

## ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЛОВОГО ОСАДКА ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ГАВРА (ФРАНЦИЯ) ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Ковальская А. И.<sup>1</sup>, Беннаби А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет, Москва  
Москва, Россия (129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26) [panikowalska@mail.ru](mailto:panikowalska@mail.ru)

<sup>2</sup>Ecole spéciale des travaux publics du bâtiment et de l'industrie  
28 av. du Président Wilson, 94234 Cachan Cedex (France) [abennabi@adm.estp.fr](mailto:abennabi@adm.estp.fr)

---

В данной статье обосновано решение актуальной проблемы – обеспечения экологической безопасности переработки илового осадка прибрежных акваторий портовых сооружений города Гавра (Франция). В настоящей работе предлагается вариант биопозитивной технологии переработки илового осадка с последующим возможным использованием преобразованного природного материала для целей дорожного строительства, например, в устройстве земляного полотна. Приведены данные экспериментальных исследований по определению прочности на одноосное сжатие материалов, полученных на основе илового осадка и нескольких вяжущих (шлакопортландцемент и стабилизирующая добавка «Geosta»). Результаты проведённого анализа подтвердили принятую научную гипотезу о том, что в результате химических реакций, между органическими, и неорганическими веществами, содержащимися в осадке, и вяжущими, возникает конечный продукт с механическими характеристиками, достаточными для использования в дорожном строительстве, например, что позволит обеспечить экологическую безопасность природно-технической системы «Дорога». Результаты проведённых исследований показывают, что добавки только шлакопортландцемента в пределах 10 % позволяют повысить прочность илового осадка до значений, достаточных для его использования в конструкции земляного полотна.

---

Ключевые слова: иловый осадок, материал для дорожного строительства, переработка, утилизация.

## THE REASONS FOR USAGE OF COSTAL SLUDGE FROM THE PORT FACILITIES OF LE HAVRE (FRANCE) FOR ROAD CONSTRUCTION

Kovalskaya A. I.<sup>1</sup>, Bennabi A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Research University Moscow State University of Civil Engineering, Moscow  
Moscow, Russia (129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26) [panikowalska@mail.ru](mailto:panikowalska@mail.ru)

<sup>2</sup>Ecole spéciale des travaux publics du bâtiment et de l'industrie  
28 av. du Président Wilson, 94234 Cachan Cedex (France) [abennabi@adm.estp.fr](mailto:abennabi@adm.estp.fr)

---

This article justifies the application of an environmentally friendly technology for the treatment of removed sludge of the port facilities of Le Havre (France). The report suggests a biopositive technology for the treatment of the sludge to use it as material for the construction of roads for example as a layer of sand. Furthermore, the results of experiments to determine the mechanical characteristic (resistances against pressure) of the material that consists of the sludge of the port and binders (cement of a blast furnace and “Geosta”) are presented. The analysis confirmed the scientific hypothesis that as a result of a chemical reactions between organics and inorganics substance in the sediments and binders obtain a final product with a mechanical properties sufficient for the construction of road, that will provide ecological security of the natural-technical system “The Road”. These results make evident that up to 10 % of the cement can be added to the sludge in order to increase the resistance to appropriate values for the construction of roads.

---

Key words: sludge sediments, recycling, materials for road construction.

Развитие хозяйственной деятельности, в том числе международных отношений, торговли, морского судоходства, промышленности приводит к возрастанию интенсивности антропогенной нагрузки портовых городов, что негативным образом сказывается на окружающей среде: наблюдается загрязнение прибрежных зон поверхностными стоками, не очищенными канализационными стоками судов,

материалами вследствие коррозии судов, отходами производства и потребления. Всё вышперечисленное приводит к накоплению в портовых акваториях иловых осадков, обладающих специфическим химическим составом, с наличием в той или иной степени ионов тяжёлых металлов, патогенных микроорганизмов, приводящих к нарушению устойчивости и последующему разрушению природных водных экосистем [1].

В связи с вышесказанным, в современном мире для прибрежных территорий с высоким уровнем урбанизации, развитым городским хозяйством становится всё более актуальным вопрос экологической безопасности акваторий, в которых отмечается возрастающая динамика накопления иловых донных осадков. Сложившаяся ситуация определила постановку задачи исследования технологий, способов, методов переработки, использования преобразования подобных иловых осадков для целей дорожного строительства. Научная гипотеза данных исследований заключалась в том, чтобы в результате химических реакций, между органическими и неорганическими веществами, содержащимися в осадке, и вяжущими, возникает конечный продукт с механическими характеристиками, достаточными для использования в дорожном строительстве, например, в устройстве земляного полотна, что позволит обеспечить экологическую безопасность природно-технической системы «Дорога» (толщины слоёв назначают по расчёту), представленной на рисунке 1.

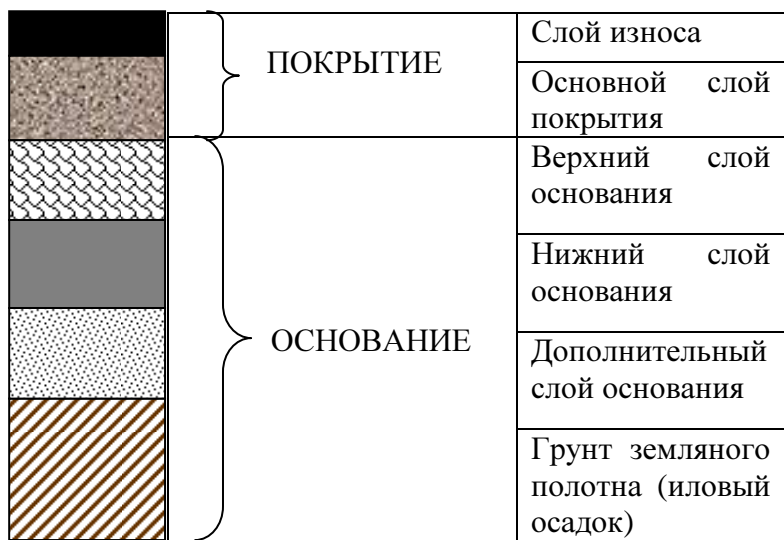


Рис. 1. Конструктивные слои природно-технической системы «Дорога»

Для проверки данной гипотезы были проведены экспериментальные исследования с целью изучения прочности, на одноосное сжатие преобразованного с помощью двух вяжущих веществ илового осадка города Гавра. В качестве вяжущих были выбраны шлакопортландцемент и грунтобетон «Geosta». Грунтобетон представляет собой порошкообразное вспомогательное вещество, скомбинированное из щелочных и

минеральных элементов и более сложных составляющих [3]. Количество первого вяжущего – шлакопортландцемента – берется в процентном содержании от общей массы объекта исследования (портового илового осадка города Гавра) в количестве 5 %, 7,5 % и 10 %, второго вяжущего – 1,3 % по массе илового осадка. Количество первого вяжущего в пределах ниже 5 % и 10 % предполагается экономически нецелесообразным. Количество воды берется в соответствии с исследованиями по определению оптимальной плотности грунта по методу Проктора – 25 % [4]. Для выполнения поставленной задачи необходимо произвести образцы цилиндрической формы и изучить их механическую прочность с использованием электромеханического пресса в различном возрасте – 7, 14, 28 и 90 суток. Возраст суток зависит от набора прочности основного вяжущего материала – шлакопортландцемента, который происходит согласно процессу твердения бетонов.

Изучение механической прочности преобразованного илового осадка, предназначенного для использования в дорожном строительстве, выполнялось на цилиндрических образцах со следующими размерами: диаметр – 80 мм, высота – 100 мм.

Программа реализации эксперимента включала в себя выбор методики проведения опытов. За основу была принята методика проведения исследований грунтовых материалов для дорожного строительства Франции, которая включала следующие этапы:

1) Изготовление образцов цилиндрической формы с размерами: диаметр – 80 мм, высота – 100 мм (для статистической обработки результатов опыты проводились с использованием трёх идентичных образцов), в том числе:

- изготовление грунтовой смеси с использованием электрического миксера (рис. 2);
- изготовление образцов с использованием специальных форм (рис. 3) и электромеханического пресса (рис. 4);
- помещение полученных образцов в климатическую камеру (постоянная температура – 20 °С, влажность – 50 %) на надлежащий срок (7, 14, 28 и 90 суток), то есть до наступления срока проведения испытаний по определению прочности на одноосное сжатие);

2) проведение испытаний по определению прочности образцов в возрасте образцов – 7, 14, 28 и 90 суток на одноосное сжатие;

3) обработку, обобщение и анализ полученных результатов исследований.

На нижерасположенных рисунках представлено лабораторное оборудование, необходимое для проведения опытов в хронологической последовательности:



Рис. 2. Миксер для приготовления грунтовой смеси; 1 – чаша для помещения грунтовой смеси

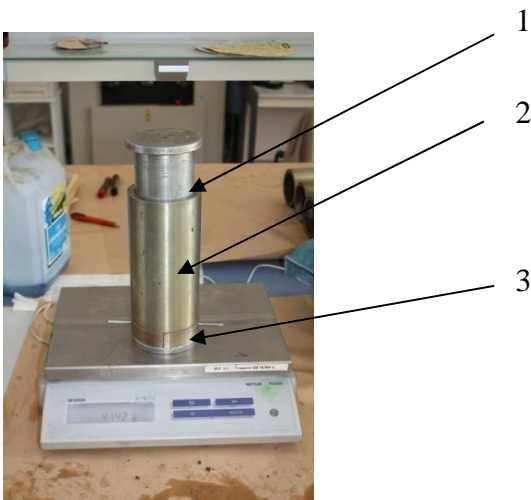


Рис. 3. Форма для изготовления образца в комплекте с закрепляющими насадками и клапаном; 1 – верхний вкладыш; 2 – металлическая форма; 3 – нижняя закрепляющая насадка

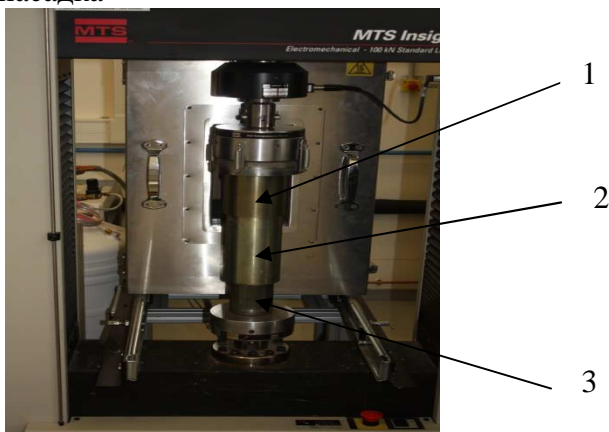


Рис. 4. Процесс извлечения готовых образцов из формы

1 – цилиндрическая форма; 2 – форма с залитым внутри преобразованным иловым осадком; 3 – нижний вкладыш;

По достижении образцом 7, 14, 28 и 90 суток проводились их испытания на одноосное сжатие. В данных опытах использовался электромеханический пресс лаборатории MTS Insight 100 [6]. В процессе проведения эксперимента нагружение велось с возрастающей

силой с постоянной скоростью до полного разрушения образца. Напряжение в образце вычислялись по формуле:

$$\tau = F/A \quad (1),$$

где  $F$  – предельное разрушающее усилие, кН;  $A$  – площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

Прочность образца на одноосное сжатие соответствовала нагрузке при разрушении образца.

На рисунке 5 приведены графические зависимости  $\tau$  от вертикальных деформаций образца, которые определялись отношением перемещения штампа прессы к начальной высоте образца с учётом статистической обработки результатов.

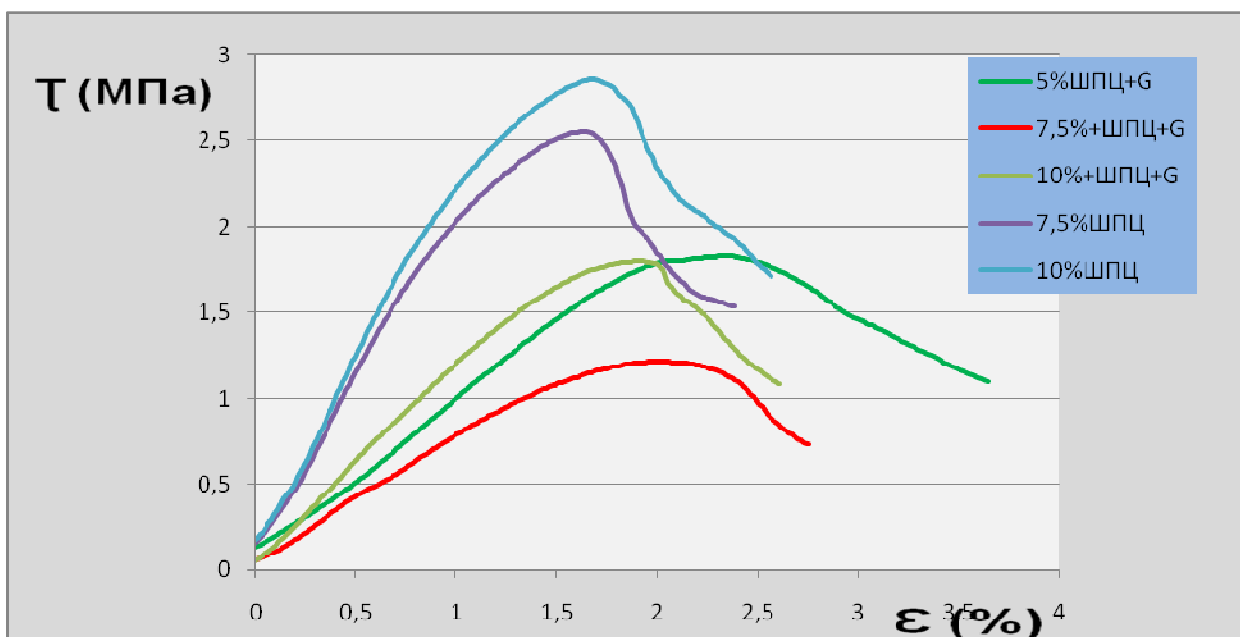


Рис. 5. Результаты испытаний образцов в возрасте 28 суток

\* на рисунке приняты следующие обозначения: ШПЦ – шлакопортландцемент, G – грунтобетон Geosta.

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

– использование двух вяжущих веществ, для повышения прочности илового осадка (ШПЦ+Геоста), не даёт устойчивых результатов, следовательно, их дальнейшее применение в дорожном строительстве без повторных и дополнительных исследований не рекомендуется (нецелесообразно);

– использование в качестве добавки шлакопортландцемента показывает, что прочность на одноосное сжатие увеличивается – пропорционально массе добавки и достигает максимального значения 2,8 МПа, при 10 % содержании добавки, что достаточно для применения этого материала в конструкции земляного полотна, следовательно, экспериментальные исследования по увеличению содержания добавки нецелесообразно с экономической и технической точек зрения.

Таким образом, полученные результаты подтверждают принятую научную гипотезу о том, что в результате химических реакций, между органическими и неорганическими

веществами, содержащимися в осадке, и вяжущими, возникает конечный продукт с механическими характеристиками, достаточными для использования в дорожном строительстве.

### Список литературы

1. Ковальская А. И. Обеспечение экологической безопасности утилизации иловых осадков // Экология урбанизированных территорий. – 2011. – № 4. – С. 70-72.
2. Ковальская А. И. Проведение экспериментов по определению механической прочности состава на базе илового осадка с использованием стабилизирующих добавок // Лабораторный журнал исследований. – 2010. – Париж, Высшая школа промышленного и гражданского строительства.
3. Geosta. Режим доступа: [www.geosta.com](http://www.geosta.com). Дата обращения: 22.10.2011.
4. NF P 94-093 Essai Proctor.
5. NF P 98-149 Enrobé hydrocarboné – Términologie – composants et composition des mélanges – mise en oeuvre – produits technique et procédé.
6. NF P 98-251-I Réalisation d'essais a la presse MTS Insight 100.

Рецензенты:

Щербина Е. В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Городское строительство и экологическая безопасность» ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет, г. Москва.

Шукуров И. С., д.т.н., профессор кафедры «Городское строительство и экологическая безопасность» ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет, г. Москва.