

О.В. Зубова, В.В. Силецкий, Н.А. Тюрин, Л.Я. Громская, Т.С. Антонова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ
ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСАДКОВ
ПРОМЫВНЫХ ВОД ГУП «ВОДОКАНАЛ»
КОМПЛЕКСНЫМ ВЯЖУЩИМ**

Введение. Лесные дороги являются одним из основных сегментов лесной отрасли. За последнее время густота лесных дорог катастрофически сократилась, что сказалось на лесной отрасли по стране в целом. На сегодняшний день сложилась ситуация, вынуждающая лесозаготовителей вести заготовку в более труднодоступных местах — это значит, что придётся строить новые лесные дороги, в связи с этим статьи затрат лесозаготовительных предприятий существенно увеличатся, что может привести к убыточности лесозаготовительного предприятия. Данная ситуация вынуждает понизить стоимость строительства лесной дороги для повышения ее рентабельности.

Одним из перспективных альтернативных вариантов является использование отходов промышленности. Данный способ решения проблемы хорош тем, что при строительстве лесной дороги будут использованы дешевые материалы (отходы), что повысит рентабельность дороги, а также будут утилизироваться складываемые в настоящее время отходы, что положительно скажется на окружающей среде.

Осадок промывных вод ГУП «Водоканал СПб» выпадает при коагуляции при очистке речной воды перед подачей в водопроводную систему. Хлопья образуются сначала за счет части взвешенных частиц и коагулянта или только коагулянта. Образовавшиеся хлопья последнего сорбируют вещества, загрязняющие промывные воды и, осаждаясь вместе с ними, очищают воду.

При использовании в качестве коагулянтов солей алюминия и железа в результате реакции гидролиза образуются малорастворимые в воде гидроксиды железа и алюминия, которые сорбируют на развитой хлопьевидной поверхности взвешенные, мелкодисперсные и коллоидные вещества и при благоприятных гидродинамических условиях оседают на дно отстойника, образуя осадок, являющийся загрязненным отходом производства и подлежащий захоронению [Мячиков и др., 2018].

На территории Ленинградской области находится большое количество полигонов ГУП «Водоканал СПб» для хранения отходов предприятия. Территории, выделенные для хранения отходов на сегодняшний день переполнены, что приводит к дополнительным затратам на выделение участков под полигон и их обеспечение. В связи с этим была поставлена задача по утилизированию отходов, находящихся на полигонах, в том числе осадка промывных вод. Одним из альтернативных экономически эффективных вариантов является использование осадков промывных вод в дорожном строительстве в качестве компонента основания земляного полотна.

При строительстве лесной дороги будут задействованы большие объемы ДСМ, что позволит утилизировать отход промышленности в значительном количестве, в процессе возведения земляного полотна отход промышленности будет связываться комплексными вяжущими, что обеспечит экологическую безопасность окружающей среды.

В связи с вышеизложенными факторами было проведено исследование по связыванию осадков промывных вод комплексными вяжущими для дальнейшего использования в основании земляного полотна.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – получение дорожно-строительного материала с повышенной прочностью на основе осадка промывных вод, обработанного комплексными вяжущими.

Задачи исследования:

1. Поиск оптимальных дозировок вяжущих.
2. Технология ускорения процесса структурообразования полученной смеси.
3. Определение физико-механических показателей и времени структурообразования экспериментальных образцов с добавлением различных вяжущих в разных соотношениях.
4. Экономическое сравнение полученного материала с традиционными материалами, используемыми при строительстве лесных дорог.

Характеристики исходных материалов

Нефелиновый шлам (НФШ) – шламообразный отход, образующийся при производстве глинозема, содержащий $80\text{--}85\% 2\text{CaO} - \text{SiO}_2 - x\text{H}_2\text{O}$ и $2\text{CaO} - \text{SiO}_2$; остальное количество массы – гидраты глинозема, железа, сульфаты натрия и калия, комплексные гидраты. Нефелиновый шлам содержит около 80% белита и двухкальциевого силиката [Зубова и др., 2018].

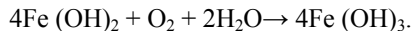
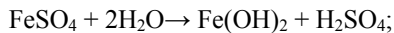
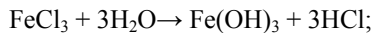
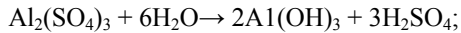
Портландцемент марки М400 – основные составляющие цемента, обеспечивающие процесс твердения:

- трехкальциевый силикат ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$). Минерал алит, условно обозначаемый C_3S ;
- двухкальциевый силикат – ортосиликат кальция ($\beta 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) Минерал белит C_2S ;
- трехкальциевый алюминат – кальциевая соль алюминиевой кислоты ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), условно обозначаемая C_3A .
- четырехкальциевый алюмоферрит – ферритовая фаза ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$). Минерал браунмиллерит C_4AF .

В составе цемента имеются и другие минералы, играющие относительно меньшую роль в процессах гидролиза и твердения.

Битум – продукт нефтепереработки, высокоуглеродистое соединение с плотностью около единицы, с низкой тепло- и электропроводностью, противостоит воздействию различных химических реагентов, водо- и газонепроницаем, устойчив к действию различных видов радиации и длительному тепловому воздействию.

Осадок промывных вод (Ил) – при использовании в качестве коагулянтов солей алюминия и железа в результате реакции гидролиза образуются малорастворимые в воде гидроксиды железа и алюминия, которые сорбируют на развитой хлопьевидной поверхности взвешенные, мелкодисперсные и коллоидные вещества и при благоприятных гидродинамических условиях оседают на дно отстойника, образуя осадок:



Методика исследования. Изготовление образцов выполнено из смеси осадка промывных вод и нефелинового шлама, обработанных вяжущими материалами (цемент, битум) при оптимальных влажностях, диаметром и высотой 3,5 см на гидравлическом прессе с удельным давлением 100 МПа. Образцы расчетного состава смеси: осадка промывных вод с нефелиновым шламом и вяжущих хранились требуемое количество дней в герметически закрытых эксикаторах в воздушно-влажных условиях. Испытания образцов с определением физико-механических свойств выполнены в дорожно-испытательной лаборатории СПбГЛТУ с использованием стандартных испытательных установок, гидропрессов, рычажных прессов и измерительных приборов.

Испытания образцов на длительное водопоглощение выполнены в соответствии с рекомендациями инструкции ГОСТ 31015-2002¹.

Испытания образцов с определением показателей предела прочности при сжатии ($R_{сж}$, МПа), водопоглощения ($W_{вп}$, %) и модуля упругости ($E_{упр}$) проведены после их хранения в воздушно-влажных условиях в течение 1 года и выдерживания в воде 3 суток [Зубова, 2015].

Результаты исследования смеси осадка промывных вод обработанного комплексными вяжущими. Исследование смеси осадка промывных вод укрепленного: нефелиновым шламом, дозировками 30, 40, 50% по массе, битума дозировками 3, 6, 9% и цемента дозировками 4, 6, 8% по массе, на образцах при хранении их в воздушно-влажных условиях с последующим замачиванием до момента испытания.

Результаты испытаний приведены в табл. 1–3, а также на рис. 1–9.

Таблица 1

Исследование физико-механических свойств осадка промывных вод, укрепленного комплексными вяжущими (дозировка цемента 4%)

Investigation of the physicomechanical properties of sludge from fortified water strengthened by complex binders (cement dosage 4%)

№ п/п	НФШ, %	Ил, %	Битум, %	Цемент, %	W, %	$E_{упр}$, МПа	$R_{сж}$, МПа
1	30	70	3	4	2,7	75,9	1,25
2	30	70	6	4	2,4	53,8	1,1
3	30	70	9	4	1,8	45,4	0,9
4	40	60	3	4	3,8	138,3	1,8
5	40	60	6	4	3,2	80,7	1,6
6	40	60	9	4	2,8	60,5	1,2
7	50	50	3	4	2,4	350,6	4,7
8	50	50	6	4	2,2	220,1	4,3
9	50	50	9	4	2,0	127,5	2,4

¹ ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия.

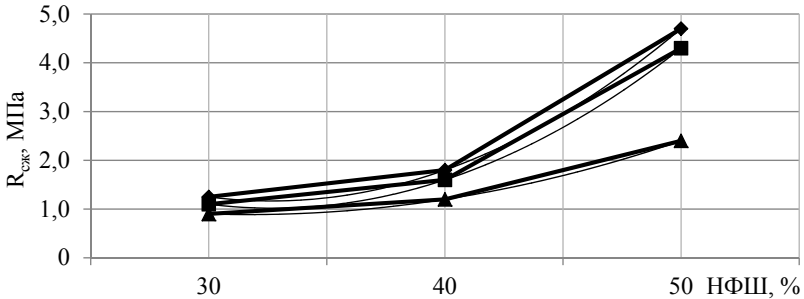


Рис. 1. График зависимости предела прочности от дозировок нефелинового шлама и битума, при дозировке цемента 4%:

(◆) – дозировка битума 3%; (■) – дозировка битума 6%; (▲) – дозировка битума 9%; (—) – полиномиальная дозировка битума 3%; (---) – полиномиальная дозировка битума 6%; (---) – полиномиальная дозировка битума 9%

Fig. 1. The graph of dependence of the tensile strength of the doses of nepheline sludge and bitumen, at a dosage of cement 4%

Уравнение регрессии при дозировке битума 3% имеет вид:

$$R_{сжк} = 1,175x^2 - 2,975x + 3,05; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 6% имеет вид:

$$R_{сжк} = 1,1x^2 - 2,8x + 2,8; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 9% имеет вид:

$$R_{сжк} = 0,45x^2 - 1,05x + 1,5; \quad R^2 = 1.$$

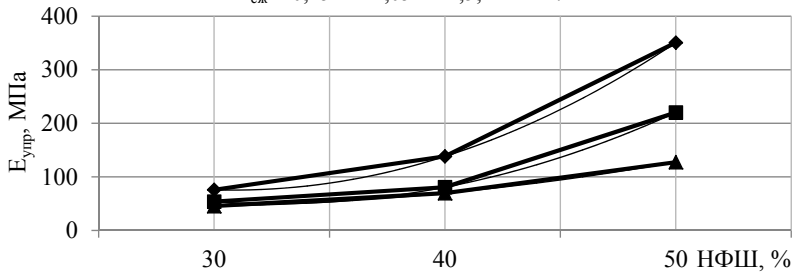


Рис. 2. График зависимости модуля упругости образцов от дозировок нефелинового шлама и битума, при дозировке цемента 4%:

(◆) – дозировка битума 3%; (■) – дозировка битума 6%; (▲) – дозировка битума 9%; (—) – полиномиальная дозировка битума 3%; (---) – полиномиальная дозировка битума 6%; (---) – полиномиальная дозировка битума 9%

Fig. 2. Graph of dependence of the modulus of elasticity of samples on the dosages of nepheline sludge and bitumen, at a cement dosage of 4%

Уравнение регрессии при дозировке битума 3% имеет вид:

$$E_{упр} = 74,95x^2 - 162,45x + 163,4; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 6% имеет вид:

$$E_{упр} = 56,25x^2 - 141,85x + 139,4; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 9% имеет вид:

$$E_{упр} = 16,95x^2 - 26,75x + 55,2; \quad R^2 = 1.$$

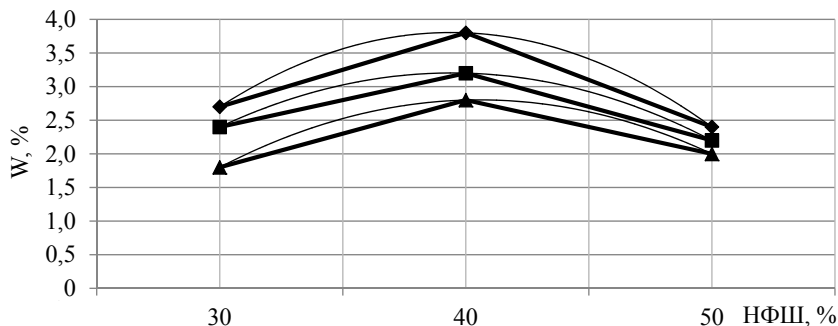


Рис. 3. График зависимости водопоглощения образцов от дозировок нефелинового шлама и битума, при дозировке цемента 4%:

(◆) – дозировка битума 3%; (■) – дозировка битума 6%; (▲) – дозировка битума 9%; (—) – полиномиальная дозировка битума 3%; (—) – полиномиальная дозировка битума 6%; (—) – полиномиальная дозировка битума 9%

Fig. 3. Graph of water absorption of samples from the dosages of nepheline sludge and bitumen, at a cement dosage of 4%

Уравнение регрессии при дозировке битума 3% имеет вид:
 $W = -1,25x^2 + 4,85x - 0,9; R^2 = 1.$

Уравнение регрессии при дозировке битума 6% имеет вид:
 $W = -0,9x^2 + 3,5x - 0,2; R^2 = 1.$

Уравнение регрессии при дозировке битума 9% имеет вид:
 $W = -0,9x^2 + 3,7x - 1; R^2 = 1.$

Анализ результатов

1. Прочность дорожно-строительного материала с повышением дозировки нефелинового шлама возрастает до 4,7 МПа. Нефелиновый шлам является медленно твердеющим вяжущим, таким образом большая концентрация нефелинового шлама в смеси способствует наращиванию прочности во времени, так как 4% цемента недостаточно для активации полного объема нефелинового шлама. Значительную часть прочности материал набирает в течение нескольких лет. Большое процентное содержание битума создает неблагоприятную среду для формирования структуры нефелинового шлама с илом, за счет этого материал теряет свои прочностные показатели. Прочность материала с 9% содержанием битума снижается до 2 МПа при содержании нефелинового шлама 50%.

2. Наивысшее значение показателя модуля упругости достигается при минимальных дозировках битума, это подтверждает предположение о том, что большое процентное содержание битума в смеси мешает образованию структуры нефелинового шлама с осадком промывных вод. Кроме того, создание негативной среды для структурообразования большими дозировками битума влияет на время структурообразования и набора физико-механических показателей.

3. Водопоглощение материала с высокими дозировками битума низкое, что дает возможность свидетельствовать о высокой морозостойкости материала. Данные показатели материала дают возможность использовать его в земляном полотне, а также в морозозащитных и теплоизолирующих слоях.

Таблица 2

Исследование физико-механических свойств осадка промывных вод, укрепленного комплексными вяжущими (дозировка цемента 6%)

Investigation of the physicomchanical properties of sludge from fortified water strengthened by complex binders (cement dosage 6%)

№ п/п	НФШ, %	Ил, %	Битум, %	Цемент, %	W, %	$E_{випр}$, МПа	$R_{сж}$, МПа
1	30	70	3	6	1,7	37,2	1,85
2	30	70	6	6	1,6	44	1,7
3	30	70	9	6	1,5	69,2	1,4
4	40	60	3	6	3,9	242,1	2,4
5	40	60	6	6	2,8	222,8	2,2
6	40	60	9	6	1,7	138,3	1,9
7	50	50	3	6	3,2	269	5,3
8	50	50	6	6	2,0	161,4	4,5
9	50	50	9	6	1,8	84,3	4,0

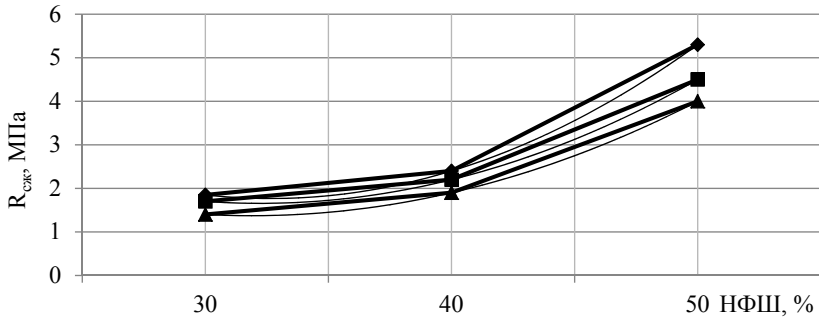


Рис. 4. График зависимости предела прочности от дозировок нефелинового шлама и битума, при дозировке цемента 6%:

(◆) – дозировка битума 3%; (■) – дозировка битума 6%; (▲) – дозировка битума 9%; (—) – полиномиальная дозировка битума 3%; (—) – полиномиальная дозировка битума 6%; (—) – полиномиальная дозировка битума 9%

Fig. 4. The graph of dependence of the tensile strength of the doses of nepheline sludge and bitumen, at a dosage of cement 6%

Уравнение регрессии при дозировке битума 3% имеет вид:

$$R_{сж} = 1,175x^2 - 2,975x + 3,65; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 6% имеет вид:

$$R_{сж} = 0,9x^2 - 2,2x + 3; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 9% имеет вид:

$$R_{сж} = 0,8x^2 - 1,9x + 2,5; \quad R^2 = 1.$$

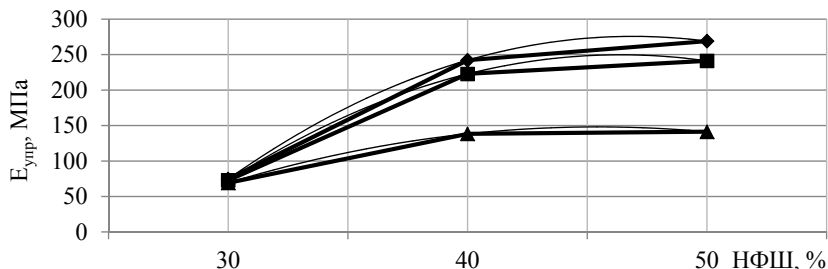


Рис. 5. График зависимости модуля упругости образцов от дозировок нефелинового шлама и битума, при дозировке цемента 6%:

(◆) – дозировка битума 3%; (■) – дозировка битума 6%; (▲) – дозировка битума 9%; (—) – полиномиальная дозировка битума 3%; (—) – полиномиальная дозировка битума 6%; (—) – полиномиальная дозировка битума 9%

Fig. 5. Graph of dependence of the modulus of elasticity of samples on the dosages of nepheline sludge and bitumen, at a cement dosage of 6%

Уравнение регрессии при дозировке битума 3% имеет вид:

$$E_{упр} = -70,35x^2 + 378,65x - 233,8; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 6% имеет вид:

$$E_{упр} = -65,8x^2 + 347,4x - 208,8; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 9% имеет вид:

$$E_{упр} = -33,1x^2 + 168,4x - 66,1; \quad R^2 = 1.$$

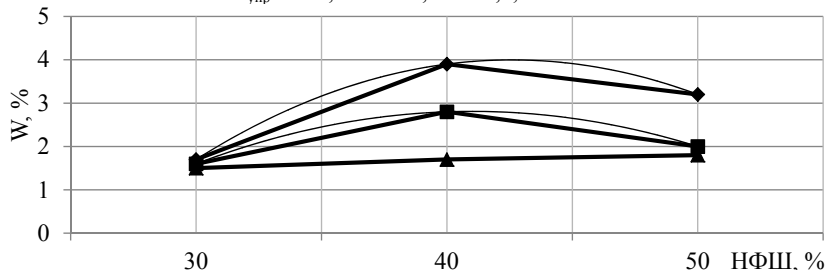


Рис. 6. График зависимости водопоглощения образцов от дозировок нефелинового шлама и битума, при дозировке цемента 6%:

(◆) – дозировка битума 3%; (■) – дозировка битума 6%; (▲) – дозировка битума 9%; (—) – полиномиальная дозировка битума 3%; (—) – полиномиальная дозировка битума 6%; (—) – полиномиальная дозировка битума 9%

Fig. 6. Graph of water absorption of samples from the dosages of nepheline sludge and bitumen, at a cement dosage of 6%

Уравнение регрессии при дозировке битума 3% имеет вид:

$$y = -1,45x^2 + 6,55x - 3,4; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 6% имеет вид:

$$y = -x^2 + 4,2x - 1,6; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 9% имеет вид:

$$y = 0,05x^2 + 0,35x + 1,2; \quad R^2 = 1.$$

Анализ результатов

1. Увеличение дозировки цемента на 2% привело к повышению предела прочности при сжатии дорожно-строительного материала до 5 МПа. Цемент, выступающий в роли активатора, прореагировал с большим объёмом нефелинового шлама, что значительно ускорило процесс структурообразования, а также нейтрализовало коагуляционные свойства битума в смеси, об этом свидетельствуют высокие показатели предела прочности при сжатии при всех дозировках битума.

2. Максимальное значение модуля упругости достигается при минимальной дозировке битума и составляет 269 МПа. Активация большого объема нефелинового шлама придает монолитность материалу, что приводит к снижению модуля упругости.

3. При дозировке цемента 6% так же, как при дозировке 4% цемента водопоглощение находится в пределах 1,5–3,3%. Оптимальная монолитная водостойкая структура достигается при дозировке битума 9%.

Таблица 3

Исследование физико-механических свойств осадка промывных вод, укрепленного комплексными вяжущими (дозировка цемента 8%)

Investigation of the physicomchanical properties of sludge from fortified water strengthened by complex binders (cement dosage 8%)

№ п/п	НФШ, %	Ил, %	Битум, %	Цемент, %	W, %	$E_{упр}$, МПа	$R_{сж}$, МПа
1	30	70	3	8	2,6	45,8	0,9
2	30	70	6	8	1,7	242,1	1,8
3	30	70	9	8	1,5	80,7	2,3
4	40	60	3	8	3,5	96,8	1,2
5	40	60	6	8	3,3	90,5	1,9
6	40	60	9	8	3,0	80,7	2,2
7	50	50	3	8	3,4	52,6	4,5
8	50	50	6	8	2,8	242,1	5,2
9	50	50	9	8	2,2	69,2	5,9

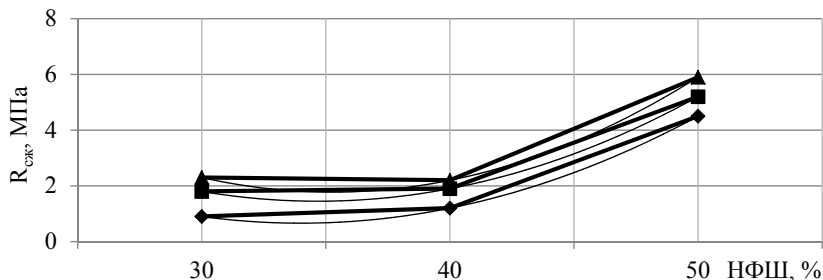


Рис. 7. График зависимости предела прочности от дозировок нефелинового шлама и битума, при дозировке цемента 8%:

(◆) – дозировка битума 3%; (■) – дозировка битума 6%; (▲) – дозировка битума 9%; (—) – полиномиальная дозировка битума 3%; (—) – полиномиальная дозировка битума 6%; (—) – полиномиальная дозировка битума 9%

Fig. 7. The graph of dependence of the tensile strength of the doses of nepheline sludge and bitumen, at a dosage of cement 8%

Уравнение регрессии при дозировке битума 3% имеет вид:

$$R_{сжз} = 1,5x^2 - 4,2x + 3,6; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 6% имеет вид:

$$R_{сжз} = 1,6x^2 - 4,7x + 4,9; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 9% имеет вид:

$$R_{сжз} = 1,9x^2 - 5,8x + 6,2; \quad R^2 = 1.$$

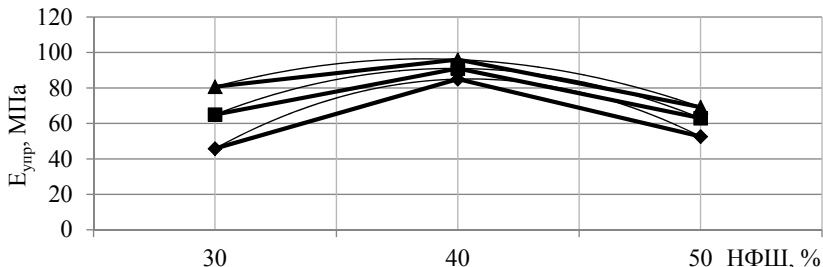


Рис. 8. График зависимости модуля упругости образцов от дозировок нефелинового шлама и битума, при дозировке цемента 8%:

(◆) – дозировка битума 3%; (■) – дозировка битума 6%; (▲) – дозировка битума 9%; (—) – полиномиальная дозировка битума 3%; (—) – полиномиальная дозировка битума 6%; (—) – полиномиальная дозировка битума 9%

Fig. 8. Graph of dependence of the modulus of elasticity of samples on the dosages of nepheline sludge and bitumen, at a cement dosage of 8%

Уравнение регрессии при дозировке битума 3% имеет вид:

$$E_{упр} = -35,8x^2 + 146,6x - 65; \quad R^2 = 1$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 6% имеет вид:

$$E_{упр} = -27x^2 + 107x - 15; \quad R^2 = 1$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 9% имеет вид:

$$E_{упр} = -21,05x^2 + 78,45x + 23,3; \quad R^2 = 1$$

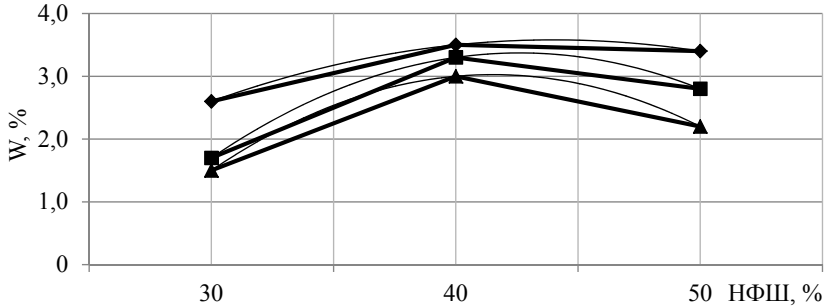


Рис. 9. График зависимости водопоглощения образцов от дозировок нефелинового шлама и битума, при дозировке цемента 8%:

(◆) – дозировка битума 3%; (■) – дозировка битума 6%; (▲) – дозировка битума 9%; (—) – полиномиальная дозировка битума 3%; (—) – полиномиальная дозировка битума 6%; (—) – полиномиальная дозировка битума 9%

Fig. 9. Graph of water absorption of samples from the dosages of nepheline sludge and bitumen, at a cement dosage of 8%

Уравнение регрессии при дозировке битума 3% имеет вид:

$$W = -0,5x^2 + 2,4x + 0,7; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 6% имеет вид:

$$W = -1,05x^2 + 4,75x - 2; \quad R^2 = 1.$$

Уравнение регрессии при дозировке битума 9% имеет вид:

$$W = -1,15x^2 + 4,95x - 2,3; \quad R^2 = 1.$$

Анализ результатов

1. При содержании цемента в смеси 8% сохраняется тенденция по нарастанию прочности с увеличением нефелинового шлама в материале. Увеличение предела прочности при сжатии незначительно по отношению к смесям с меньшими дозировками цемента и достигает максимальных значений 5,9 МПа.

2. Показатели модуля упругости достигают максимальных значений при дозировке НФШ 40%, при увеличении содержания шлама идет снижение модуля упругости, так как монолитная бетонная структура, которая образуется при связывании большого количества НФШ и цемента, не обладает свойствами упругости.

3. Водопоглощение материалов, укрепленных 8% цемента, также находится в диапазоне от 1,5 до 3,5%, что соответствует требованиям ГОСТ для укрепленных грунтов и дорожно-строительных материалов.

Выводы

1. Повышение объема нефелинового шлама в смеси влияет на физико-механические показатели дорожно-строительного материала. Активация

нефелинового шлама цементом ускоряет процесс структурообразования материала.

2. Результат исследования смеси осадка промывных вод с нефелиновым шламом, укрепленным комплексным вяжущим, показывает, что полученные материалы относятся к маркам прочности М20–М60 с пределом прочности при сжатии образцов от 2,3 до 5,9 МПа, модуль упругости от 80 до 350 МПа, водопоглощение находится в пределах нормы от 1,5 до 3%.

3. Использование битума в смеси обосновано тем, что водопоглощение материала с высоким содержанием битума низкое, что дает возможность косвенно свидетельствовать о высокой морозостойкости дорожно-строительного материала и низкой вымываемости вредных веществ, содержащихся в осадке промывных вод. Также использование битума снижает теплопроводность дорожно-строительного материала, что повышает теплоизолирующие характеристики материала.

4. Оптимальное соотношение компонентов смеси для возведения земляного полотна: Ил–70%, НФШ–30%, цемент–6%, битум от 3 до 9%, при данных дозировках достигается требуемая прочность и модуль упругости для земляного полотна, а также низкое водопоглощение, что повысит морозостойкость земляного полотна. Данные дозировки также подходят для создания материала, требуемого при устройстве морозозащитных и теплоизолирующих слоев. Оптимальные дозировки для строительства слоя покрытия: НФШ–50%, Ил–50%, цемент–8%, битум–9%, при соблюдении данных пропорций достигается высокая прочность материала, соответствующая требованиям ГОСТ 23558–94². Полученный материал благодаря высокому содержанию нефелинового шлама будет обладать тиксотропными свойствами, что является значительным преимуществом перед традиционными дорожно-строительными материалами.

5. Исследования смеси нефелинового шлама с осадками промывных вод, укрепленных комплексными вяжущими, позволили получить материал, соответствующий требованиям ГОСТ 23558–94.

6. Полученный материал по своим физико-механическим характеристикам можно использовать в основании земляного полотна, для возведения морозозащитных и теплоизолирующих слоев.

² ГОСТ 23558–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.

Библиографический список

Агейкин В.Н. Индустриальная технология дорожного строительства с применением композиционных материалов на основе карбамидоформальдегидных смол и грунтов (на примере Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет, 1996. 25 с.

Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. М.: Транспорт, 1971. 246 с.

Зубова О.В., Силецкий В.В., Козлов А.П., Кузнецов К.В. Исследования дорожных смесей на основе грунтов лесной зоны и нефелинового шлама с добавками минеральных вяжущих // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223. С. 187–200. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.187-200.

Зубова О.В. Использование в лесном дорожном строительстве зоолугрунтовых смесей, обработанных вяжущими материалами: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 179 с.

Мячиков Е.Я., Пигарев В.Е., Зубова О.В. Решение проблемы утилизации осадка промывных вод ГУП «Водоканал СПб» с использованием битума и нефелинового шлама // Сборник статей по материалам НТК ИТМиТЛ по итогам НИР 2017. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. С. 321–330.

Базовая химия и нефтехимия//Нефтяные битумы: состав, свойства. URL: http://newchemistry.ru/le tter.php?n_id = 933

References

Ageikin, V.N. Industrial technology of road construction using composite materials based on urea-formaldehyde resins and soils (on the example of Western Siberia): thesis abstract for the degree of candidate of technical Sciences/ V.N. Ageikin. SPb.: St. Petersburg University of architecture and civil engineering, 1996. 25 p. (In Russ.)

Bezruk V.M. Strengthening of soils in road and airfield construction. Moscow: Transport, 1971. 246 p. (In Russ.)

Zubova O.V., Siletsky V.V., Kozlov A.P., Kuznetsov K.V. Researches of road mixes on the basis of soils of a forest zone and nepheline slime with additives of mineral binders. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2018. is. 223, pp. 187–200. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.187-200. (In Russ.)

Zubova O.V. The Use of timber road construction zoogroove mixtures processed by knitting materials: the dis. ... cand. of tech. sciences. St. Petersburg: SPbGLTU, 2015. 179 p. (In Russ.)

Mjachikov E.Y., Pigarev V.E., Zubova O.V. The problem of sludge disposal of wash water GUP «Vodokanal SPb» with the use of bitumen and nepheline sludge. *Collection of articles based on the materials of the Scientific and Technological Complex ИТМиТЛ based on the results of research work in St. Petersburg 2017*. St. Petersburg: St. Petersburg State Technical University, 2018, pp. 321–330. (In Russ.)

Basic chemistry and petrochemistry//Petroleum bitumen: composition, properties. URL: http://newchemistry.ru/le tter.php?n_id = 933 (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 27.03.2019 г.

Зубова О.В., Силецкий В.В., Тюрин Н.А., Громская Л.Я., Антонова Т.С. Исследование процессов структурообразования при укреплении органических осадков промывных вод ГУП «Водоканал» комплексным вяжущим // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 227. С. 209–223. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.227.209-223*

В исследованиях рассмотрено применение осадка промывных вод ГУП «Водоканал СПб», укрепленного органическими и минеральными вяжущими, в качестве дорожно-строительного материала с высокими физико-механическими показателями и повышенной морозостойкостью, а также низкой теплопроводностью. Представлены результаты исследования смеси осадка промывных вод, укрепленного нефелиновым шламом, битумом и портландцементом марки М-400. Полученные показатели подтверждают возможность использования данной смеси при возведении земляного полотна, строительстве морозозащитных и теплоизолирующих слоев дорожных оснований. Применение полученного материала также положительно повлияет на экологическое состояние Северо-Западного региона, так как при создании материала капсулируются отходы промышленности, что позволяет утилизировать их без вреда окружающей среде.

Ключевые слова: нефелиновый шлам, лесные дороги, осадок промывных вод, битум.

Zubova O.V., Siletskiy V.V., Turin N.A., Gromskaya L.Ya., Antonova T.S. Research of the process of structure formation with the strengthening of organic sediments of wash water of the Vodokanal State Unitary Enterprise with complex binder. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2019, is. 227, pp. 209–223 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2019.227.209-223

In researches application of the deposit of washing waters SUE Vodokanal of SPb strengthened organic and mineral knitting, as road-building material with high physico-mechanical indicators and the increased frost resistance and also low heat conductivity is considered. Results of a research of mix of the deposit of washing waters strengthened by nepheline slime, bitumen and a portlandcement of M-400 brand are presented. The received indicators confirm a possibility of use of this mix at construction of a road bed, construction protecting from frost and the heat-insulating layers of the road bases. Use of the received material also positively will affect an ecological condition of the Northwest region as during creation of material industry waste is encapsulated that allows to utilize them without harm to the environment.

Key words: nepheline sludge, forest roads, wash water sediment, bitumen.

ЗУБОВА Оксана Викторовна – доцент кафедры промышленного транспорта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ok_z19@mail.ru

ZUBOVA Oksana V. – PhD (Technical), Associate Professor, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5. St. Peterburg. Russia. E-mail: ok_z19@mail.ru

СИЛЕЦКИЙ Вадим Витальевич – студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lol.spairo@yandex.ru

SILETSKIY Vadim V. – student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5. St. Peterburg. Russia. E-mail: lol.spairo@yandex.ru

ТЮРИН Николай Александрович – профессор кафедры промышленного транспорта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: tnalif@mail.ru

TURIN Nikolaj A. – PhD (Technical), Professor of the Department of Industrial Transport Saint-Petersburg St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5. St. Peterburg. Russia. E-mail: tnalif@mail.ru

ГРОМСКАЯ Любовь Яковлевна – доцент кафедры промышленного транспорта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gromskaya.stl@gmail.com

GROMSKAYA Lyubov Ya. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Industrial Transport St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5. St. Peterburg. Russia. E-mail: gromskaya.stl@gmail.com

АНТОНОВА Татьяна Степановна – доцент кафедры промышленного транспорта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: antonova.stl@mail.ru

ANTONOVA Tatiana S. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Industrial Transport St.Petersburg State Forest Technical University.

194021, Institute per. 5. St. Peterburg. Russia. E-mail: antonova.stl@mail.ru