изделия из ППУ в достаточной степени устойчивы к воздействию плесневых грибов, растворителей, клеев, битумных мастик и средств защиты древесины. Важную роль при эксплуатации играет устойчивость к гидроизоляционным пленкам, содержащим пластификаторы, к кислотам и щелочам невысокой концентрации и к отходящим промышленным газам. Теплоизоляционные ППУ-изделия сочетаются с иными строительными материалами. На этапе эксплуатации

теплоизоляционных изделий из ППУ нет рисков существенных геоэкологических воздействий. Однако при пожаре возможны токсичные для окружающей среды воздействия, связанные с выделением хлороводорода и устойчивых к разложению галогенированных диоксинов и фуранов. Правда, количество галогенов в полиуретане не очень высоко. Массовая доля может составлять около 10 % с учетом галогенированной части полиолов, антипиренов и возможных загрязнений. Показатели воздействий на окружающую среду по жизненному циклу различных плит на основе ППУ приведены в табл. 1.

Осложнение для рециклинга представляет каширование изделий (например, алюминиевой фольгой), которое затрудняет отделение компонентов друг от друга. Также осложняет рециклинг применение для вспенивания ГХФУ. Рециклинг изделий из полиуретана подразумевает использование термического, механического или химического способа. Обычно термический способ выбирают лишь в тех случаях, когда применение механического и химического не представляется возможным по различным причинам. Механический способ переработки предусматривает измельчение полиуретановых изделий с последующим гранулированием при необходимости. Затем можно сформировать новое изделие при помощи воздействия температуры и давления с использованием в качестве связующего полиуретанового клея. Такой способ рециклинга подходит как для изделий из жесткого, так и из мягкого пенополиуретана. Процент переработанной составляющей в новом изделии может быть значительным. Основные области применения изделий из переработанного материала – звукоизоляция или наполнение покрытий пола. Механический способ рециклинга позволяет экономить на сырье для новых изделий путем возвращения полиуретана в материальный и экономический цикл, поэтому на настоящий момент такая переработка считается наиболее предпочтительной. Возможности химической переработки (рециклинга) полиуретана заключаются в гидролизе, ацидолизе и гликолизе. Образующиеся в результате химической переработки многоатомные спирты (полиолы) схожи с сырьевыми компонентами по своим свойствам и функциональным возможностям. Однако к недостаткам химического способа относят большие затраты энергии по сравнению с механическим.

В качестве заключения стоит обобщить следующие ключевые моменты жизненного цикла пенополиуретановой теплоизоляции в строительстве: учет ограниченного производства исходного сырья, необходимость учета жестких требований безопасности с токсической точки зрения на всех стадиях жизненного цикла, необходимость разработки и внедрения системы рециклинга изделий.

Литература

1. Табунщиков Ю. А. Основы формирования экологически устойчивой среды обитания человека // Энергосбережение. – 2023. – № 3. – С. 4–8
2. Füchsl S., Rheude F., Röder H. Life Cycle Assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review // Cleaner Materials. 2022, 5:100119. – DOI: 10.1016/j.clema.2022.100119.
3. Pargana N., Duarte Pinheiro M., et al. Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings // Energy and Buildings. 2014, 82:466–481. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.05.057.
4. Zhukov A. D., Zhuk P. M., Stepina I. V. Assessment of the environmental impact on the life cycle of polystyrene thermal insulation materials // Journal of Physics: Conference Series. 2022, 2388:012101. – DOI: 10.1088/1742-6596/2388/1/012101.
5. Guolo E., Cappelletti F., et al. Environmental impacts for polyurethane panels // E3S Web of Conferences 111. 2019, 03063. – DOI: 10.1051/e3s-conf/201911103063.
6. Mötzl H., Zelger T., et al. Ökologie der Dämmstoffe. Grundlagen der Wärmedämmung. Lebenszyklusanalyse von Wärmedämmstoffen. Optimale Dämmstandards. – Wien: Springer, 2000.
7. Örtel G. Kunststoff-Handbuch, Polyurethan. – München-Wien: Carl Hanser Verlag, 2016.
8. Verwertung (Recycling) und Entsorgung von PUR-Hartschaum-Abfällen. – Stuttgart: IVPU-Nachrichten, 1996.
9. Ökobilanz von PUR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen. 4. Aktualisierte Auflage. – Stuttgart: IVPU – Industrieverband Polyurethen-Hartschaum e. V., 2022.
10. (H)-FCKW-geschäumte Dämmstoffe im Bauwesen in Deutschland. Schätzung der potenziellen Emissionen bis zum Jahr 2010. – Dessau-Rosslau: Umweltbundesamt, 2012.