

УДК 691.22+684.138:625.7/.8

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ АММОФОСА И СУПЕРФОСФАТА - ФОСФОГИПСА ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Назаренко Г.В.

Старший научный сотрудник

АО «КаздорНИИ», e-mail: g.nazarenko@qazjolgzi.kz

Сарыбаев Н.Н.

Ведущий инженер

АО «КаздорНИИ», e-mail: n.sarybaev@qazjolgzi.kz

АННОТАЦИЯ

Одной из важнейших задач развития дорожно-транспортного комплекса Республики Казахстан является ускоренное развитие сети автомобильных дорог, в том числе соединение сельских населенных пунктов с дорогами общего пользования. Реализация этой программы требует от дорожных организаций нестандартного подхода. Отсутствие достаточного количества высокопрочных каменных материалов на строительном объекте - дороге, а также снижение стоимости и сроков строительства заставило искать оригинальные пути решения этой задачи. Обзор современных технологий строительства автомобильных дорог во всем мире показывает растущую тенденцию максимального применения местных материалов с целью удешевления и сокращения сроков строительства. В качестве строительных материалов в новых технологиях в первую очередь используются грунты, укрепленные или модифицированные различными добавками, а также материалы дорожных одежд, требующих капитального ремонта.

Для укрепления материалов оснований, в строительной практике широко использовались цементы, фосфорные шлаки, золы уноса и другие.

Для повышения рентабельности затрат на строительство и их окупаемость необходимо использовать наряду с дорогостоящими цементобетонными покрытиями, но и широко использовать конгломераты из местных материалов, вторичного сырья и грунтов, полученные на основе новых инновационных ресурсосберегающих технологий и материалов. Использовать повторную утилизацию строительных материалов существующих автомобильных дорог, для перекрытия огромного дефицита в дорожно-строительных материалах шире использовать в практику строительства техногенные отходы и побочные отходы промышленной, что улучшит экологическую обстановку в республике, тем более, что объемы накопленных различных шлаков, шламов, золы уноса гидроудаления, фосфогипса исчисляются миллиардами тн, который увеличивается с каждым годом.

Снижение экологической нагрузки на окружающую среду - важнейшая задача современного материаловедения [1].

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*Асфальтогранулят, Щебень, Цемент,
Фосфогипс, Ресайклер.*

ЦЕЛЬ:

Получение укрепленной смеси заданной прочности М40 с применением повторно используемого материала асфальтогранулята, и утилизация отходов химического промышленного производства фосфогипса.

Ранее фосфогипс в дорожном строительстве не использовался.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Одно из направлений решения данной задачи - использование отходов химических заводов, производящих фосфорную кислоту полугидратным режимом экстракции - фосфополугидрата -форма $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ ФПГ (ФПГ). По содержанию основного вещества (соответствует автоклавным гипсовым вяжущим марок Г-10 - Г-19 по ГОСТ 125 [1], но из-за содержания вредных примесей практически не используется и полностью вывозится в отвал.

Фосфогипс является отходом производства и образуется при производстве аммофоса, суперфосфата в стадии технологии получения экстракционной фосфорной кислоты в процессе отделении жидкой фазы от твердой. С 1 тонны аммофоса (46 % P_2O_5) образуется 2,79 тонн; с 1 тонны суперфосфата (19 % P_2O_5) образуется 0,34 тонн фосфогипса. Отмытый и отфильтрованный фосфогипс из-под узла выгрузки технологической нитки автомашинами «БелАЗ» транспортируется в отвал.

Фосфогипс - порошок, серого цвета, в воде практически нерастворим, не летуч, не пожароопасен, не взрывоопасен, 3 класса опасности (мало опасные) [2]. Пригодность отходов промышленности неорганического вида характеризуется определением активности [3],[4].

За показатель активности фосфогипса принимают предел прочности при сжатии после определенных условий хранения образцов. Предварительно для приготовления образцов необходимо определить максимальную плотность при оптимальной влажности.

Максимальная плотность и оптимальная влажность приведены на рисунке 1.

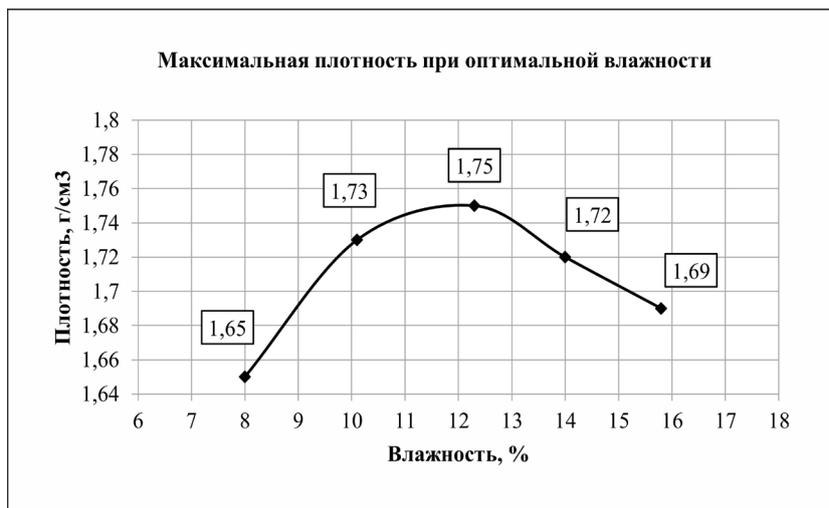


Рисунок 1 - Зависимость плотности состава от влажности

Оптимальная влажность фосфогипса составляет 12,3 %. Согласно подобранной влажности (12,3%) заформованы образцы $d=h=50,5$ мм, после чего образцы хранятся 7 суток на воздухе при температуре 18 ± 2 °С.

Затем образцы помещают в камеру на 18 суток с влажностью не менее 95%, по истечении 18 суток образцы насыщают водой в течении 2 суток. Насыщенные водой образцы испытывают на гидравлическом прессе.

В таблице 1 приведены результаты определения активности фосфогипса.

Таблица 1 - Активность фосфогипса

Предел прочности при сжатии, МПа	Норма по НД	Активность
Number of points, N	свыше 5 (высокоактивный ВА) от 2,5 до 5,0 (активный А) от 1,0 до 2,5 (слабоактивный СА) менее 1,0 (неактивный НА)	Слабоактивный СА

Из анализа результатов таблицы 1, следует, что фосфогипс является слабоактивным.

В таблице 2 приведены характеристики фосфогипса.

Таблица 2 - Характеристики фосфогипса

Зерновой состав, %, мельче данного размера, мм						Активность фосфогипса, МПа	Оптимальная влажность, %	Максимальная плотность, г/см³
2,0	1,0	0,5	0,25	0,1	0,05			
99,1	97,9	94,9	84,4	74,4	72,1	1,6 (слабо-активный)	12,3	1,75

Для выполнения исследований по эффективности фосфогипса для комплексного укрепления основания использовались следующие дорожно-строительные материалы:

- Фосфогипс, производство ТОО «Казфосфат»;
- Щебень фр. 20-40 мм, месторождение «Экибастузское-1»;
- Фрезерованный асфальтобетон (асфальтогранулят) автомобильной дороги «Павлодар-Успенка» КМ 31-32;
- Портландцемент марки М400-Д0 20, цементный завод ТОО «Семей».

Подбор рационального содержания цемента проводился по показателю прочности после 7 суток выдерживания во влажных условиях. Испытания проводились в соответствии с требованиями СТ РК 1218 [3]. Предварительно для составов с 3 %, 4 % и 5 % цемента определены максимальные плотности при оптимальной влажности. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Подбор рационального содержания цемента

№	Состав смеси, %				Плотность, г/см ³	Прочность, МПа
	асфальтогранулят	щебень фр. 20-40мм	цемент	вода		
1	80	17	3	3,5	1,85	1,6
2	80	16	4	4,3	2,05	2,0
3	80	15	5	5,5	2,13	2,4

Из анализа результатов испытаний следует, что при содержании цемента 4 - 5 % наблюдается рост прочности.

Таким образом, для асфальтогранулята рациональным содержанием цемента составляет 4 - 5 %.

Для определения эффективности комплексного укрепления основания с применением асфальтогранулята, добавлением новых материалов цемента, фосфогипса и щебня выбраны следующие составы, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 - Составы укрепленных смесей

№ состава	Содержание, %			
	асфальтогранулят	щебень фр. 20-40 мм	цемент	фосфогипс
1	59	17	4	20
2	60	20	5	15
3	59	15	4	22
4	55	15	5	25

Физико-механические свойства приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Физико-механические свойства укрепленных смесей

№ состава	Плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии, МПа (после 28 суток)	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа после циклов замораживания-оттаивания			Марка по морозостойкости, F	Марка
				10	15	25		
1	2,14	3,5	0,5	3,0	2,6	-	F15	M20
2	2,16	3,7	0,7	3,2	2,8	-	F15	M20
3	2,19	4,6	0,8	4,4	3,9	3,5	F25	M40
4	2,20	3,9	0,7	3,5	3,0	-	F15	M20

По результатам лабораторных исследований лучшие показатели были достигнуты в составе смеси из асфальтогранулята составляет - 22 %, щебень фр. 20-40мм - 15 %, цемент - 4 % и вода - 4,1 %.

Для дальнейшего апробирования АО «КазАвтоЖол» выделил участок среднего ремонта на автомобильной дороге республиканского значения «Павлодар - Успенка-гр.РФ» КМ 32 + 950 по КМ 32 + 837. Строительство опытного участка выполнила подрядная организация ТОО «АЗА» 14 сентября 2021 г. Устройство опытного участка осуществлялось комиссионно в присутствии представителей АО НК «КазАвтоЖол», РГП на ПХВ по Павлодарской области, АО «КаздорНИИ», ТОО «Казфосфат».

Материал по проекту: Смесь из асфальтогранулята - 59,5 %, щебня фр.20-40 месторождения Экибастузское-1 - 19,1 %, портландцемента марки М400-ДО 20 Цементного завода «Семей» - 3,1 %, бокситного шлама - 14,2 % вода - 4,1 %.

Материал опытного участка: Смесь из асфальтогранулята - 59,0 %, щебня фр.20-40 месторождения Экибастузское-1 - 15,0 %, портландцемента марки М400-ДО 20 Цементного завода «Семей» - 4,0 %, фосфогипса производства ТОО «Казфосфат» - 22 % вода - 4,1 %.

Объем материала на 113 м: асфальтогранулята 161,2 тн, щебня фр. 20-40 мм - 41 тн, портландцемента марки М400-ДО 20 - 11 тн, фосфогипса 60 тн. Всего 273,2 тн смеси. Процесс устройства опытного участка отражен на рисунке 2.



Рисунок 2 - Устройство опытного участка на участке автомобильной дороги «Павлодар - Успенка-гр.РФ» КМ 32 + 950 по КМ 32 + 837.

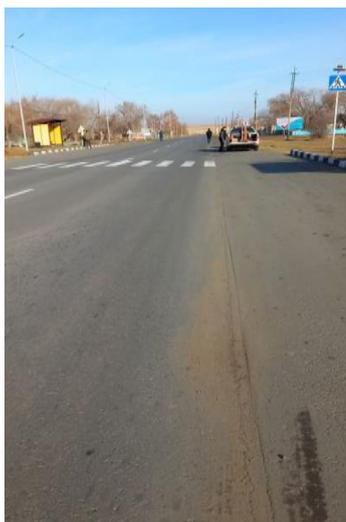


Рисунок 3 - Состояние опытного участка на участке автомобильной дороги «Павлодар - Успенка-гр.РФ» КМ 32 + 950 по КМ 32 + 837.

Приготовление укрепленной смеси производилось на производственной базе ТОО «Аза» методом смешения на месте. Доставки материалов производилась автомобилями самосвалами КАМАЗ с прицепами и накрыванием приготовленной смеси брезентом. Далее автогрейдер X CMG CR 215 распределил материал по всей длине опытного участка, затем однопроходным прохода Ресайклера WR 200 было выполнено перемешивание смеси материалов с асфальтогранулятом и водой. Уплотнение производилось катком ХР 262 массой 26 тн за 16 проходов по одному следу [6].

В течение двух лет проводились обследования опытного участка. Мониторинг и отбор образцов производился комиссионно в присутствии представителей АО НК «КазАвтоЖол», РГП на ПХВ по Павлодарской области, АО «КаздорНИИ», ТОО «Казфосфат». Результаты обследования приведены на рисунках 3,4.



Рисунок 4 - Состояние контрольного участка с применением бокситного шлама КМ 32 -КМ 31+840 на автомобильной дороге «Павлодар-Успенка - гр. РФ»

Результаты испытаний кернов, отобранных с контрольного и опытного участков приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты испытаний кернов, отобранных по результатам обследований, проведенных в 2022-2023 гг. на контрольном и опытном участках автомобильной дороги «Павлодар-Успенка».

Место отбора проб	Толщина слоя, см	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Марка по морозостойкости, F	Марка
2022 год					
Опытный участок					
КМ 32+850 справа	24	4,0	0,85	F25	M 40
КМ 32+930 слева	22	4,1	0,90	F25	M 40
Требования СТ РК 973-2015	20 по проекту	Не менее 4,0	Не менее 0,8	Не менее F25	M 40
Контрольный участок					
КМ 31+995 слева	21	4,7	1,1	F25	M 40
КМ 31+845 справа	23	4,2	1,0	F25	M 40
Требования СТ РК 973-2015	20 по проекту	Не менее 4,0	Не менее 0,8	Не менее F25	M 40
2023 год					
Опытный участок					
КМ 32+830 справа	20,0	5,0	1,1	F25	M 40
КМ 32+850 слева	20,0	5,2	1,2	F25	M 40
Требования СТ РК 973-2015	20 по проекту	Не менее 4,0	Не менее 0,8	Не менее F25	M 40
Контрольный участок					
КМ 31+830 слева	19	3,0	0,70	F25	M 40
КМ 31+840 слева	18,25	3,1	0,75	F25	M 40
Требования СТ РК 973-2015	20 по проекту	Не менее 4,0	Не менее 0,8	Не менее F25	M 40

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Лабораторные исследования выполнены с целью подбора укрепленной смеси марки М40 (асфальтогранулят укрепленный цементом и фосфогипсом), требуемой по проекту.
- Фосфогипс по активности является слабоактивным (СА).
- Применение в составе асфальтогранулята 15-25 % фосфогипса и 4-5 % цемента позволяет получить укрепленный материал прочностью М20 и М40, морозостойкостью F15 и F25.
- При укреплении асфальтогранулята фосфогипсом – 22 %, щебень фр. 20-40мм – 15 % и цемента марки М400 – 4% позволяет получить укрепленный материал марки М40 и морозостойкостью F25.
- Увеличение фосфогипса до 25 % ведет к понижению прочности и морозостойкости.
- Таким образом, оптимальное содержание фосфогипса в асфальтогрануляте составляет - 22 %, щебень фр. 20-40мм – 15 % цемент - 4% и вода - 4,1 %.
- После двух лет эксплуатации на опытном участке обнаружено десять температурных трещин, которые saniрованы вязким дорожным битумом, других дефектов не обнаружено.
- Марка по прочности укрепленного основания с применением отходов промышленности ТОО «Каз-фосфат» фосфогипса соответствует М 40 и требованиям проекта.
- На контрольном участке выявлено семнадцать температурных трещин (количество трещин увеличилось на 54 % по сравнению с 2022 годом), они saniрованы вязким дорожным битумом, а также деформации в виде шелушения и выдавленной асфальтобетонной смеси в процессе производства работ большегрузным транспортом в виду отсутствия объездной дороги, которые увеличились в размерах – длина участка 12 м, ширина от 20 см до 80 см. Деформации не устранены, обработаны вязким битумом.
- У укрепленного материала с применением промышленности бокситного шлама по сравнению с 2022 годом наблюдается снижение марки по прочности с М40 на М 20, и не соответствует требования проекта.
- Укрепленный слой основания с использованием асфальтогранулята с добавлением новых материалов щебня фр. 20-40 мм, цемента и фосфогипса рекомендуется применять в слое основания капитального и облегченного типа на автомобильных дорогах I-V технической категории с учетом климатических условий региона проведения работ по строительству (реконструкции), капитальному или среднему ремонту.
- Укрепленный материал включен в Реестр новых технологий и дорожно- строительных материалов, ознакомьтесь со всеми материалами возможно по ссылке www.rcmbase.kz.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Достижения Казахстанской дорожной науки. Внедрение новых материалов и технологий // Вестник № 1-2(49-50). 2016 - с.33-43.

[2] Паспорт безопасности химической продукции № 3-20.1121.3 .KAZ.1 от 4 февраля 2019 г, выданный комитетом индустриального развития и промышленной безопасности

[3] ГОСТ 125-2018 Вяжущие гипсовые. Технические условия.

[4] СТ РК 973-2015 Материалы каменные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.

[5] СТ РК 1218-2003 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

[6] Р РК 218-24-03 Рекомендации по ремонту автомобильных дорог с использованием технологии холодного ресайклинга.