

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СООРУЖАЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Б.И. Мандров, А.С. Влеско, О.М. Ужакина, Д.М. Радченко

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Защита окружающей среды от воздействия продуктов технических объектов является актуальной проблемой. Применение геомембраны из полимерного материала для предотвращения загрязнения окружающей среды позволяет решить эту проблему. Наиболее целесообразно для этих целей использовать полиэтиленовые листы марки ПЭНД.

Ключевые слова: окружающая среда, геомембрана, фильтрация, хвостохранилища, технико-экономические показатели

THE USE OF POLYMERIC MATERIALS TO CONSTRUCT TECHNICAL FACILITIES FOR THE PROTECTION OF THE ENVIRONMENT

B.I. Mandrov, A. S. Vlasko, O.M. Uzhakina, D.M. Radchenko

The Altai state technical university of I.I. Polzunov, Barnaul

Protection of environment from exposure to products of technical objects is an important issue. The use of geomembrane from polymer material to prevent contamination of the environment allows to solve the problem. It is most expedient to use for this purpose polyethylene sheets HDPE brand.

Keywords: environmental, geomembrane, filtration, tailings, technical co-economic indicators

В горно-обогатительном производстве возникают проблемы с одной из основных оболочек биосферы - гидrolитосферой, которая в значительной мере влияет на живую природу. Крайне неблагоприятная ситуация с водными ресурсами во многом связана с интенсивной добычей минеральных ресурсов, их обогащением и необходимостью хранения отходов. Например, при разработке калийных месторождений возникает необходимость извлечения полезного компонента за счет обогащения добытой руды. Существующие методы обогащения руды приводят к образованию больших объемов поваренной соли, сгущенных нерастворимых остатков, а также хлорид-содержащих сточных вод, которые за счет фильтрации наносят большой ущерб окружающей среде. Сточные воды, образующиеся при обогащении калийных руд, входят в четверку промышленных отходов наиболее сильно воздействующих на окружающую среду.

Для снижения вредного влияния отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК) и их утилизации производится строительство спе-

циальных хранилищ (хвостохранилищ), представляющих собой - комплекс специальных сооружений и оборудования, предназначенный для хранения или захоронения токсичных и других отвальных отходов обогащения руды, именуемых хвостами. На ГОК из поступающей руды получают концентрат, а отходы переработки перемещают в хвостохранилище.

В коммунальном хозяйстве возникает схожая проблема, связанная с утилизацией твердых бытовых отходов (ТБО), которые под действием атмосферных осадков образуют агрессивные сточные воды, наносящие при фильтрации большой ущерб окружающей среде. Для хранения отходов строят полигоны ТБО.

При сооружении различных технических объектов для работы с жидкотекучими материалами важным фактором являются фильтрационные свойства материалов, из которых будут изготавливаться данные объекты. Поскольку хранимые жидкости могут нанести вред окружающей среде, приходится принимать меры, предотвращающие проникновение за счет фильтрации веществ, способных при-

чинить такой вред. В тоже время для строящихся объектов попадание извне за счет фильтрации жидких компонентов может привести к нарушению нормального строительства или эксплуатации сооружения. К вышеперечисленным объектам можно отнести гидротехнические сооружения, бетонные полосы аэродромов, автомобильных дорог и т.п.

Фильтрация представляет собой движение жидкости (воды, нефти) или газа (воздуха, природного газа) сквозь пористую среду. Фильтрация жидкостей в грунтах имеет большое значение в строительстве гидротехнических сооружений, в мелиорации, водоснабжении, при добыче нефти и газа.

Жидкости за счет своих свойств способны проникать сквозь вещества, имеющие пористое или неоднородное строение. Свойства воды в грунте могут быть различными в зависимости от ее содержания в грунте и величины сил взаимодействия с минеральными частицами, определяемыми, главным образом, гидрофильностью минеральных частиц. Самые близкие к минеральной частице слои в 1-3 ряда молекул воды, соприкасающихся с твердой поверхностью, образуют пленки, так называемой прочносвязанной адсорбированной воды. Следующие слои молекул воды, окружающие минеральные частицы, будут связаны с граничной фазой меньшими силами и образуют слои рыхлосвязанной воды, которые поддаются выдавливанию из пор грунта внешним давлением.

Кроме того, присутствует капиллярная вода, поднимаемая на некоторую высоту силами капиллярного натяжения. Такое состояние воды под землей возникает при условии полного заполнения пор. Если диаметр поры не превышает 1 мм (так называемые капиллярные поры), то вода будет находиться под влиянием молекулярных сил и сил поверхностного натяжения, получивших в данном случае название капиллярных сил.

Столб воды, заполняющий капиллярную пору, ограничен сверху и снизу вогнутыми поверхностями - менисками. Каждый из этих менисков действует подобно всасывающему насосу, стремясь сдвинуть весь столбик воды в свою сторону. Пока пора заполнена водой на небольшом протяжении, действия верхнего и нижнего менисков уравновешивают друг друга, и вода остается неподвижной, находясь как бы в подвешенном состоянии. Такие висячие капиллярные воды очень распространены в природе. К ним в большинстве случаев относятся почвенные воды, обуславливающие влажность почвы.

На некоторой глубине, где поры породы целиком заполнены жидкой водой, она может подниматься по капиллярным порам в вышележащую часть породы на значительную высоту. Это происходит потому, что в данном случае нижнего мениска в поре не существует, а верхний мениск как бы засасывает воду вверх с тем большей силой, чем меньше диаметр поры. Поэтому величина капиллярного поднятия воды наибольшая в тонкозернистых, а, следовательно, и тонкопористых породах - суглинках и глинах - и значительно меньше в песках. В галечниках капиллярное поднятие практически отсутствует, так как подавляющее большинство пор имеют диаметр более 1 мм. В тоже время глина под действием капиллярных сил всасывает в себя воду на высоту подъема воды до 30 м. В еще более мелкозернистой породе - литографском сланце - подъем воды в капиллярах может осуществляться на высоту до 50 м.

Противоположное явление происходит в том случае, если порода с капиллярными порами будет, сверху залита водой, имеющей свободную поверхность. Так бывает, например, после дождей, когда образуются лужи. В капиллярных порах породы под такими лужами нет верхних, а есть лишь нижние мениски. Они как бы засасывают воду на глубину, способствуя ее инфильтрации даже в слабопроницаемые породы. Это явление играет очень большую роль в образовании подземных вод за счет атмосферных осадков.

Молекулы воды, находящиеся вне сферы действия электромолекулярных сил взаимодействия с поверхностью минеральных частиц, будут образовывать гравитационную воду, движение которой происходит под действием напора. Такое состояние подземной воды наступает в крупнопористых породах, при диаметре пор более 1 мм. В таких порах даже при неполном заполнении их водой последняя начинает перемещаться под влиянием силы тяжести (гравитация), если толщина водной пленки, покрывающей стенки пор, достаточно велика. Тем более это касается случая полного заполнения крупных пор, когда вода практически целиком движется под воздействием силы тяжести, т. е. течет в сторону уклона ложа. Именно эти гравитационные воды только и являются водами свободными, тогда как капиллярные, а особенно пленочные воды все же, хотя и рыхло, но связаны с горной породой.

Водопроницаемость горных пород связана с пористостью сложной зависимостью и определяется не столько общей пористостью,

сколько средними размерами пор, их поперечниками. Размеры пор в случае рыхлых пород в известной мере также зависят от гранулометрического состава — чем крупнее зерно, тем легче проницаема порода для гравитационной воды. Степень водопроницаемости породы принято характеризовать коэффициентом фильтрации, или коэффициентом водопроницаемости, указывающим скорость, с которой гравитационная вода просачивается через породу при уклоне подземного потока равном 45° или единице, если за меру уклона брать тангенс этого угла.

Закономерности фильтрации воды в водонасыщенных грунтах при ламинарном режиме течения описываются законом Дарси

$$v = k_f \cdot \text{grad} l \quad (1)$$

где v - линейная скорость фильтрации, см/с; k_f - коэффициент фильтрации, см/с; $\text{grad} l$ - градиент напора, равный отношению величины падения напора (ΔH) к длине пути фильтрации (L), т.е. $\text{grad} l = \Delta H/L$.

Коэффициент фильтрации является основной характеристикой водопроницаемости грунтов и измеряется в см/с или м/сут.

По степени водопроницаемости все горные породы в зависимости от значения коэффициента фильтрации можно разделить на 5 групп или категорий. Пород, при любых условиях, абсолютно не пропускающих воду, в природе не существует. Даже самые плотные глины пропускают гравитационную воду в небольшом количестве. Поэтому породы V категории всегда и характеризуются как непроницаемые, или водоупорные.

Категория I. Хорошо водопроницаемые (галечники, крупнозернистые пески, массивные сильнотрещиноватые и пещеристые породы). Коэффициент фильтрации больше 10 м/сутки.

Категория II. Водопроницаемые (пески, трещиноватые породы). Коэффициент фильтрации 10 - 1 м/сутки.

Категория III. Слабоводопроницаемые (мергели, песчаники, супеси). Коэффициент фильтрации 1-0,01 м/сутки.

Категория IV. Весьма слабопроницаемые или полупроницаемые (глинистые песчаники, супеси, суглинки). Коэффициент фильтрации 0,01- 0,001 м/сутки.

Категория V. Непроницаемые, практически водоупорные породы (глины, нетрещиноватые скальные породы и др.). Коэффициент фильтрации $<0,001$ м/сутки. Породы IV и даже III категории также могут в природе играть роль относительно водоупорных, если они залегают среди более водопроницаемых слоев.

Если сверху лежит песок, а под ним супесь, то вода с поверхности земли легко будет проникать в песчаный слой, а в супесь будет просачиваться с трудом. В результате в нижней части песка над границей с супесью задержится вода, быстро прибывающая сверху и лишь медленно проникающая вниз. Супесь будет служить относительным водоупорным слоем для этой воды.

При строительстве объектов производится выемка и транспортировка грунта, приводящая к нарушению сформированной в предыдущий временной отрезок структуры и плотности грунта и как следствие увеличению коэффициента фильтрации. Это обстоятельство способствует усилению наносимого ущерба окружающей среде. Для уменьшения фильтрации и попадания в гидrolитосферу опасных продуктов на границе объектов целесообразно создавать экран в виде непроницаемой мембраны. В связи с этим целесообразно оценить возможность использования современных полимерных материалов для вышеуказанной цели, используя при этом систему технико-экономических показателей.

При выборе технико-экономических показателей для оценки применимости полимерных материалов с нашей точки зрения следует учитывать:

1. Стойкость полимерного материала в условиях эксплуатации (для оценки срока службы).
2. Механические свойства полимерного материала.
3. Технологические свойства полимерного материала.
4. Возможность применения высокопроизводительных способов соединения полимерных листов (пленки).
5. Стоимость полимерного материала.

В настоящее время полимерные материалы принято делить на два класса - термопласты и реактопласты [1]. Реактопласты при нагреве переходят в вязкотекучее состояние и далее в результате химической реакции переходят в твердое, необратимое состояние. Термопласты представляют собой полимерные материалы, которые размягчаются при нагревании, а при остывании вновь приобретают свои изначальные свойства. Термопласты, в отличие от реактопластов, намного легче поддаются термопрессованию. Необратимый переход реактопластов в твердое состояние существенно снижает их технологические свойства и затрудняет применение в крупных объектах, поэтому далее в качестве защитного слоя сооружений будут рассматриваться

только термопласты. Из термопластов наиболее широко используется поливинилхлорид (ПВХ), полипропилен (ПП), полиэтилен низкого давления (ПЭНД).

Проведем оценку возможности выбора материала для геомембраны из вышеуказанных термопластов на основе сравнения их технико-экономических показателей.

Для оценки химической стойкости ПП, ПВХ, ПЭНД необходимо знать химический состав хранимых продуктов. На примере отвалов хвостов калийного производства рассмотрим этот вопрос. При переработке и обогащении сырья в калийной промышленности на 1 т KCl, производимого из сильвинитовых руд, в отвал уходит от 3 до 4 т галитовых отходов, содержащих помимо основного компонента - NaCl, и другие вещества. Например, при флотационной переработке сильвинитовых руд галитовые отвалы в среднем содержат 89 - 90 % NaCl, 4,4 - 5,0% KCl, 1,1% CaSO₄, 0,1% MgCl₂, и 4,4 - 4,8 % нерастворимого остатка. Следует учесть, что отвалы хранятся под открытым небом и активно взаимодействуют с атмосферными осадками с образованием соляных растворов.

Анализ источников информации [2, 3, 4] показал, что ПП, ПЭНД обладают одинаковой стойкостью по отношению к вышеуказанным химическим соединениям отвалов хвостов калийного производства. Стойкость ПВХ к воздействию NaCl (основной компонент галитовых отвалов) ниже чем у ПП, ПЭНД, поэтому дальнейший анализ ПВХ в качестве материала для геомембраны проводится не будет (соединение листов ПВХ в геомембрану также затруднено). Таким образом, с точки зрения химической стойкости как ПП, так и ПЭНД могут быть использованы для сооружения геомембраны.

Важным показателем применимости материала для геомембран является морозостойкость. ПП имеет морозостойкость – 25 °С и в этом отношении значительно уступает ПЭНД, который может работать во всех природно-климатических условиях Российской Федерации.

Проведем сопоставление механических свойств ПП, ПЭНД для рассмотрения вопроса о возможности их применения в качестве материала геомембраны. По данным ТУ 2246-001-56910145-2014 полиэтилен марки ПЭНД имеет значение прочность при растяжении равным 27 МПа, а полипропилен марки каплен 01003 согласно ТУ 2211-020-00203521-96 имеет такой же показатель рав-

ным 32 МПа. Это означает, что полипропиленовым листам может быть отдано предпочтение как более прочным. Однако при расчетах толщины листа геомембраны величина допускаемого напряжения полимерных материалов для постоянных сооружений согласно нормативной документации на проектирование СН 551 - 82 принимается равной 0,5 МПа. Это обстоятельство в значительной мере нивелирует прочностные преимущества полипропилена над полиэтиленом. Сравним значение относительного удлинения ПП и ПЭНД при достижении растягиваемыми образцами предела текучести - ПП соответственно 11%, ПЭНД соответственно 18% (по данным наших испытаний). Относительное удлинение при разрушении ПП соответственно (100 - 300) %, ПЭНД соответственно не менее 700%. Таким образом, с точки зрения показателей механических свойств как ПП, так и ПЭНД могут быть использованы для сооружения геомембраны.

Сопоставим технологические свойства полимерных материалов ПП и ПЭНД. Оба материала хорошо обрабатываются механическими методами (резка ножом, ножницами; сверление и т.п.), что имеет большое значение при сооружении геомембраны.

Важным технологическим свойством для сварных конструкций является способность к образованию соединений. Ее оценка обычно производится по показателю текучести расплава (далее ПТР), по величине температурного диапазона перехода полимера в вязкотекучее состояние, термостабильности и прочности сварного соединения. При экструзионной переработке (сварке) и сварке нагретым инструментом ПТР должен быть в диапазоне от 0,3 до 1,2 г/10 мин. ПЭНД имеет значение ПТР 0,75 г/10 мин., что соответствует вышеуказанному диапазону. Материал полипропиленовых листов имеет большой разброс показателя ПТР, поэтому для геомембран следует использовать марки 01003, 01007 или другие с ПТР требуемого уровня.

Для получения сварного соединения высокого качества температурный диапазон перехода полимера в вязкотекучее состояние должен быть ~ 50 °С. Оба полимера имеют оптимальный температурный диапазон 50 °С, однако температура начала перехода у ПЭНД составляет 120 °С, а у ПП 170 °С. Это требует более высоких температур расплава полипропилена или температуры нагретого инструмента при сварке ПП. Термостабильность ПП при температуре 250 °С должна быть не менее 20 мин. Термостабильность ПЭНД при температуре 200 °С должна быть не менее 20 мин.

Данные показывают, что термостабильность ПП выше такого же показателя ПЭНД.

Прочность сварного соединения при сооружении геомембраны обычно указывают в процентах от прочности основного материала. Ее значение по нормативным документам или пояснительным запискам проектов, должно составлять от 60 до 80%. Наши эксперименты показали, что при отсутствии повреждений поверхности листа геомембраны на глубину более 10% толщины и соблюдении технологии (подготовка материалов, сборка под сварку и сварка) основной материал и сварные швы имеют одинаковую прочность. Это обеспечивается всеми рекомендованными для этого объекта способами сварки, кроме прутковой сварки нагретым газом.

Хвостохранилища, искусственные водоемы, полигоны для хранения ТБО имеют большую площадь геомембраны, что обуславливает большую протяженность сварных швов, так, например, на 3000 м² геомембраны приходится около 500 м сварных швов. В связи с этим для изготовления геомембраны требуется высокопроизводительное сварочное оборудование. В настоящее время серийно выпускается такое оборудование для сварки нагретым клином, например, сварочные аппараты Твинни S, Астро имеют скорость сварки до 4 м/мин. Такое оборудование позволяет достаточно эффективно сваривать протяженные швы геомембран. Швы малой протяженности могут быть сварены в полевых условиях высокопроизводительным оборудованием для экструзионной сварки. Вышеперечисленное оборудование может быть использовано как для сварки ПП, так и для сварки ПЭНД.

Сопоставим стоимость ПП и ПЭНД на основе данных прайс-листов, приводимых в Интернет-ресурсах. Сопоставление показывает, что цена 1 кг полипропилена на 25-30 рублей выше, чем у полиэтилена.

Следует отметить, что при разрушении геомембраны может быть нанесен существенный ущерб окружающей среде, поэтому согласно перечню объектов Национального Агентства и Контроля Сварки (НАКС) геомембрана относится к промышленно опасным объектам «Строительные конструкции п.4.

Конструкции и трубопроводы из полимерных материалов», а полиэтилен марки ПЭНД, рекомендуемый для геомембраны может быть отнесен согласно таблице 2 Приложения 17 [7] к группе материалов М00.

Таким образом:

1. Хранение промышленных отходов может сопровождаться загрязнением окружающей среды через фильтрацию воды в зоне хранилища.
2. Наиболее эффективным методом защиты окружающей среды от вредного воздействия отходов может быть устройство защитной геомембраны из полимерного материала.
3. В качестве материала геомембраны для хвостохранилищ при обогащении силинита эффективнее использовать полиэтилен марки ПЭНД, так как он имеет меньшую стоимость, чем полипропилен при близких показателях химической стойкости, механических и технологических свойств, а также более высокую морозостойкость.
4. Геомембрана является промышленно опасным объектом «Строительные конструкции п.4. Конструкции и трубопроводы из полимерных материалов», а полиэтилен марки ПЭНД, рекомендуемый для геомембраны может быть отнесен к группе материалов М00.

Список литературы:

1. Лукасик В.А., Технология переработки и оценка свойств термо - и реактопластов: учебное пособие/В.А. Лукасик, В.П. Медведев. - Волгоград, Изд-во ВолгГТУ, 2005. – 114 с.
2. Интернет-ресурс www.krispi.ru
3. СН 550-82 Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб.
4. Интернет-ресурс www.ostendorf-kunststoffe.com/
5. СН 551-82 Инструкция по проектированию и строительству противofильтрационных устройств из полиэтиленовой пленки для искусственных водоемов.
6. www.poliamid.ru/polipropilen.
7. РД 03 – 495 – 02 Технологический регламент проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства.