



**Конкурс работ молодых ученых «Просто о сложном»
Научно-популярная статья призера III степени Корнеевой Анастасии
Олеговны (доцент, к.т.н., педагог дополнительного образования,
Липецкий государственный технический университет, ГАОУ "Центр
поддержки одаренных детей "Стратегия", г. Липецк)**

Что такое пенополиуретан и где его применяют¹

1. Структура пенополиуретана

А вы знаете, что такое ПЕНОПОЛИУРЕТАН? Могу с уверенностью сказать, что сталкивались вы с ним неоднократно. Монтажная пена, губка для мытья посуды, наконец, поролон в матрасе – все это пенополиуретан! Как же такое может быть, скажете вы? Ведь монтажная пена жесткая, хрупкая, а в многослойном ортопедическом матрасе поролон очень даже эластичный. Да, вы абсолютно правы, свойства и назначение этих материалов очень сильно отличаются. Давайте разберемся, что же такое пенополиуретаны (кстати, такое достаточно длинное название сокращают до ППУ), к какому классу полимерных материалов они относятся?

¹ Научно-популярная статья основана на материалах публикаций автора – А.О. Корнеевой (Проскуряковой):

1. Goncharova M.A. Prediction of the durability of filled rigid polyurethane foam of sandwich panels / M.A.Goncharova, B.A. Bondarev, **А.О. Proskuryakova** // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2015. № 1 (25). С. 25-33.
2. Гончарова М.А. Прогнозирование долговечности наполненного пенополиуретана в кровельной сэндвич-панели / М.А.Гончарова, Б.А. Бондарев, **А.О. Проскурякова** // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2014. № 3 (35). С. 31-37.
3. Корнеев А.Д. Жесткий пенополиуретан с ультрадисперсными наполнителями / А.Д. Корнеев, М.А. Гончарова, **А.О. Проскурякова** // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2014. № 4. С. 54-57.
4. **Проскурякова А.О.** Сэндвич-панели с утеплителем из наполненного пенополиуретана для малоэтажного строительства / А.О.Проскурякова, А.Д. Корнеев, Г.А. Шаталов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 32 (51). С. 71-75.
5. **Проскурякова А.О.** Композиционные материалы на основе пенополиуретана с использованием кремнеземсодержащих наполнителей / А.О.Проскурякова, А.Д. Корнеев, Г.А. Шаталов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 27 (46). С. 73-77.
6. **Проскурякова А.О.** Исследование работы сэндвич-панели с утеплителем из пенополиуретана / А.О. Проскурякова, Г.А. Шаталов, Ф.Н. Корвяков // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2012. № 2. С. 62-65.
7. Корнеев А.Д. Композиционный материал на основе пенополиуретана с использованием микрокремнезема / А.Д. Корнеев, **А.О. Проскурякова** // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. № 24 (43). С. 72-76.
8. Редькина М.И. Разработка составов наполненных жёстких пенополиуретанов для малоэтажного строительства / М.И.Редькина, **Корнеева А.О.** // В сборнике: Современные проблемы строительной науки Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. 2017. С. 101-105.

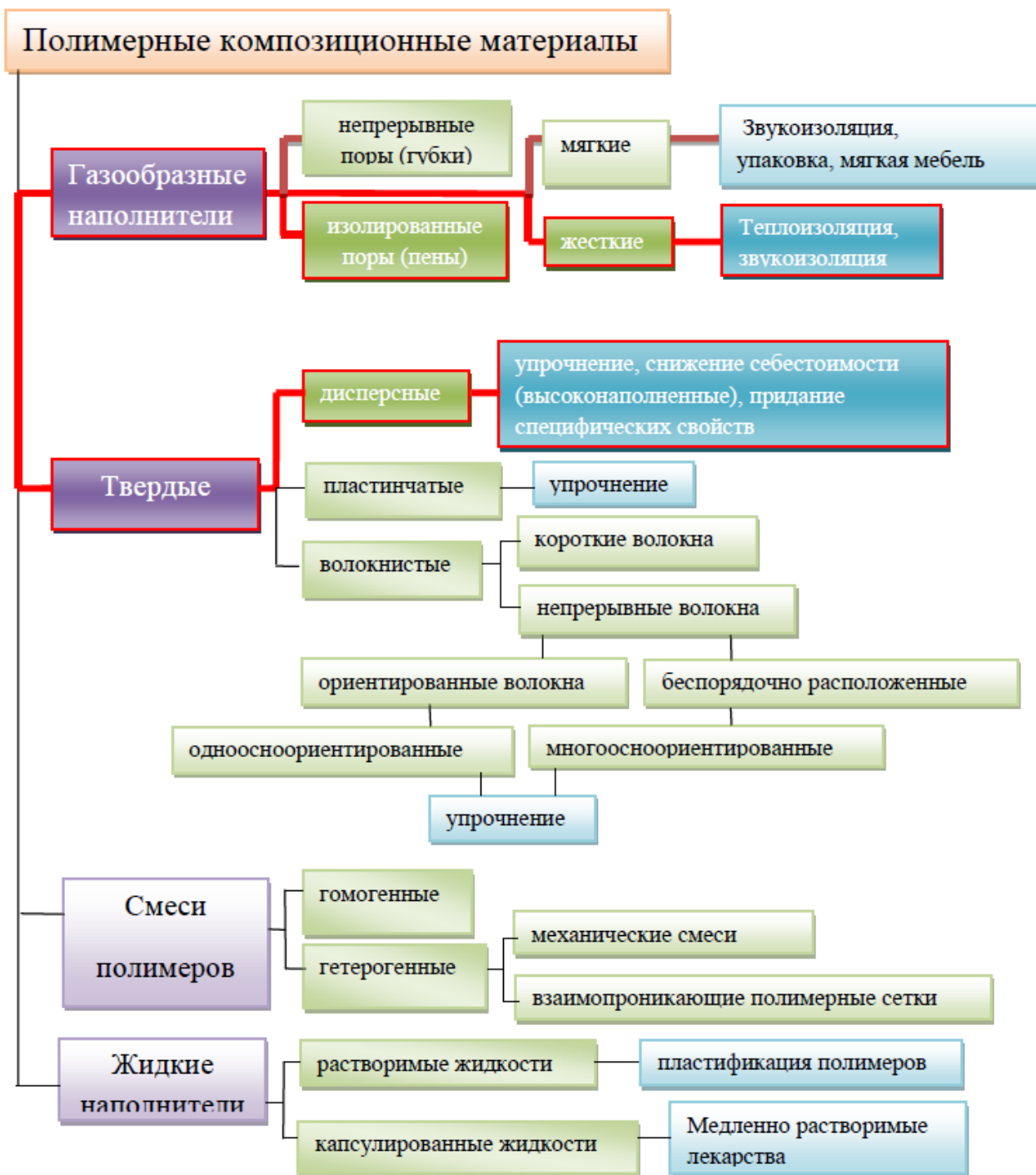
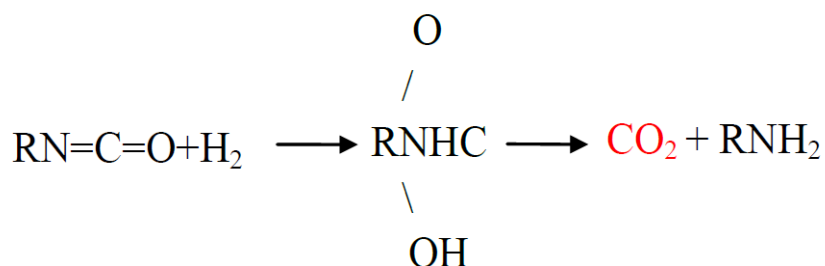


Рис.1. Классификация полимерных композиционных материалов (ПКМ)

Если мы внимательно посмотрим на рисунок 1, то становится понятно, что ППУ относится к полимерным композиционным материалам, где газ является наполнителем (иногда используют твердые наполнители для придания повышенной прочности и жесткости). Т.е. газ является дисперсной фазой, а полимер – дисперсионной средой. Иными словами газ равномерно распределен в твердом полимере.

Из названия понятно, что раз «пено», то это должно быть что-то пористое; «поли» - значит много, т.е. полимер из уретановых групп -NHCOO-.

Пористая структура ППУ обычно образуется при взаимодействии гидроксильной и карбоксильной группы полиэфира и полиизоцианата, сопровождающееся выделением углекислого газа (CO₂):



С чем же сравнить образование полиуретановой пены? С обычной мыльной пеной! Таким образом, формирование ячеек происходит следующим образом. Только что образовавшийся пузырек газа, окруженный достаточно толстым слоем жидкости, имеет сферическую форму. Но по мере того как образуются новые пузырьки, газ может диффундировать (проникать) в соседний пузырек, тем самым увеличив его в размере. Постепенно объем пены растет за счет увеличения количества пузырьков и их размеров, а слой жидкости становится все тоньше. И как следствие меняется форма пузырьков из шаровидной в ограниченную несколькими плоскостями (пленками полимера), т.е. в полиэдрическую.

В XIX веке изучением строения мыльной пены всерьез увлекся бельгийский учёный Жозеф Плато. Он первым обратил внимание на то, что в каждом ребре, разделяющем пенные многогранники, всегда сходятся три плёнки, ни больше и ни меньше. Оказалось, что сами плёнки — двойные, а рёбра между ними — это каналы, заполненные жидкостью.

Пена состоит из множества пузырей, которые соприкасаются друг с другом. Наиболее выгодной формой мыльного пузыря в составе пены с точки зрения минимизации поверхностного натяжения оказался додекаэдр. Он напоминает угловатый шар, образованный из 12 соединённых гранями пятиугольников.

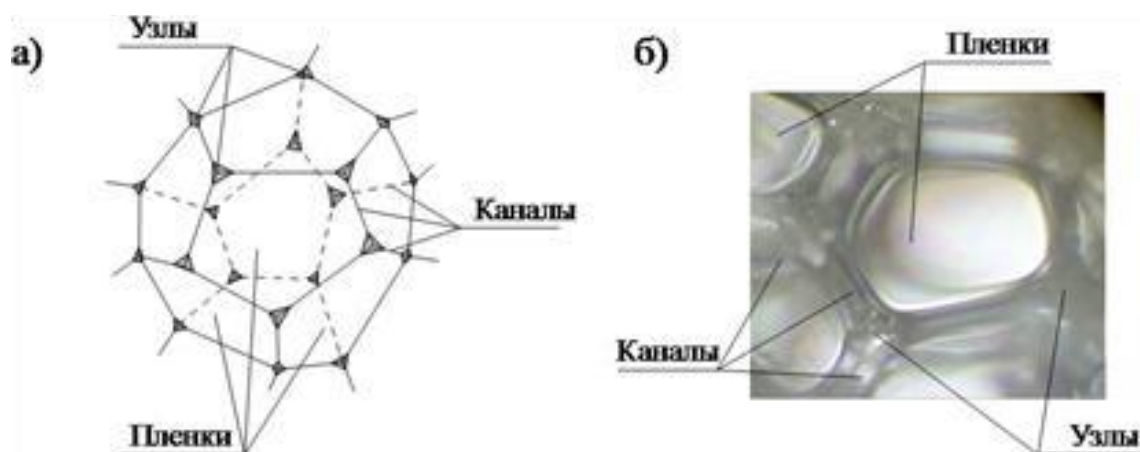


Рис.2. Элементарная ячейка пенополиуретана: а) схема, б) микрофотография (увеличение x300).

2. Свойства пенополиуретанов

Как мы уже выяснили, пенополиуретан является одной из разновидностей пенопласта (газонаполненной пластмассы). Он производится с помощью вспенивания жидкого состава, который затем застывает. Пенополиуретан состоит из большого количества ячеек, заполненных газом — чистым углекислым газом, воздухом или каким-либо другим. Этот

материал он на девяносто восемь процентов состоит из газа, заполняющего ячейки. Оставшийся небольшой процент – это сам полимер.

Структуру и свойства полиуретанов можно менять в широких пределах путем подбора соответствующих исходных веществ. Они относятся к числу тех немногих полимеров, у которых можно направленно регулировать свойства, это дает возможность получать из полиуретанов самые разнообразные материалы.

Существует два основных вида пенополиуретана:

- закрытопористый;
- открытопористый.

Именно это определяет свойства, а значит и область применения материала. Первый состоит из закрытых ячеек, которые наполнены газом, обеспечивающим расширение состава. И этот же газ является залогом низкой теплопроводности материала. Такой вид пенополиуретана наиболее жесткий и прочный. Кроме того, он служит защитой от пара, влаги и воздуха. Он чаще используется для теплоизоляции. Открытопористый пенополиуретан состоит из эластичных ячеек, связанных между собой. Он не такой плотный и по структуре напоминает губку (поролон), этот материал является эластичным.

3. Жесткий пенополиуретан в сэндвич панелях

Несмотря на то, что жесткий пенополиуретан обладает уникальным комплексом эксплуатационных характеристик, опыт применения его в строительстве определен сравнительно малой долговечностью. Как правило, в процессе эксплуатации зданий и сооружений приходится не раз менять теплоизоляционные материалы, которые со временем приходят в негодность. Это приводит к значительным экономическим затратам, а в некоторых случаях, чтобы поменять утеплитель приходится полностью демонтировать всю конструкцию.

Современных стройматериалов для строительства энергоэффективных частных домов по приемлемой цене на рынке имеется немало. И далеко не последнее место среди них занимают сэндвич панели с утеплителем из ППУ (рисунок 3). Малоэтажные дома из этого конструкционного материала являются более экономически выгодными по сравнению с бетонными и кирпичными строениями. Долговечность конструкции зависит от свойств материалов, используемых в конструкции здания. Срок службы конструкции из ориентированно-стружечных плит составляет около 100 лет. Основу несущей конструкции здания составляет деревянный каркас. Если обеспечены оптимальные эксплуатационные условия, то срок службы деревянных конструкций практически неограничен. Главное условие долговечности - правильное проектирование, строительство и эксплуатация.

Поэтому повышение срока службы ППУ является актуальной задачей. Одним из путей решения проблемы повышения долговечности теплоизоляции из пенополиуретана может быть введение твердых дисперсных (порошкообразных) наполнителей в составы традиционных пенополиуретанов. При этом, качестве наполнителей могут быть использованы отходы металлургического производства – конвертерные шлаки, решая тем самым проблему экологической и экономической эффективности строительных композитов.



Рис.3. Индивидуальный одноэтажный жилой дом из сэндвич панелей с изоляционным слоем из пенополиуретана

Стандартная сэндвич панель состоит из двух листов ориентированно - стружечной плиты OSB-3 (англ. oriented strand board - ориентированно-стружечная плита), пространство между которыми заполнено вспененным полиуретаном (рисунок 4).

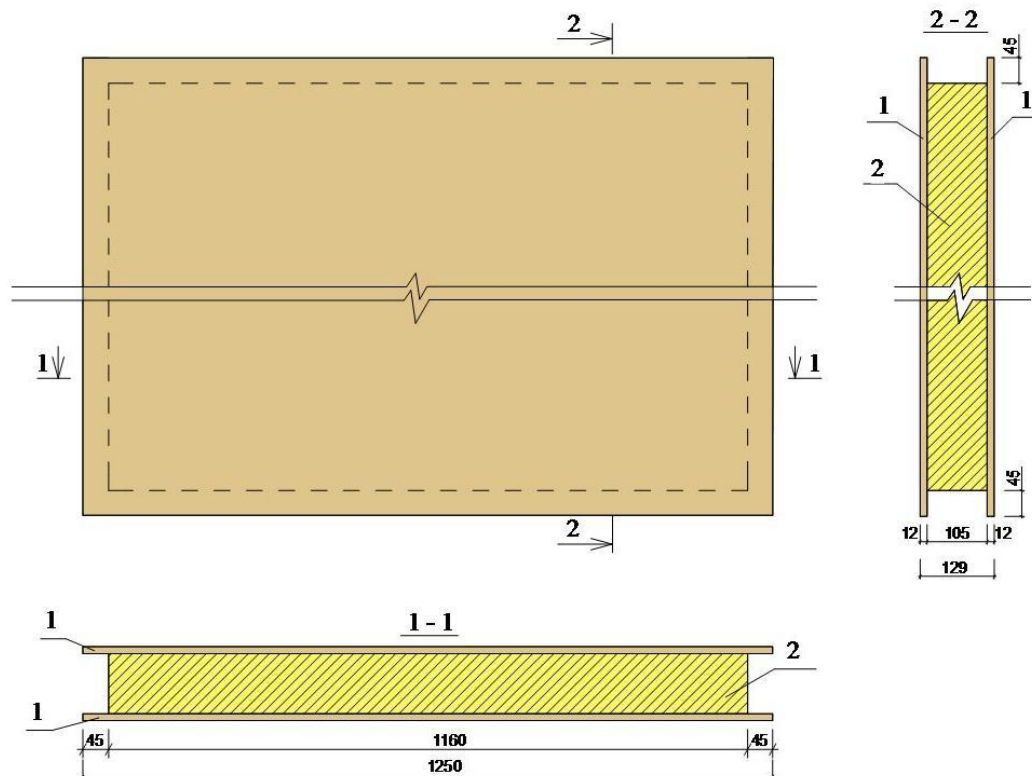


Рис.4. Общий вид сэндвич панели:
 1 – плита OSB-3 размером 1250 × 2800 мм; 2 – наполненный пенополиуретан

Чем же отличается OSB от других плитных материалов? Существенным отличием плит OSB является то, что прочностные характеристики и способность удерживать крепеж обеспечиваются не столько за счет связующего, сколько за счет характера расположения щепы. Так, деревянного каркаса потребовалась легкая и прочная обшивка, способная выдерживать действие влаги и солнечного излучения. Традиционная древесно-стружечная плита (ДСтП) для этого не подходила. Она слишком тяжелая и боится влаги. Натуральная древесина для наружной отделки подходит, но ее монтаж нетехнологичен (занимает много времени). Решение было найдено, когда вместо беспорядочного смешивания опилок и стружки применили технологию ориентированной послойной укладки длинной щепы. Связующим веществом для нее стал клей на основе формальдегидных смол.

Существует несколько разновидностей данного материала. Первый уровень различий относится к классу плит, обозначаемому цифрами от 1 до 4:

1. **OSB-1** – материал низкого класса прочности. Такие плиты можно использовать только в сухих помещениях в конструкциях, которые не несут нагрузку (мебель, обшивка).
2. **OSB-2** — допускается применение для возведения несущих конструкций в сухих помещениях.
3. **OSB-3** предназначены для эксплуатации под нагрузкой в условиях повышенной влажности.
4. **OSB-4** рассчитаны на влажную среду и интенсивные механические воздействия.

Но вернемся к утеплителю. Каким же образом можно приформовать пенополиуретан к поверхности плиты OSB? Все очень просто! ППУ обладает кроме всего прочего таким замечательным свойством как АДГЕЗИЯ, проще говоря, это прочность сцепления, или если хотите прилипания пенополиуретана к поверхности почти всех известных материалов (дерево, металл, пластик и т.д.). Таким образом, не нужно никаких дополнительных операций, не нужен никакой клей!

Для производства сэндвич панелей с утеплителем из пенополиуретана используют машину высокого давления (рисунок 5).



Рис.5. Машина заливочная высокого давления

Заливка смеси производится вручную путем перемещения заливочной головки в течение 29...30 с, за это время выливается около 9,8...10 кг полиуретана (для панели размером 2800 ×1250 мм). Затем устанавливается верхняя ориентированно-стружечная плита OSB3, форма закрывается с помощью запорных устройств, расположенных вдоль формы на расстоянии не более 40 см, что обусловлено выделением большого количества тепла и высоким давлением при вспенивании полиуретана. Через 40 минут панель извлекают и выдерживают в течение 24 часов для набора прочности, после чего отправляют на склад готовой продукции.

Сэндвич панели с утеплителем из пенополиуретана имеют высокие показатели прочности, которые позволяют использовать их для строительства малоэтажных зданий.