

**А.В. ЕРЕМЕЕВ, А.П. ГУРЬЕВ, Н.В. ХАНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, г. Москва, Российская Федерация

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОМАТА С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ЩЕБНЯ И БИТУМ-ПОЛИМЕРА**

*В гидротехническом строительстве широкое применение нашли геосинтетические материалы. В статье рассмотрено исследование фильтрационных характеристик нового геосинтетического материала – геомата, заполненного щебнем и битум-полимерным вяжущим. Дано описание и фото уникальной экспериментальной установки для исследования, а также подробно описан процесс подготовки к эксперименту исследуемого материала и установки. Представлена методика определения коэффициента фильтрации для тонкого противозэрозийного материала. Описан расчёт и результаты проведённого исследования. Указана зависимость коэффициента фильтрации от напора над исследуемым материалом. Получен коэффициент фильтрации для исследуемого покрытия при напорном и свободном режиме фильтрации. Даны рекомендации для дальнейших исследований фильтрационных характеристик тонких противозэрозийных покрытий.*

*Противозэрозийное покрытие, геомат, битум-полимер, битум, эрозия, фильтрация, коэффициент фильтрации, откос.*

**Введение.** В настоящее время для защиты гидротехнических сооружений от водной эрозии применяются разнообразные современные геосинтетические материалы. Основными преимуществами таких материалов является их долговечность, сокращение сроков строительства и упрощение производства работ [1, 2]. Одним из таких материалов является геомат, заполненный щебнем и битум-полимерным вяжущим [3]. Для проектирования сооружений с применением этого защитного покрытия необходимо знать ряд характеристик материала, одной из которых является коэффициент фильтрации. В настоящее время ни в одной нормативной базе нет информации о коэффициенте фильтрации для подобных покрытий, поэтому целью настоящего исследования стали фильтрационные исследования геомата. Исследования проводились в лаборатории водопропускных сооружений кафедры гидротехнических сооружений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева», на экспериментальной установке по исследованию фильтрационных характеристик материала.

### **Материал и методы исследований.**

Как правило, большинство распространенных методик по определению коэффициента фильтрации рассчитаны на грунты

и сыпучие материалы. Для исследования фильтрационных характеристик тонкого противозэрозийного покрытия предлагается рассмотреть фильтрацию в нескольких слоях исследуемого материала.

Для определения коэффициента фильтрации в геомате, заполненном щебнем и битум-полимерным вяжущим, осреднённая толщина которого составляет 2,2 см, был использован модифицированный прибор Дарси [4, 5] для измерения фильтрационных характеристик грунта, который изображён на рисунке 1. Установка для исследования фильтрационных свойств геомата включала в себя цилиндр высотой 50 см квадратного поперечного сечения с внутренними размерами 10 × 10 см, выполненный из органического стекла. Цилиндр опирался на короб, в одной из стен которого был выполнен треугольный вырез с углом 90°, который выполнял роль треугольного водослива для измерения расходов профильтровавшейся воды, порог водослива имел высоту 4 см. На двух взаимно противоположных гранях цилиндра было установлено оппозитно по 6 пьезометров с шагом по 2,2 см, соответствовавшим толщине исследованного материала. Пьезометры на одной из сторон были смещены относительно оппозитных пьезометров на 1,1 см, что соответствовало половине толщины материала. В нижнем сечении цилиндра располагалась решетка из проволоки

для предотвращения выпадения исследуемого материала, размер ячейки решётки составлял  $2 \times 2$  см. Внутренние размеры опорного короба составляли  $38 \times 20 \times 14$  см.



Рис. 1. Фото экспериментальной установки для определения фильтрационных характеристик

Геомат, заполненный щебнем и битум-полимерным вяжущим, был распилен на образцы размером  $10 \times 10$  см, которые соответствовали внутреннему сечению цилиндра фильтрационной установки. Образцы исследуемого материала размещались послойно друг на друге на опорной решётке. Для предотвращения фильтрации воды через зазоры между боковыми гранями исследуемых образцов и стенками цилиндра по торцам каждого слоя исследуемого образца выполнялась герметизация гидроизолирующим материалом.

Для получения более объективных результатов измерения пьезометрического напора с одной стороны цилиндра замеры выполнялись между слоями материала, а с другой стороны – смещёнными пьезометрами внутри слоя, для чего посередине толщины каждого образца просверливались отверстия, в которые вставлялись пьезометрические трубки. Подача воды в цилиндр осуществлялась с помощью шланга с регулируемым расходом, что позволило определить фильтрационные характеристики при напорах от 5,3 до 32,29 см, чему соответ-

ствовали градиенты давления для исследованного пакета образцов от 4,3 до 51,2 см.

Определение фильтрационных характеристик исследуемого защитного покрытия проводилось для напорного и свободного режима фильтрации [6]. Для каждого режима фильтрации было выполнено по 8 серий замеров от максимального до минимального напора над материалом. Потери напора по длине фильтрующегося потока определялись при помощи показаний соответствующих пьезометров, измеряющих давление воды внутри и между слоями материала [7]. Коэффициент фильтрации рассчитывался по формуле (1) [8, 9]:

$$k = \frac{V_{\phi}}{J} \text{ (см/с)}. \quad (1)$$

Скорость фильтрации  $V_{\phi}$  см/с определялась по форму (2):

$$V_{\phi} = \frac{Q}{\omega} \text{ (см/с)}, \quad (2)$$

где:  $\omega$  – площадь поперечного сечения  $\omega = 100 \text{ см}^2$ .

Расход профильтровавшейся воды определялся по формуле [10] (3):

$$Q = 14 \cdot h^{2,5} \text{ (см}^3\text{/с)}, \quad (3)$$

где:  $h$  – напор на треугольном водосливе.

Пьезометрический уклон определялся по формуле (4):

$$J_{i,i+1} = \frac{H}{l_{i,i+1}} = \frac{H_i - H_{i+1}}{l_{i,i+1}}, \quad (4)$$

где:  $H_i$  и  $H_{i+1}$  – показания пьезометров  $i$  и  $i + 1$ ,  $l_{i,i+1}$  – расстояние между пьезометрами  $i$  и  $i + 1$ .

**Результаты исследований и обсуждение.** Расчёты коэффициента фильтрации выполнялись для 8 напоров при напорном и свободном режиме фильтрации. На рисунке 2 представлена зависимость расхода воды от напора для напорного и свободного режима фильтрации, синими точками показаны расчётные данные, полученные вследствие эксперимента, синей линией выполнена аппроксимация этих значений линейной функцией.

Согласно зависимостям, представленным на рисунке 2 видно, что изменение расхода относительно напора носит линейный характер. По полученным расходам по формуле (2) определялась скорость профильтровавшейся воды. По напорам, полученным с показаний пьезометров, по формуле (4) рассчиты-

вались пьезометрические уклоны. Для каждого напора по формуле (1) рассчитывалось по 10 значений коэффициентов фильтрации. После этого строилась зависимость коэффициента фильтрации от пути фильтрации для расчётного напора, после чего путём числен-

ного интегрирования находился средний коэффициент фильтрации для каждого напора. В итоге были построены графики зависимости средних значений коэффициентов фильтрации от напоров над исследуемым материалом, представленные на рисунках 3 и 4.

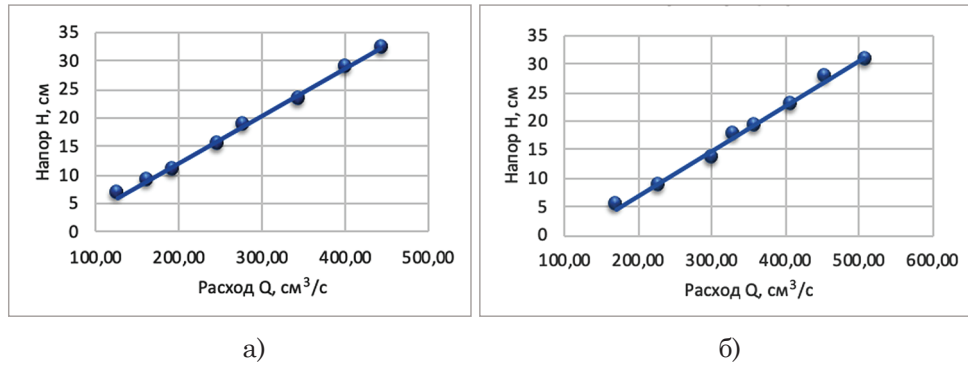


Рис. 2. Зависимость расхода фильтрации ( $Q \text{ см}^3/\text{с}$ ) от напора над материалом в стакане: а) при напорном режиме фильтрации; б) при свободном режиме фильтрации

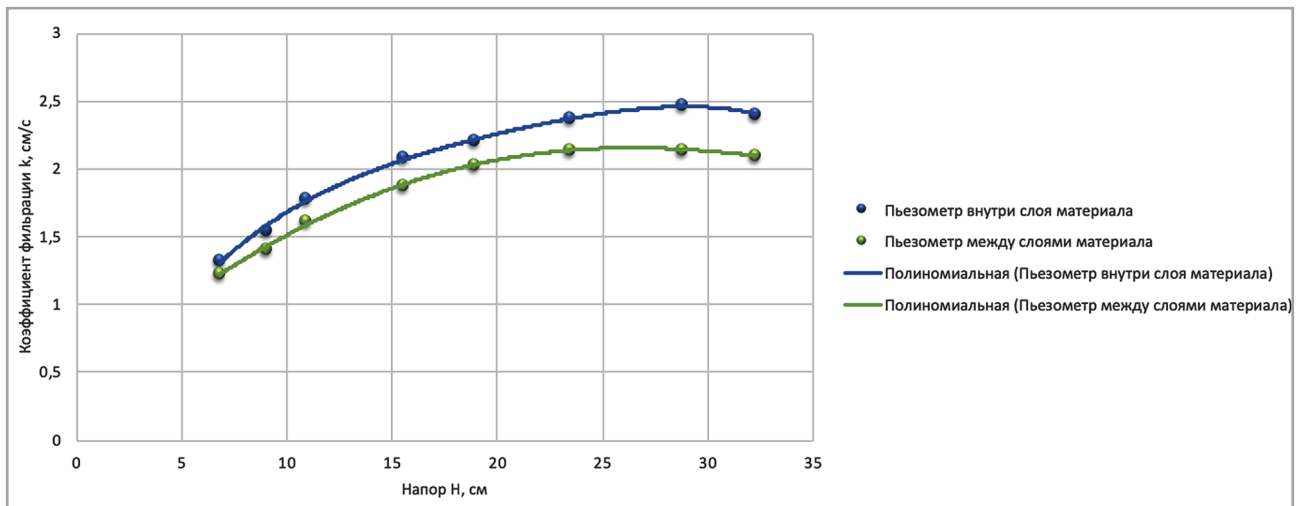


Рис. 3. Зависимость коэффициента фильтрации  $k$  от напора  $H$  (при напорном режиме фильтрации)

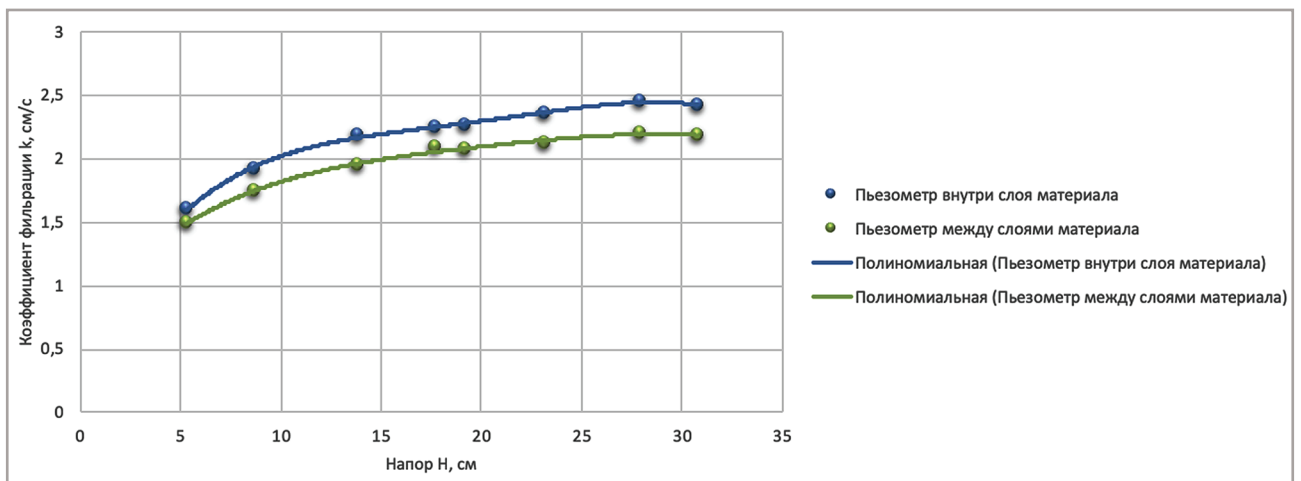


Рис. 4. Зависимость коэффициента фильтрации  $k$  от напора  $H$  (при свободном режиме фильтрации)

Для полученных значений коэффициента фильтрации выполнялась аппроксимация по степенному закону. Синей линией показана аппроксимация коэффициентов фильтрации для значений, полученных от пьезометров, расположенных внутри слоя материала, а зелёной линией – от пьезометров, расположенных между слоями материала. На рисунках 3 и 4 видно, что при малых напорах коэффициент фильтрации значительно уменьшается. Это можно объяснить тем, что при уменьшении фильтрационного расхода фильтрация через исследуемые образцы материала осуществляется не по всей площади, а по участкам с минимальными гидравлическими сопротивлениями. Визуально этот эффект сопровождается появлением участков на нижнем слое, свободных от фильтрационного потока.

Чтобы исключить появление ошибки в определении коэффициентов фильтрации, результаты этих экспериментов не учитывались при окончательных расчётах. Эти эксперименты оставлены на дальнейшее исследование с целью определения действительных площадей, занятых фильтрационным потоком.

Проанализировав полученные данные с учётом исключения значения коэффициента фильтрации при неполных площадях фильтрации, путём численного интегрирования был выполнен расчёт итогового коэффициента фильтрации исследуемого покрытия.

Исходя из вышесказанного, для ковры геомата, заполненного щебнем и битум-полимерным вяжущим, можно рекомендовать к применению коэффициент фильтрации для свободного режима фильтрации:

$$k_{\phi} = 2,34 \text{ см/с}$$

для напорного режима фильтрации:

$$k_{\phi} = 2,24 \text{ см/с.}$$

### Выводы

В результате экспериментов были получены коэффициенты фильтрации для напорного  $k_{\phi} = 2,24 \text{ см/с}$  и свободного режима  $k_{\phi} = 2,34 \text{ см/с}$  для тонкого противозерозионного материала на примере геомата, заполненного щебнем и битум-полимерным связующим. Как видно из результатов, полученных в данном исследовании, значение коэффициента фильтрации для исследуемого покрытия находятся в промежутке между коэффициентом фильтрации для чистого песка и гравия с размером зерен 2 мм, что находится в пределах данных, представленных в таблице примерных значений коэффициента фильтрации для обычно встречаемых грунтов [7]. Такой результат получился за счёт влияния вяжущего, которое заполняет межпоровое пространство и тем самым понижает коэффициент фильтрации, присущий твёрдому заполнителю в виде щебня с размером зёрен 6 мм. Для дальнейшего изучения фильтрационных характеристик тонких противозерозионных материалов рекомендуется увеличить количество слоёв исследуемого материала и повысить напор над исследуемым материалом для более полного представления фильтрационных процессов.

дуюемого покрытия находятся в промежутке между коэффициентом фильтрации для чистого песка и гравия с размером зерен 2 мм, что находится в пределах данных, представленных в таблице примерных значений коэффициента фильтрации для обычно встречаемых грунтов [7]. Такой результат получился за счёт влияния вяжущего, которое заполняет межпоровое пространство и тем самым понижает коэффициент фильтрации, присущий твёрдому заполнителю в виде щебня с размером зёрен 6 мм. Для дальнейшего изучения фильтрационных характеристик тонких противозерозионных материалов рекомендуется увеличить количество слоёв исследуемого материала и повысить напор над исследуемым материалом для более полного представления фильтрационных процессов.

### Библиографический список

1. Ханов Н.В., Козлов К.Д. Применение геосинтетических материалов при строительстве автомобильных дорог. / Проблемы управления водными и земельными ресурсами. Материалы международного научного форума, ч. 3. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА. – 2015. – С. 90-94
2. Ханов, Н.В., Еремеев А.В. Обзор применения современных геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве. / Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 150-летию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Сборник статей. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА. – 2015. – С. 336-339.
3. Еремеев А.В., Ханов Н.В. Оптимизация структуры геомата с заполнителем из щебня и битум-полимера. // Природообустройство. – 2018. – № 1. – С. 60-63.
4. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика. – М.: Энергия, 1964. – 352 с.
5. Козлов К.Д., Гурьев А.П., Ханов Н.В. Гидравлические исследования покрытия из геокомпозитного материала. // Природообустройство. – 2014. – № 5. – С. 80-86.
6. Гидротехнические сооружения. Учебник: под ред. Розанова Н.П. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.
7. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов. – М.: Высш. шк., 1991. – 447 с.
8. Гидротехнические сооружения. Ч. 1. Учебник для вузов. / Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А. и др. – М.: Изда-



тельство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 576 с.

9. Гидравлика: учебник для вузов: в 2 томах. Т. 2: Напорные и открытые потоки. Гидравлика сооружений / А.Л. Зуйков, Л.В. Волгина – Москва, Изд-во МГСУ, 2015, – 424 с.

10. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П.Г. Киселева. – М.: ЭНЕРГИЯ, 1972. – 211 с.

Материал поступил в редакцию 04.06.2018 г.

### Сведения об авторах

**Еремеев Андрей Викторович**, аспирант кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени

К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44 к3, уч. корпус № 29, e-mail: EAndrey4@yandex.ru

**Гурьев Алим Петрович**, доктор технических наук, профессор кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики, ФГБОУ ВО РГАУ\_МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19, уч. корпус № 28; e-mail: alim\_guryev@mail.ru

**Ханов Нартмир Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидротехнические сооружения», ФГБОУ ВО РГАУ\_МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44 к3, уч. корпус № 29; e-mail: nvkhanov@yahoo.com

**A.V. EREMEEV, A.P. GURJEV, N.V. KHANOV**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian University-MAA named after C.A. Timiryazev», Institute of land reclamation, water management and building named after A.N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

## RESEARCH OF FILTRATION CHARACTERISTICS OF GEOMAT WITH A CRUSHED STONE AND BITUM-POLIMER FILLER

*In hydro technical construction geo synthetic materials are widely used. The article considers investigations of filtration characteristics of a new geo synthetic material – geomat filled with a crushed stone and bitumen – polymeric binder. There is given a description and photo of the unique experimental research plant as well as the preparation process of the researched material and plant for the experiment is described in detail. There is presented a technique of determination of the filtration coefficient for a thin erosion-preventive material. Calculation and results of the conducted research are described. The dependence of the filtration coefficient on the pressure over the studied material is shown. The filtration coefficient for the studied coating at the pressure head and non-pressure mode of filtration is received. There are given recommendations for further researches of filtration characteristics of thin anti-erosion coatings.*

*Anti-erosion coating, geomat, bitumen-polymer, bitumen, erosion, filtration, filtration coefficient, slope.*

### References

1. **Khanov N.V.** Primenenie geosinteticheskikh materialov pri stroitelstve avtomobilnyh dorog / N.V. Khanov, K.D. Kozlov // Problemy upravleniya vodnymi i zemelnymi resursami. Materialy mezhdunarodnogo nauchnogo foruma, chast 3. – М. – Изд-во РГАУ-МСХА. – 2015. – С. 90-94а

2. **Eremeev A.V., Khanov N.V.** Optimizatsiya struktury geomata s zapolnitelem iz shhebnya i bitum-polimera / A.V. Eremeev, // Prirodoobustrojstvo. – 2018. – No 1. – С. 60-63.

3. **Agroskin I.I.** Gidravlika / Agroskin I.I., Dmitriev G.T., Pikalov F.I., – М.: Энергия, 1964. – 352 с.

4. **RozaNov N.P.** Gidrotehnikheskie sooruzheniya / RozaNov N.P., Bochkarev Ya.V., Lapshenkov V.S, Zhuravlev G.I., Kaganov G.M., Rummyantsev I.S. – М.: Agropromizdat, 1985. – 432 с.

5. **Ivanov P.L.** Grunty i osnovaniya gidrotehnikheskikh sooruzhenij. Mehanika gruntov / Ivanov P.L. – М.: Vyssh. shk., 1991. – 447 с.

6. **Rasskazov L.N.** Gidrotekhnicheskije sooruzheniya, Chast 1. Uchebnik dlya vuzov. / Rasskazov L.N., Orekhov V.G., Aniskin N.A., Malakhanov V.V., Bestuzheva A.S., Sainov M.P., Soldatov P.V., Tolstikov V.V. – М.: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnyh vuzov, 2008. – 576 с.

7. **Kiselev P.G.** Spravochnik po gidravlicheskim raschyotam / P.G. Kiselyov, A.D. Altshul, N.V. Danilchenko, A.A. Kasparson, G.I. Krivchenko, N.N. Pashkov, S.M. Slisskij. – M.: ENERGIYA, 1972. – 211 s.

The material was received at the editorial office  
04.06.2018 g.

#### Information about the authors

**Eremeev Andrey Viktorovich**, post graduate student, the chair of “Hydraulic engineering constructions”, 127550, Moscow,

Bolshaya Akademicheskaya St., 44 e-mail: EAndrey4@yandex.ru

**Gurjev Alim Petrovich**, doctor of technical sciences, professor, the chair of «Complex use of water resources and hydraulics», 127550, Moscow, Pryanishnikova St., 19, e-mail: alim\_guryev@mail.ru

**Khanov Nartmir Vladimirovich**, doctor of technical sciences, professor, head of the chair «Hydraulic engineering constructions», 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya St., 44 k3, case No 29; e-mail: nvkhanov@yahoo.com

УДК 502/504: 69.059.64

DOI 10.26897/1997-6011/2018-4-53-59

#### И.А. СОЛОМИН

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## СНИЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

*Антропогенное воздействие строительной отрасли разнообразно по своему характеру и происходит на всех этапах – начиная от добычи строительных материалов и заканчивая утилизацией отходов строительства и сноса (ОСС), образующихся при сносе, ремонте и реконструкции зданий и сооружений. Строительной индустрии сопутствуют значительные объемы образования строительных отходов, и их возвращение в производство имеет огромное значение как для экономики, так и для экологии страны. Наиболее важным и определяющим фактором при разработке систем управления ОСС является фактор установления реальных объемов их образования. Отсутствие контроля за объемами образования приводит к возникновению несанкционированных свалок и попаданию опасных отходов на санкционированные свалки и полигоны захоронения ТКО. В настоящее время во всем мире перерабатывается только 20% отходов строительства и сноса. Оставшаяся часть поступает на захоронение, что является не только расточительным расходом невозобновляемых материальных ресурсов, но и загрязнением ими природной среды – воздуха, воды, почвы. Проведенные исследования показывают, что имеется значительный потенциал для увеличения объема переработки, уменьшения объемов захоронения отходов строительства и сноса на полигонах и улучшения экологической обстановки, реализация которого в значительной степени зависит от политики государства в вопросах ужесточения законодательства и применения экономических мер.*

*Отходы строительства и сноса, захоронение отходов, утилизация.*

**Введение.** Строительная отрасль вносит значительный вклад в развитие и рост экономики страны, а также создает и существенные проблемы в сфере защиты окружающей среды. Антропогенное воздействие строительной отрасли разнообразно по своему характеру и происходит на всех этапах – начиная от добычи строительных материалов и заканчивая утилизацией отходов строительства и сноса (ОСС), образу-

ющихся при сносе, ремонте и реконструкции зданий и сооружений. Это становится особенно актуальным при ликвидации закрытых производственных объектов, объём сноса которых постоянно возрастает.

По данным литературных источников строительная индустрия прямо или косвенно использует около 40% от материального потока, поступающего в мировую экономику, или около 6 тонн строительных материа-