



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ КӨЛКЕ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫ КОМИТЕТІ
КОМИТЕТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ
КАЗАХСТАНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

QAZJOLGZI

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

QAZAQ HIGHWAY
SCIENCE AND INNOVATION



QAZJOLGZI

ҚАЗАҚСТАН ЖОЛ ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ

«ҚазжолҒЗИ» АҚ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АО «КаздорНИИ»

QAZAQ HIGHWAY SCIENCE AND INNOVATION

Рецензируемый журнал открытого доступа, зарегистрированный Министерством культуры и информации Республики Казахстан

Свидетельство о постановке на учет № KZ25VPY00119665 от 26.04.2024

ISSN (Online): 3105-7160

Учредитель: АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт»

Тематическая направленность: публикация научных материалов по вопросам проектирования, строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений, а также диагностики автомобильных дорог

БАС РЕДАКТОРЫ – ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – кандидат технических наук, руководитель научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ»

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Амирбаев Ерик Дихамбаевич – Вице-президент АО «КаздорНИИ»

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – кандидат технических наук, руководитель научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ»

Ашимова Салтанат Жандарбековна – доктор PhD, руководитель отдела ДСМиНТ Филиала АО «КаздорНИИ» г. Алматы

Тілеу Кұрманғазы Байғазыұлы – доктор PhD, руководитель управления цифровизации

Токпатаева Райхан Уалихановна - доктор PhD, старший специалист лабораторного отдела, Школа Строительной Инженерии им. Лайлс, Университет Пурдью (Purdue University)

Жумагулова Адия Аскаровна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, и.о. доцента кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Жумамуратов Манарбек Бахтиярұлы – младший научный сотрудник научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь

Смагулова Мария Кусаиновна – младший научный сотрудник научного центра исследований и разработок АО «КаздорНИИ», ответственный секретарь

Периодичность выхода: 4 раза в год

Адрес: Республика Казахстан, г. Астана, ул. Жекебатыр, 35

Тел.: +7 (7172) 72-98-17

E-mail: qazjolgzi@gmail.com

Сайт: <https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru>

МАЗМУНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

1. *К. Мухамбеткалиев, А. Айкенова, М. Смагулова, М. Жумамуратов*
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АМРТ** 4
2. *С. Сатаева, А. Уразова, Д. Назарова, С. Ермуханова, Ф. Ахметова*
**МУНАЙ ШЛАМЫН ҚОСПА РЕТІНДЕ ПАЙДАЛАНУ
АРҚЫЛЫ АСФАЛЬТБЕТОН ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН 18
ӘЗІРЛЕУ**
3. *Б. Чугулев*
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В 28
ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
4. *А. Ахатов, С. Абдуллаев*
**УВЕЛИЧЕНИЕ ДОЛИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЗА 37
СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ БИТУМА**
5. *А. Белый*
**ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ 46
КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ И
ГРАЖДАНСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**
6. *Е. Утепов*
**ПЕШЕХОДНЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ И СПОНТАННЫЕ 58
ДОРОГИ: ФЕНОМЕН НАРОДНЫХ ТРОП**



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i2.001>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АМРТ

К.К. Мухамбеткалиев^{1,2}, А.Е. Айкенова¹, М.К. Смагулова^{1,2*}, М.Б. Жумамуратов¹

¹АО «КаздорНИИ», г. Астана, Республика Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан

*Корреспондент автор: mariya_98.kz@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования физико-механических свойств асфальтобетонных и полимерасфальтобетонных смесей, проведённого с использованием установки динамического нагружения (АМРТ). Целью работы являлось определение динамического модуля упругости и числа текучести, являющихся ключевыми параметрами при проектировании конструктивных слоёв дорожных одежд. В рамках исследования были подобраны составы мелкозернистого плотного асфальтобетона типа Б и смеси типа SP-16 с применением полимерных добавок Butonal и SBS LG501S. Проведены испытания в широком температурном диапазоне и при различных частотах нагружения. Полученные результаты показали, что использование полимерных добавок значительно повышает значения модуля упругости и числа текучести по сравнению с обычными асфальтобетонными смесями, что свидетельствует о повышенной деформационной устойчивости и долговечности материалов. Полученные данные могут быть использованы при обосновании нормативных значений модулей упругости в национальных стандартах Республики Казахстан и при проектировании современных дорожных покрытий.

Ключевые слова: асфальтобетон, полимерасфальтобетон, модуль упругости, число текучести, установка АМРТ, динамическое нагружение, дорожные покрытия, полимерные добавки.

Введение

Являясь крупнейшим в мире государством, не имеющим выхода к открытым морям, и важным сухопутным звеном Великого Шелкового Пути [1], Казахстан всецело зависит от развитости транспортно-логистического комплекса, который обеспечивает инфраструктурные связи между регионами республики и формирует основу транзитно-транспортного потенциала [2].

В настоящее время на территории Республики Казахстан разрабатываются нормативные документы в соответствии с требованиями ГОСТ Р по определению эксплуатационных свойств как битумных вяжущих, так и асфальтобетонной смеси [2]. Одним из таких проектов является СТ РК «Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Методы определения динамического модуля упругости и числа текучести с использованием установки динамического нагружения (АМРТ)», который распространяется на смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон и устанавливает методы определения динамического модуля упругости и числа текучести асфальтобетона

на образцах: с номинальным максимальным размером заполнителя не более 40 мм круглые сита (31,5 мм квадратные сита) с использованием установки динамического нагружения (АМРТ). Расчетные значения модулей упругости асфальтобетонов, используемые при проектировании конструкций дорожных одежд [4], являются одними из важнейших расчетных параметров, на основании которых осуществляется определение напряжений в слоях дорожной одежды и толщин конструктивных слоев.

Методология

Для обеспечения надежности и эффективности дорожных покрытий необходимо проводить исследования и определение их физико-механических свойств. Одним из важных параметров, которые определяются, являются динамический модуль упругости и число текучести. Динамический модуль упругости характеризует способность материала асфальтобетона восстанавливать свою форму после деформации под действием нагрузки. Число текучести отражает способность асфальтобетона деформироваться без разрушения при длительных нагрузках [5].

Для определения динамического модуля упругости и числа текучести асфальтобетона используется методика испытаний с использованием установки динамического нагружения (АМРТ).

Данный метод исследования распространяется на смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон и устанавливает методы определения динамического модуля упругости и числа текучести асфальтобетона на образцах: с номинальным максимальным размером заполнителя не более 40 мм круглые сита (31,5 мм квадратные сита) с использованием установки динамического нагружения (АМРТ).

Для определения динамического модуля упругости и числа текучести асфальтобетона были проведены следующие виды испытания:

- испытание исходных материалов согласно требованиям СТ РК 1225 и ГОСТ Р 58401.1;
- подбор состава асфальтобетона тип Б и SP-16;
- определение динамического модуля упругости на оборудовании АМРТ;
- определение числа текучести на оборудовании АМРТ.

1.1 Испытание исходных дорожно-строительных материалов и органического вяжущего на соответствие требованиям нормативно- технической документации

Для испытания были подобраны составы смесей горячего мелкозернистого плотного асфальтобетона типа Б по СТ РК 1225 и смесь типа SP-16 согласно ГОСТ Р 58401.1 с применением модифицирующих добавок и без них. При приготовлении смесей использовались следующие исходные материалы:

- щебень из гравия фракции 15-20 мм (карьер ТОО «Озентас»);
- щебень из гравия фракции 10-15 мм (карьер ТОО «Озентас»);
- щебень из гравия фракции 5-10 мм (карьер ТОО «Озентас»);
- песок из отсевов дробления 0-5мм, (карьер ТОО «Озентас»);
- минеральный порошок активированный МП-1 (ТОО «Жартас-СН»);
- битум марки БНД 70/100 производства ТОО «ПНХЗ»;
- полимерная добавка «Butonal», ТОО «UnedUs Group»;
- полимерная добавка «SBS LG501S», ТОО «Юсиджи».

Результаты испытаний дорожно-строительных материалов представлены в таблицах 1-5.

Таблица 1 – Физико-механические свойства щебня из гравия

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты		
		Фр. 15-20 мм	Фр. 10-15 мм	Фр. 5-10 мм
Дробимость				
- потеря массы, %	не более 10	6,0	7,7	9,5
- марка	1000	1000	1000	1000
Истираемость				
- потеря массы, %	не более 25	16	20	22
- марка	И 1	И 1	И 1	И 1
Морозостойкость				
- потеря массы, %	не более 10 при 10 циклах	5,7	5,6	6,2
- марка	F 50	F 50	F 50	F 50
Содержание игловидных, лещадных зерен, %	св. 10 до 15 группа 2	13 2	11 2	12 2
Водопоглощение, %	не норм.	0,4	0,6	0,8
Сцепление с битумом	удовл.	плохое	плохое	плохое

Таблица 2 – Зерновой состав и набухание песка из отсева дробления

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты
Размер сит, мм:		Полные остатки на ситах, %
5,0		95,4
2,5		61,7
1,25		46,3
0,63		32,4
0,315		25,2
0,16		14,7
0,071		9,6
Содержание глинистых частиц, определяемое методом набухания, %	не более 0,5	0,37

Таблица 3 – Физико-механические свойства активированного минерального порошка ТОО «Жаргас СН»

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты
Зерновой состав, % по массе		
- мельче 1,25 мм	не менее 100	100,0
- мельче 0,315 мм	не менее 90	96,4
- мельче 0,071 мм	не менее 80	82,1
Пористость, % по объему	не более 28,0	25,0
Набухание образцов из смеси минерального порошка с битумом, %	не более 1,5	1,2
Показатель битумоемкости, г на 100 см ³	не более 50,0	34,0
Влажность, %	не более 0,5	0,3

Таблица 4 – Физико-механические свойства исходного битума марки БНД 100/130

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты
Глубина проникания иглы, при температуре 25 °С, не ниже, мм	101-130	114
Температура размягчения по кольцу и шару, не ниже, °С	45	46
Растяжимость при температуре 25 °С, не менее, см	70	>150

Температура хрупкости по Фраасу, не выше, °C	-20	-27
Устойчивость к старению после прогрева при 163 °C		
- изменение массы, не более, %	0,7	-0,05
- изменение температуры размягчения, не более, °C	7,0	5,0

Таблица 5 – Физико-механические свойства битума БНД 100/130 модифицированного «Butonal» и «SBS LG501S»

Наименование показателей	Единица измерения	Норма по НД БМП 70/100 I / II	Фактические результаты	
			«Butonal», 3,5%	«SBS LG501S» 4,0%
Глубина проникания иглы, при температуре 25 °C	×0,1 мм	71-100	92	78
Температура размягчения по кольцу и шару, не ниже	°C	60/58	58	74
Растяжимость при температуре 25 °C, не менее:	см	25/28	>150	48
Эластичность при температуре 25 °C, не менее	%	60	84	98
Температура хрупкости по Фраасу, не выше	°C	-18/-20	-29	-26
Устойчивость к старению под воздействием высокой температуры и воздуха:	°C			
- увеличение КиШ, не более	°C	6	1	5
- падение КиШ, не более		5	-	-
- растяжимость при 25 °C, не менее	см	не норм.	7,0	43
- эластичность при температуре 25° C, не менее	%	50	79	93
Однородность		однородно	однородно	однородно

1.2 Подбор состава асфальтобетонов

Кривая гранулометрического состава подобранных смесей представлены на рисунках 1 и 2.

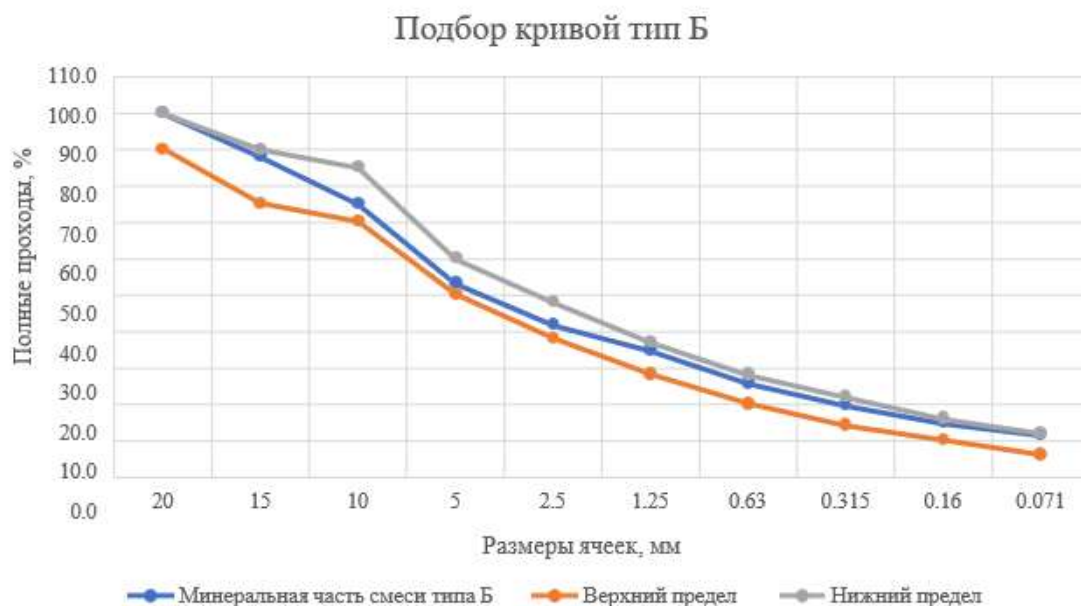


Рисунок 1 - Гранулометрический состав выбранного асфальтобетона тип Б

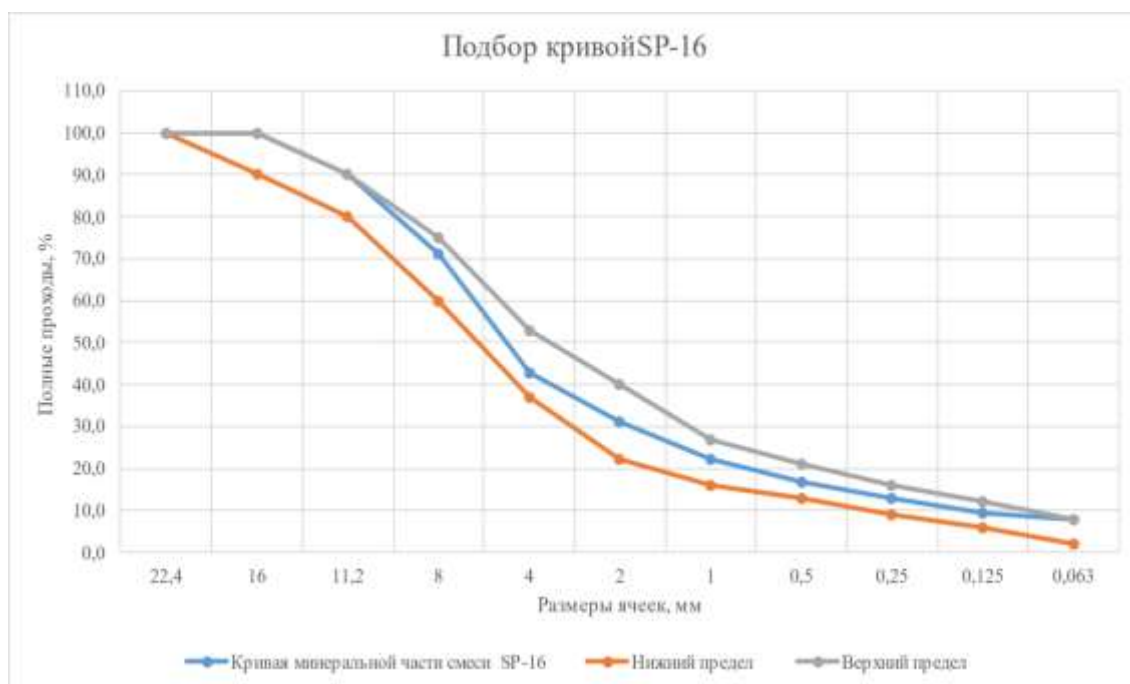


Рисунок 2 - Гранулометрический состав подобранного асфальтобетона тип SP-16

Согласно рисункам 1 и 2, для приготовления смесей приняты следующие составы минеральной части, которые приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Составы минеральной части асфальтобетонных смесей

Мелкозернистый плотный асфальтобетон типа Б		Асфальтобетон типа SP-16	
Компоненты	Содержание, %	Компоненты	Содержание, %
Щебень фр. 15-20 мм	12	Щебень фр. 11,2-16 мм	10
Щебень фр. 10-15 мм	13	Щебень фр. 8-11,2 мм	19
Щебень фр. 5-10 мм	20	Щебень фр. 4-8 мм	25
Песок из отсеков дробления фр. 0-5 мм	48	Песок из отсеков дробления фр. 0-4 мм	40
Минеральный порошок	7	Минеральный порошок	6

Выбор рационального содержания битума в смеси производилось по показателям водонасыщения, остаточной пористости и предела прочности при сжатии при 50 °С. Результаты приведены в таблице 7.

Таблица 7- Физико-механические показатели асфальтобетона тип Б и SP-16

Показатели	А/б тип Б				А/б тип SP-16			
	Содержание битума, % (от массы смеси)			Требования СТ РК 1225	Содержание битума, % (от массы смеси)			Требования ГОСТ Р 58401.1
	4,6	4,8	5,0		4,9	5,1	5,3	
Водонасыщение, % по объему	3,8	2,4	1,3	1,5-4,0	1,3	0,9	0,7	не норм.
Прочность на сжатие при 50 °С	1,5	1,4	1,2	>1,3	1,6	1,4	1,1	не норм.

Остаточная пористость, %	5,3	3,8	2,5	2,5-5,0	4,6	3,9	3,1	4±0,3
--------------------------	-----	-----	-----	---------	-----	-----	-----	-------

Согласно результатам испытания, для мелкозернистого плотного асфальтобетона типа Б рациональное содержание битума составляет 4,8%, для смеси типа SP-16 – 5,1%.

Были заформованы образцы асфальтобетонов с рациональным содержанием битума и определены физико-механические свойства. Результаты приведены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – Физико-механические показатели асфальтобетона тип Б согласно требованиям СТ РК 1225

Наименование показателей	Норма по СТ РК 1225	Фактические результаты
Остаточная пористость, %	от 2,5 до 5,0	3,8
Водонасыщение, % по объему	от 1,5 до 4,0	2,4
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа	не менее 2,5	3,5
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	не менее 1,3	1,4
Предел прочности при сжатии при температуре 0 °С, МПа	не более 13	6,0
Водостойкость, %	не менее 0,85	0,93
Сдвигоустойчивость по: коэффициенту внутреннего трения;	не менее 0,83	0,92
по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С, МПа	не менее 0,38	0,38
Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С, МПа	не менее 3,5 не более 6,5	3,7
Водостойкость при длительном водонасыщении	не менее 0,75	0,82

Таблица 9 – Физико-механические показатели асфальтобетона тип SP-16 согласно требованиям ГОСТ Р 58401.1

Наименование показателей	Норма по ГОСТ Р 58401.1	Фактические результаты
Остаточная пористость, %	4±0,3	3,9
Водонасыщение, % по объему	не норм.	0,9
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа	не норм.	3,3
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	не норм.	1,4
Предел прочности при сжатии при температуре 0 °С, МПа	не норм.	4,9
Коэффициент водостойкости	не менее 0,80	0,88
Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С, МПа	не норм.	3,9
Отношение пыль/вяжущее	0,8-1,6	1,52

Подобранные составы асфальтобетона по физико-механическим свойствам соответствуют требованиям СТ РК 1225 и ГОСТ Р 58401.1.

С подобранной минеральной частью смесей были изготовлены образцы с применением полимерных добавок «Butonal» и «SBS LG501S». Количество вводимой полимерной добавки определялось по показателям физико-механических свойств асфальтобетонов, приготовленных на их основе. Подбор содержания полимерных добавок приведены в таблицах 10-13.

Таблица 10 – Физико-механические показатели полимерасфальтобетона тип Б с применением полимера «Butonal»

Наименование показателей	Норма по СТ РК 1223	Фактические результаты		
		«Butonal», % от массы смеси		
		2,5	3,0	3,5
Остаточная пористость, %	от 2,5 до 5,0	4,3	3,5	3,1
Водонасыщение, % по объему	от 1,5 до 3,5	3,7	2,5	1,9
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	не менее 1,8	1,5	1,7	1,9
Сдвигоустойчивость по: коэффициенту внутреннего трения;	не менее 0,85	0,87	0,87	0,89
	по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С, МПа	не менее 0,45	0,49	0,51
Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С, МПа	не менее 4,0 не более 6,0	3,9	4,1	4,2
Водостойкость при длительном водонасыщении	не менее 0,8	0,83	0,87	0,91

Таблица 11 - Физико-механические показатели полимерасфальтобетона тип Б с применением полимера «SBS LG501S»

Наименование показателей	Норма по СТ РК 1223	Фактические результаты		
		«SBS LG501S», % от массы битума		
		3,5	4,0	4,5
Остаточная пористость, %	от 2,5 до 5,0	3,9	3,5	3,3
Водонасыщение, % по объему	от 1,5 до 3,5	2,4	1,6	1,1
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	не менее 1,8	1,6	1,9	2,3
Сдвигоустойчивость по: коэффициенту внутреннего трения;	не менее 0,85	0,87	0,88	0,90
	по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С, МПа	не менее 0,45	0,51	0,55
Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С, МПа	не менее 4,0 не более 6,0	4,5	5,2	6,1
Водостойкость при длительном водонасыщении	не менее 0,8	0,85	0,88	0,88

Таблица 12 - Физико-механические показатели полимерасфальтобетона тип SP-16 с применением полимера «Butonal»

Наименование показателей	Норма по ГОСТ Р 58401.1	Фактические результаты		
		«Butonal», % от массы смеси		
		2,5	3,0	3,5
Остаточная пористость, %	4±0,3	4,1	3,9	3,7
Коэффициент	не менее 0,80	0,75	0,79	0,84

водостойкости				
Отношение пыль/вяжущее	0,8-1,6		1,4	

Таблица 13 - Физико-механические показатели полимерасфальтобетона тип SP-16 с применением полимера «SBS LG501S»

Наименование показателей	Норма по ГОСТ Р 58401.1	Фактические результаты		
		«SBS LG501S», % от массы битума		
		3,5	4,0	4,5
Остаточная пористость, %	4±0,3	3,6	3,9	4,2
Коэффициент водостойкости	не менее 0,80	0,77	0,81	0,83
Отношение пыль/вяжущее	0,8-1,6	1,5		

По результатам испытания (таблица 9-12), оптимальное содержание полимерных добавок для смесей составляет: «Butonal» – 3,0 % и «SBS LG501S» - 6,0 % от массы битума.

1.2 Определение динамического модуля упругости

Для определения динамического модуля упругости изготовлены образцы высотой 150 мм и диаметром 100 мм на вращательном уплотнителе (гиратор), по три образца из каждого исследуемого состава. Температуры испытания были в диапазоне от +5 °С до +50 °С, частота приложения нагрузки 0,1; 5,0 и 10 Гц.

Термостатирование образцов происходило в климатической камере, встроенного в испытательной установке, способной обеспечивать поддержание температуры с точностью ±0,1 °С.

Образцы термостатировались от 1,5 до 3 часов, в зависимости от испытываемой температуры.

Расчет динамического модуля упругости проводится автоматически программным обеспечением испытательного оборудования. На рисунке 3 приведен внешний вид испытательного оборудования АМРТ.



Рисунок 3 – Испытательное оборудование АМРТ

Результаты определения динамического модуля упругости асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов приведены в таблицах 14-16.

Таблица 14 – Модуль упругости асфальтобетонов при частоте 0,1 Гц

Вид асфальтобетонов	Модуль упругости, МПа, при температуре испытаний °С					
	+ 5	+10	+20	+30	+ 40	+ 50

Мелкозернистый плотный а/б типа Б	6841	5061	3805	2347	1320	652
А/б тип SP-16	6792	5101	3866	2500	1179	705
Мелкозернистый плотный а/б типа Б с полимером «Butonal»	8002	6058	4017	2750	1483	806
А/б тип SP-16 с полимером «Butonal»	8255	6101	4079	3003	1642	841
Мелкозернистый плотный а/б типа Б с полимером «SBS LG501S»	8700	6900	4358	3514	2001	1036
А/б тип SP-16 с полимером «SBS LG501S»	8301	6912	4105	3500	2087	1199

Таблица 15 – Модуль упругости асфальтобетонов при частоте 5,0 Гц

Вид асфальтобетонов	Модуль упругости, МПа, при температуре испытаний °С					
	+ 5	+10	+20	+30	+ 40	+ 50
Мелкозернистый плотный а/б типа Б	6223	4909	3562	2403	1110	597
А/б тип SP-16	6382	4782	3458	2217	1209	610
Мелкозернистый плотный а/б типа Б с полимером «Butonal»	7824	5999	4088	2863	1303	750
А/б тип SP-16 с полимером «Butonal»	7965	6200	3981	2932	1500	807
Мелкозернистый плотный а/б типа Б с полимером «SBS LG501S»	8841	6792	4425	3202	1875	1063
А/б тип SP-16 с полимером «SBS LG501S»	8597	7003	4608	3098	1899	979

Таблица 16 – Модуль упругости асфальтобетонов при частоте 10 Гц

Вид асфальтобетонов	Модуль упругости, МПа, при температуре испытаний °С					
	+ 5	+10	+20	+30	+ 40	+ 50
Мелкозернистый плотный а/б типа Б	6377	4445	3212	2306	1099	503
А/б тип SP-16	6477	4306	3099	2359	1186	550
Мелкозернистый плотный а/б типа Б с полимером «Butonal»	8069	5763	4267	3009	1299	808
А/б тип SP-16 с полимером «Butonal»	8100	5833	4150	3204	1352	769
Мелкозернистый плотный а/б типа Б с полимером «SBS LG501S»	8509	6401	4402	3341	1666	963
А/б тип SP-16 с полимером «SBS LG501S»	8863	6199	4700	3167	1749	881

По результатам приведенных в таблицах 13-15 можно сказать, что динамический модуль упругости полимерасфальтобетонов выше, чем обычных асфальтобетонов. Результаты динамического модуля упругости мелкозернистого асфальтобетона тип Б и асфальтобетона тип SP-16 между собой сопоставимы.

1.4 Определение числа текучести

Число текучести образцов определены при температуре +60 °С при постоянной частоте ($f = 10$ Гц) нагружения. Изготовленные образцы помещают в климатическую камеру, закрепляют датчики деформации по краям и термостатируют образец в течение 240 минут. Затем начинают нагружать образец с постоянной частотой. Установка автоматический фиксирует число текучести при достижении образцом постоянной деформации. Результаты испытания приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты числа текучести асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов

Вид асфальтобетонов	Число текучести, циклы
	Температура +60 °С, $f = 10$ Гц
Мелкозернистый плотный а/б типа Б	1263
А/б тип SP-16	1488
Мелкозернистый плотный а/б типа Б с полимером «Butonal»	2365
А/б тип SP-16 с полимером «Butonal»	2518
Мелкозернистый плотный а/б типа Б с полимером «SBS LG501S»	3679
А/б тип SP-16 с полимером «SBS LG501S»	3555

Согласно полученным результатам, приведенных в таблице 16, при температуре 60 °С и при частоте 10 Гц число текучести полимерасфальтобетонов выше на 2-3 раза, чем у асфальтобетонов без полимеров.

Результаты и Обсуждение

Результаты определения динамического модуля упругости в широком диапазоне температур (+5 °С – +50 °С) и частот (0,1; 5,0 и 10 Гц) показали устойчивую тенденцию увеличения жесткости асфальтобетона при добавлении полимеров. Особенно высокие значения модуля упругости зафиксированы у образцов с добавкой SBS LG501S, что свидетельствует о повышенной способности этих смесей сопротивляться деформациям под нагрузкой.

Результаты испытаний числа текучести при температуре +60 °С также подтвердили преимущества полимерасфальтобетонов. Число текучести у модифицированных образцов в 2–3 раза выше, чем у немодифицированных, что говорит о повышенной деформационной устойчивости материала при длительном воздействии нагрузки.

Сравнение асфальтобетонов типа Б и SP-16 показало, что их эксплуатационные характеристики находятся на сопоставимом уровне, что позволяет использовать оба типа смесей при проектировании конструктивных слоев дорожных одежд, в зависимости от проектных условий и требований.

Таким образом, внедрение полимерных добавок в состав асфальтобетонных смесей может стать одним из эффективных путей повышения долговечности и надежности дорожных покрытий в условиях климатических колебаний и интенсивных транспортных нагрузок.

В ходе экспериментального исследования была проведена оценка эксплуатационных характеристик асфальтобетонных и полимерасфальтобетонных смесей с применением

установки динамического нагружения (АМРТ). Полученные данные позволили сделать следующие научно обоснованные выводы:

Заключение

Введение полимерных добавок «Butonal» и «SBS LG501S» в состав асфальтобетонных смесей существенно улучшает их физико-механические свойства, в том числе динамический модуль упругости и число текучести. В частности, при использовании полимеров наблюдается значительное увеличение модуля упругости по сравнению с немодифицированными смесями, особенно в интервале температур от +20 °С до +50 °С. Кроме того, увеличение числа текучести более чем в два раза по сравнению с обычными смесями демонстрирует высокую устойчивость к ползучести и способность сохранять форму под длительным воздействием нагрузки. Особенно эффективным оказался модификатор SBS LG501S, обеспечивший наивысшие значения обоих параметров. Эти результаты свидетельствуют о перспективности применения полимерных добавок для повышения долговечности и эксплуатационной надежности дорожных покрытий. Температурная устойчивость полимерасфальтобетонных смесей значительно превышает аналогичные показатели традиционных асфальтобетонов. При испытаниях в диапазоне температур от +5 °С до +50 °С модифицированные смеси сохраняли более высокие значения модуля упругости, что свидетельствует о меньшей чувствительности к температурным изменениям. Особенно устойчивыми к снижению жесткости при повышении температуры оказались смеси с добавкой SBS LG501S, демонстрируя превосходное поведение как при низких, так и при высоких температурах. Это позволяет использовать данные смеси в климатических зонах с выраженной сезонной амплитудой температур и высоким трафиком. Повышенные значения числа текучести полимерасфальтобетонных смесей, полученные при испытаниях на установке АМРТ при температуре +60 °С и частоте 10 Гц, указывают на их высокую устойчивость к пластическим деформациям. Значения данного параметра для полимерасфальтобетонов оказались в 2–3 раза выше по сравнению с обычными асфальтобетонами, что свидетельствует о меньшей склонности к образованию колеи и разрушений в условиях длительных и повторяющихся нагрузок. Наивысшие показатели устойчивости к текучести получены для смеси с добавкой SBS LG501S, что делает её предпочтительной для применения в верхних слоях дорожных одежд, подверженных интенсивному трафику и температурным воздействиям.

Проведённые испытания подтвердили сопоставимость эксплуатационных характеристик асфальтобетона типа Б и смеси типа SP-16. Оба типа демонстрируют устойчивые физико-механические свойства как в обычном, так и в модифицированном виде, что свидетельствует о возможности их взаимозаменяемости при проектировании дорожных покрытий в зависимости от доступности сырья и конструктивных требований. Использование установки динамического нагружения (АМРТ) доказало свою эффективность как инструмента для комплексной оценки эксплуатационных свойств асфальтобетонных материалов. Методика позволяет с высокой точностью определить значения модуля упругости и числа текучести при различных температурных и частотных режимах, что обеспечивает надёжную оценку поведения материала в условиях эксплуатации. Полученные результаты могут быть использованы в целях актуализации нормативной базы Республики Казахстан. В частности, значения модуля упругости и числа текучести, определённые по методике АМРТ, могут служить обоснованной основой для установления нормативных требований к современным дорожным покрытиям, что будет способствовать повышению долговечности и качества автомобильных дорог.

Исследование подтвердило эффективность полимерных добавок в повышении эксплуатационных свойств асфальтобетонных смесей, а также важность применения метода АМРТ для их комплексной оценки. Полученные данные имеют практическую значимость и могут быть использованы при проектировании дорожных одежд, выборе

материалов и разработке нормативно-технической документации. Для дальнейшего совершенствования технологии рекомендуется расширить номенклатуру полимерных добавок и исследовать поведение модифицированных смесей в реальных условиях эксплуатации, с учётом климатических, нагрузочных и конструктивных факторов.

Список литературы

1. Дюсикеева А. К. Внешнеполитические аспекты реализации транспортной политики казахстана. – 2023.
2. Исабеков А. Р. Совершенствование торговых возможностей республики казахстан с учётом транспортного потенциала. – 2023.
3. Бусел А. В. и др. Инновации в строительстве и эксплуатации дорожно-строительного комплекса. – 2017.
4. Кравченко С. Е. и др. Дорожное строительство и его инженерное обеспечение. – 2021.
5. Веюков Е. В. и др. Проектирование дорожных одежд с учетом процессов старения асфальтобетонных //Инновации и инвестиции. – 2022. – №. 4. – С. 191-195.
6. Оденбах И. А., Таурит Е. Б. Управление работой автомобильных дорог: учебное пособие для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 08.03. 01 и 08.04. 01 Строительство. – 2021.

Сведения об авторах:

Кайрат Мухамбеткалиев – к.т.н., Ғылыми зерттеу және дамыту орталығының меңгерушісі, Ғылыми зерттеу және дамыту орталығы, «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана, Қазақстан, k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Кайрат Мухамбеткалиев – к.т.н., Руководитель Научного центра развития и инноваций, АО «КаздорНИИ», Астана, Казахстан, k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Kairat Mukhambetkaliyev – PhD, Head of the Research and Development Center, Research and Development Center, JSC “KazdorNII”, Astana, Kazakhstan, k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz

Айкенова Асемгуль Есеновна – магистр технических наук, директор департамента ценообразования и сметных норм АО «КаздорНИИ», Астана, Казахстан, a.aikenova@qazjolgzi.kz

Айкенова Асемгуль Есеновна – техника ғылымдарының магистрі, «ҚаздорҒЗИ» АҚ Баға және сметалық стандарттар департаментінің директоры, Астана, Қазақстан, a.aikenova@qazjolgzi.kz

Assemgul Aikenova – Master of Technical Sciences, Director of the Department of Pricing and Estimated Standards of JSC KazdorNII, Astana, Kazakhstan, a.aikenova@qazjolgzi.kz

Смагулова Мария Кусаиновна – техника ғылымдарының магистрі, Жас ғылыми қызметкер, Ғылыми зерттеу және дамыту орталығы, «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана, Қазақстан, smagulovamariya98@gmail.com

Смагулова Мария Кусаиновна – магистр технических наук, младший научный сотрудник Научного центра исследований и разработок, АО «КаздорНИИ», Астана, Казахстан, smagulovamariya98@gmail.com

Mariya Smagulova – Master of Technical Sciences, Junior Researcher, Research and Development Center of KazdorNII JSC, Astana, Kazakhstan, smagulovamariya98@gmail.com

Манарбек Жумамуратов – техника ғылымдарының магистрі, Жас ғылыми қызметкер, Ғылыми зерттеу және дамыту орталығы, «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана, Қазақстан, zhumamuratovmanarbek@gmail.com

Манарбек Жумамуратов – магистр технических наук, младший научный сотрудник Научного центра исследований и разработок, АО «КаздорНИИ», Астана, Казахстан, zhumamuratovmanarbek@gmail.com

Manarbek Zhumamuratov – Master of Technical Sciences, Junior Researcher, Research and Development Center, JSC “KazdorNII”, Astana, Kazakhstan, zhumamuratovmanarbek@gmail.com

Вклад авторов:

Кайрат Мухамбеткалиев: концепция исследования, методология, ресурсы, сбор данных, испытания, моделирование, анализ.

Асемгуль Айкенова: визуализация, интерпретация, редактирование

Мария Смагулова: сбор данных, испытания, анализ

Манарбек Жумамуратов: визуализация, редактирование, анализ

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**АМРТ ӘДІСІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП АСФАЛЬТБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНЫҢ
ПАЙДАЛАНУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

К.К. Мухамбеткалиев^{1,2}, А.Е. Айкенова¹, М.К. Смагулова^{1,2*}, М.Б. Жумамуратов¹

¹«ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы

*Корреспондент автор: mariya_98.kz@mail.ru

Аннотация. Мақалада динамикалық жүктеу қондырғысы (АМРТ) қолданылған асфальтобетон және полимерасфальтобетон қоспаларының физика-механикалық қасиеттерін эксперименттік зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің мақсаты – жол киімдерінің құрылымдық қабаттарын жобалау кезінде негізгі параметрлер болып табылатын динамикалық серпімділік модулі мен ағу санын анықтау. Зерттеу аясында Butonal және SBS LG501S полимерлік қоспалары қолданылған тип В ұсақ түйіршікті тығыз асфальтобетон және SP-16 типті қоспалардың құрамдары таңдалып алынды. Сынақтар кең температуралық ауқымда және әртүрлі жүктеу жиіліктерінде жүргізілді. Алынған нәтижелер көрсеткендей, полимерлік қоспаларды қолдану қарапайым асфальтобетон қоспаларымен салыстырғанда серпімділік модулі мен ағу санының мәндерін айтарлықтай арттырады, бұл материалдардың деформацияға төзімділігі мен ұзақ қызмет ету мерзімінің жоғары екенін көрсетеді. Алынған деректер Қазақстан Республикасының ұлттық стандарттарында серпімділік модульдерінің нормативтік мәндерін негіздеуде және заманауи жол жабындарын жобалау кезінде пайдалануға болады.

Түйінді сөздер: асфальтобетон, полимерасфальтобетон, серпімділік модулі, ағу саны, АМРТ қондырғысы, динамикалық жүктеу, жол жабындары, полимерлік қоспалар.

**STUDY OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONCRETE
MIXTURES USING THE AMPT METHOD**

K.K. Mukhambetkaliyev^{1,2}, A.E. Aikenova¹, M.K. Smagulova^{1,2*}, M.B. Zhumamuratov¹

¹JSC "KazdorNII", Astana, Republic of Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan

*Corresponding author: mariya_98.kz@mail.ru

Abstract. This article presents the results of an experimental study on the physical and mechanical properties of asphalt concrete and polymer-modified asphalt concrete mixtures using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT). The aim of the work was to determine the dynamic modulus and flow number, which are key parameters in the structural design of pavement layers. Within the study, the compositions of fine-grained dense asphalt concrete of type B and SP-16 type

mixtures with the addition of polymer modifiers Butonal and SBS LG501S were selected. Tests were carried out over a wide temperature range and at various loading frequencies. The results showed that the use of polymer additives significantly increases both the dynamic modulus and flow number compared to conventional asphalt mixtures, indicating enhanced deformation resistance and durability of the materials. The obtained data can be used to justify standard values of elasticity moduli in the national standards of the Republic of Kazakhstan and in the design of modern road pavements.

Keywords: asphalt concrete, polymer-modified asphalt concrete, dynamic modulus, flow number, AMPT device, dynamic loading, road pavements, polymer additives.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i2.002>

МҰНАЙ ШЛАМЫН ҚОСПА РЕТІНДЕ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ АСФАЛЬТБЕТОН ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

Сатаева С.С.^{1*}, Уразова А.Ф.¹, Назарова Д.С.¹,
 Ермуханова С.Т.¹, Ахметова Ф.Ж.¹

¹Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал,
Қазақстан

*Корреспондент автор: sataeva_safura@mail.ru

Аңдатпа. Мұнай шламы құрамы жағынан асфальтбетон қоспасының маңызды құрамдастарының бірі болып табылатын битумға ұқсас. Сондықтан мұнай қалдықтарын асфальтбетон өндірісінде жергілікті топырақтарды нығайту үшін органикалық байланыстырғыш ретінде де, органикалық минералды қоспаларды алу үшін байланыстырғыш ретінде де қолдануға болады. Жол құрылысында мұнай шламын пайдалану табиғи ресурстарды сақтауға, экологиялық жағдайды жақсартуға, құрылыс материалдарының құнын төмендетуге мүмкіндік береді.

Жұмыста I типті В маркалы асфальтбетон қоспасының физика-механикалық қасиеттері зерттелді. Асфальтбетонның пайдалану сипаттамаларын жақсарту үшін қоспа ретінде «Жайық Мұнай» (Орал) мұнай өндіруші кәсіпорнының мұнай шламы пайдаланылды.

Асфальтбетон қоспасына 5, 10 және 15% мөлшерде мұнай шламы қосылды. 5% мұнай шламын пайдалану кезінде асфальтбетонның қасиеттерінде айтарлықтай өзгерістер байқалмайды. 1,5% май қосу қысу шегін (көлем бойынша 0,03%) және ығысу тұрақтылығын ішкі үйкеліс коэффициенті бойынша (көлем бойынша 0,01%) төмендетеді. Мұнай шламын пайдаланудың оңтайлы мөлшері 10 % болып табылады, ол сығымдалу беріктігін көлем бойынша 0,07%, суға төзімділігін 0,02% арттырады және сумен қанығуды көлем бойынша 0,28% төмендетеді, бұл асфальтбетонның сапасына оң әсер етеді.

Асфальтбетонның мұнай шламын қосқанға дейінгі және одан кейінгі қасиеттері (сығылуға беріктігі, суға төзімділігі, суға қанығуы, ығысуға төзімділігі) зерттелді. Мұнай шламын қоспа ретінде пайдалану туралы қорытынды жасалды. Мұнай шламын пайдаланып асфальтбетон қоспасын өндіру технологиясы әзірленді, бұл оның құнын төмендетуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: мұнай шламы, асфальтбетон қоспасы, қысу күші, суға қанықтығы, суға төзімділігі, ығысуға төзімділігі.

Кіріспе

Қазіргі уақытта мұнай өнеркәсібінің дамуымен қалдықтардың пайда болу және жинақталу проблемасы өзекті болуда. Мұнай қалдықтарының табиғи объектілерге әсері өндірілетін көмірсутектердің улылығымен, олардың құрамындағы радиоактивті элементтермен, технологиялық процестерде қолданылатын химиялық заттардың көптігімен, процестердің экологиялық қауіпсіздігінің жеткіліксіздігімен түсіндіріледі. Мұнай қалдықтарында болатын ластаушы заттар суда жоғары ерігіштігімен және

ұшқыштығымен сипатталады, сонымен қатар олардың өздері еріткіш болып табылады және басқа заттарды шоғырландыра алады. Осының барлығы мұнай қалдықтарының табиғи ортамен, әсіресе экологиялық жүйелермен жанасу қаупін тудырады [1].

Мұнай шламы – мұнай өндіру мен өңдеудің ең ірі қалдық өнімі және қоршаған ортаға қауіпті. Ұзақ мерзімді сақтау кезінде мұнай шламы ақырында әрқайсысының өзіндік қасиеттері бар бірнеше қабаттарға бөлінеді [2].

Үстіңгі қабат «сумен толтырылған мұнай өнімі». Бұл қабат 70-80% майлар, 6-25% асфальтендер, 7-20% шайырлар, 1-4% парафиндерден тұрады. Судың мөлшері 5-8% аспайды.

Орташа қабат, көлемі салыстырмалы түрде аз, судағы мұнай эмульсиясы болып табылады. Бұл қабатта 70-80% су және 1,5-15% механикалық қоспалар бар.

Келесі қабат толығымен 1,01-1,19 г/см³ тығыздығы бар тұндырылған минералданған судан тұрады.

Төменгі қабат әдетте қатты фазаны білдіреді, оның ішінде 45% дейін органикалық заттар, 52-88% қатты механикалық қоспалар болады. Төменгі лай гидратталған масса түрінде берілгендіктен ондағы судың мөлшері 25%-ға дейін болуы мүмкін [3].

Шикі мұнайды өндіру, өңдеу және тасымалдау кезінде кәдеге жаратуға болатын мұнай шламы түзіледі. Мұнай шламын қайта өңдеу өнеркәсіптің маңызды міндеттерінің бірі болып табылады, өйткені ол бастапқы шикізатты алдын ала талдау және оңтайлы технологияны таңдау шартымен адам өмірінің процесінде қайта өңдеуге және екінші реттік пайдалануға енгізуге арналған бағалы шикізат болып табылады [4, 5].

Мұнай қалдықтарының техногендік әсерінің нәтижесінде геоэкологиялық ортаның табиғи жағдайының айтарлықтай өзгеруі, оның жер асты суларының табиғи қорғалуының төмендеуі, геохимиялық және геомеханикалық процестердің белсендіруі, табиғи микробиоценоздың өзгеруі байқалады [6,7].

Мұнай шламының болуы мен құрамын, сонымен қатар оны жою және өңдеу әдістерін зерттеу мәселесі бірқатар ғылыми жұмыстардың алғышарты болып табылады.

Жұмыс [8] құрамында мұнай бар қалдықтармен топырақтың ластануының экологиялық мониторингін арналған. Авторлар биологиялық сынақ объектілерін пайдалана отырып, мұнай өнімдерімен ластанған топырақтардың уыттылық дәрежесін анықтау үшін эксперименталды зерттеулер жүргізді: жасыл протококк балдырлары хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) және шаян тәрізді *Daphnia magna* Straus. Жүргізілген зерттеулер топырақтың мұнай өнімдерімен улы ластануын анықтау үшін биотестілеу әдістерін қолданудың тиімділігін растайды.

Мұнай шламы құрамы жағынан битумға ұқсас. Мұнай шламының құрамында битум сияқты 40-60% майлар, 20-40% шайырлар, 10-25% асфальтендер, 1-3% карбендер мен карбоидтар, сонымен қатар аз мөлшерде фенолдар мен парафиндер (1% дейін) болады. Құрылымы бойынша битумдар асфальтендердің және мұнай майларының ортасындағы (дисперстік орта) шайырлардың бір бөлігінің (дисперсті фаза) күрделі коллоидты ерітінділері болып табылады [9].

Мұнай шламында асфальт пен шайырдың көп мөлшерінің болуы оны жол құрылысында қиыршық тас қоспасының сапасын жақсартатын байланыстырғыш ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Мұнай шламын пайдалану беріктікті арттырады, суды сіңіруді азайтады және жол төсемдерінің құнын төмендетеді.

Мысалы, Коренкова С.Ф. және басқалары [10] әртүрлі шығу тегі мұнай шламын пайдаланып жол құрылысына арналған материалдар әзірленді. Оларға мұнай-топырақ қоспасы, бетон қоспасы, беріктігі жоғары газдалған бетон, асфальтбетон қоспасы [11], мұнай өңдеу зауыттарының ағынды суларын тазарту кезінде түзілетін мұнай шламы негізіндегі шламды бетон және мұнай өндірісінің шламы жатады [12].

Жұмыста [13] мұнай өндірісінің қалдықтарын жоюдың негізгі әдістері талданған. Мұнай шламын өңдеу және қайталама өнім алу технологиялары қарастырылған. Бұрғылау

ерітіндісін пайдалана отырып, инертті топырақ, құрылыс материалы, керамзит және басқа да материалдарды алу мүмкіндіктері бағаланды.

Жұмыс авторы [14] құрамында кремнезем бар композицияны мұнай шламымен араластыру арқылы экологиялық таза органоминаралды қоспаны (ОМҚ) алу процесін зерттеген. Төменгі сазды күйдіру температураларында көлемді тығыздығы төмен және қажетті беріктігі бар керамзит өндірісінде ОМҚ қолдану әдісі көрсетілген. Бейтараптандырылған қалдықтарды қалдықтарды өңдеу зауыттарында және құрылыс индустриясында пайдалануға болады.

Жұмыста [15] мұнай шламы сусымалы тығыздығы төмен және беріктігі жоғары керамзит алу үшін пайдаланылды.

Бұрғылау орындарында жылу оқшаулау және конструкциялық бетон үшін кеуекті және тығыз толтырғыштар алу үшін қолданылатын қиыршық тас, қиыршық тас және керамзит өндіру технологиясын жасаған жұмыс [16] қызықты.

Мұнай қалдықтарын сұйық (мұнай өнімдері, су) және қатты фазаларға бөлудің технологиялық шешімі ұсынылған. Мұнаймен ластанған қалдықтарды кейіннен залалсыздандыру химиялық әдіспен жүргізілді. Шламды кәдеге жарату нәтижесінде композиттік материалдарда қоспа ретінде қолданылатын толтырғыш алынады [17].

Монтаев С.А. және т.б. тиімді қабырғалық керамика өндіру үшін мұнай шламын пайдаланып композиттік қоспа әзірледі. Беттік белсенді зат (САС) қызметін атқаратын мұнай шламы негізінде жоғары сапалы қабырғалық керамика алу мүмкіндігі белгіленді. Қабырғалық керамика өндірісінің технологиясында модификациялаушы компонент ретінде мұнай шламын қолданудың іргелі мүмкіндігі дәлелденді. Бұл экономикалық ғана емес, сонымен бірге экологиялық әсерге де қол жеткізеді [18].

Осылайша, мұнай шламын өңдеудің тиімді технологиялары мен экологиялық қолайлы әдістерін іздестіру әзірлеушілердің негізгі міндеті болып табылады, ал маңызды міндет - процестен қалдықтарды тазарту және қайта өңдеу мәселелерін шешу болып табылады.

Бұл жұмыстың мақсаты мұнай шламын кәдеге жарату әдісін және оны асфальтбетон қоспасына қоспа ретінде пайдалану мүмкіндігін әзірлеу болып табылады.

Әдістеме

Зерттеу объектілері «Жайық Мұнай» ТОО мұнай шламы және І сортты асфальтбетонды В типті.

Мұнай шламының маңызды көрсеткіштерінің бірі радиоактивтілік болып табылады. Жердің ішкі бөлігінде орналасқан мұнай, газ, газ конденсаты және онымен байланысты қабат сулары сияқты энергия көздерінде көптеген химиялық элементтер, соның ішінде табиғи радионуклидтер бар.

Адамдарға ең үлкен қауіп радий және соңғы радионуклидтер тұқымдастарының табиғи радиоактивті заттары (уран-238, торий-232, сонымен қатар калий-40 радионуклидтері) болып табылады. Радиоактивті заттардың теңіз түбіне шығуы мұнай мен газ өндіру процесінде болады. Радиоактивті ластанудың белгілі бір деңгейі жер бетінде және тау-кен жабдықтарында радионуклидтердің саны мен құрамына байланысты болады. Негізінде, ластанған аумақтардағы радиациялық жағдай оның параметрлері бойынша қауіпсіз фон шегінде болуы немесе адам денсаулығына қауіпті мәндерден асып кетуі мүмкін [19].

Асфальтбетон қоспасын дайындау тәсілі.

Мұнай шламы 5%, 10% және 15% мөлшерде 160 ° С дейін қыздырылған құмға және қиыршық тасқа беріледі. Содан кейін минералды ұнтақ қосылады, содан кейін компоненттер қоспада біркелкі бөлінеді. Алдын ала қыздырылған (Т=1,40-1,60 °С) битум алынған қоспаға қосылады, содан кейін соңғы араластыру 60 минут бойы жүргізіледі.

Өйткені мұнай шламы салмағы бойынша 5,30% құрайды. механикалық қоспалар, асфальтбетон қоспасына қосылғанда, ол құмның аз мөлшерін алмастыра алады.

В типті І сортты асфальтбетон қоспасының рецептті және мұнай шламы қосылған қоспасы кестеде келтірілген. 1.

1 кесте – Асфальтбетон қоспасын дайындау рецептті

Ингредиент	Асфальтбетон марки І типа Б	Мұнай шламын қосу арқылы, %		
		5	10	15
0,5-2 см түйіршіктері бар қиыршық тас, %	40	40	40	40
Құм, %	40	37,5	34	30
Әктас ұсақталғаннан кейінгі скринингтер, %	4	4	4	4
Активтендірілмеген минералды ұнтақ, %	8	8	8	8
Битум маркасы BND 70/100, %	8	5,5	4	3
Мұнай шламы, %	-	5	10	15

Нәтижелер және талқылау

«Прогресс» спектрометриялық кешені мұнай шламын радиоактивті элементтердің болуына зерттеу үшін пайдаланылды. Сынақ шарттары: температура: 22,0 °С, ылғалдылық 52%. Радиоактивті элементтердің болуына мұнай шламын талдау нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

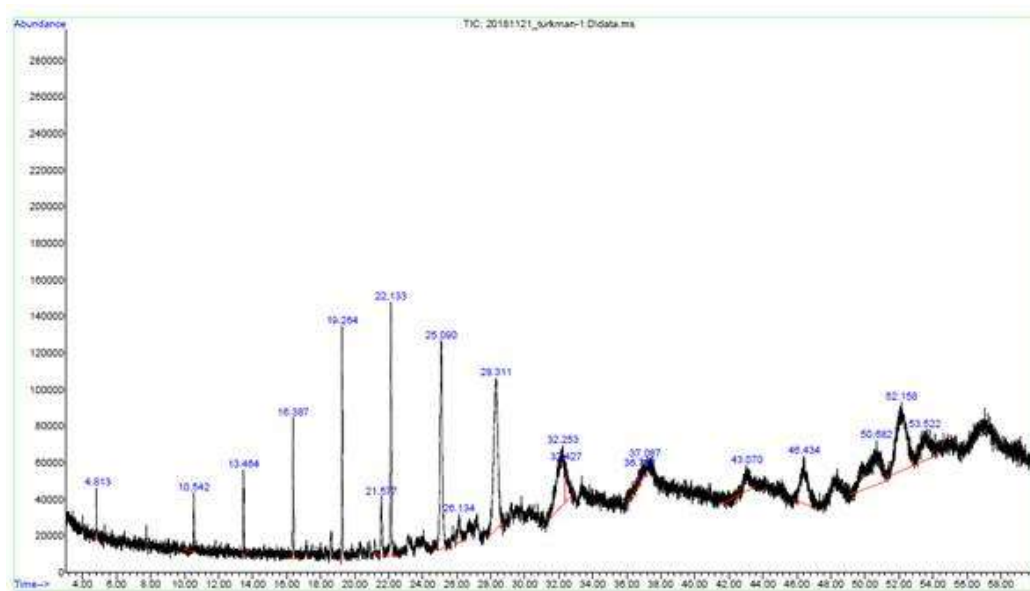
2 кесте – «Жайық Мұнай» ЖШС мұнай шламындағы радиоактивті элементтердің мөлшері

Көрсеткіштердің атауы	Сынақ әдістерінің нормалары	Құрамы	ГОСТ № 30108-94
Радий – 226 Бк/кг	МВИ KZ 07.00.00304-2019	11,5	10-64
Торий – 232, Бк/кг		< АТШ*	56-81
Калий – 40, Бк/кг		78,0	60-278
Цезий – 137, Бк/кг		0,6078	0,4-28
Стронций – 90, Бк/кг		49,0	17-128

АТШ* - анықтаудың төменгі шегі

Кестеде бойынша «Жайық Мұнай» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің мұнай шламындағы радиоактивті элементтердің мөлшері шекті рұқсат етілген концентрациядан аспайды.

Мұнай шламының құрамын зерттеу үшін ИҚ-спектрлік талдау жүргізілді (1-сурет).



1 сурет - «Жайық Мұнай» ЖШС мұнай шламының ИҚ-спектрлік талдауы

1-суреттен көрініп тұрғандай $1600-1699\text{ см}^{-1}$ абсорбциялық сызықтардың болуы, оған парафиндер, полициклді ароматты көмірсутектер, шайырлар және асфальтендер жатады. Олардың нәтижелері ароматты қышқылдардың құрамындағы қышқылдардың $\text{C}=\text{O}$ карбонил топтарын сипаттайды. Сондықтан бұл мұнай шламынан асфальт битумы мен жоғары сапалы байланыстырғыш заттар алуға болады.

Мұнай шламының физикалық-химиялық қасиеттері зерттелді: тығыздығы, салыстырмалы тұтқырлығы, мұнай өнімдерінің татының, судың, механикалық қоспалардың мөлшері. Тәжірибе нәтижелері 3-кестеде берілген.

3 кесте – «Жайық Мұнай» ЖШС мұнайшламының физика-химиялық қасиеттері

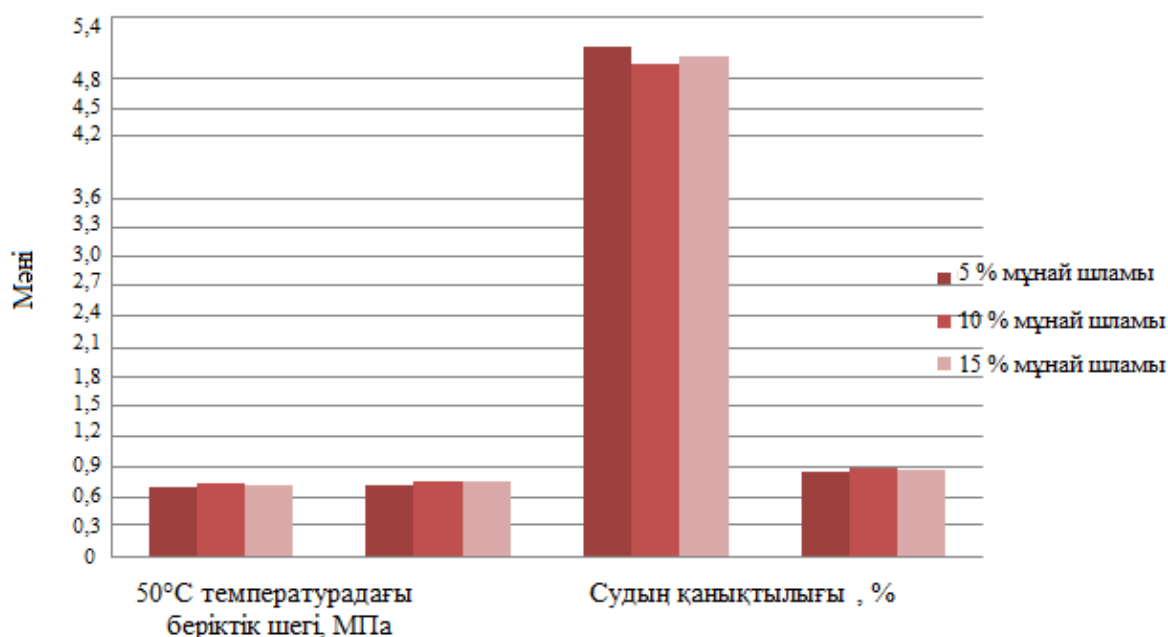
Көрсеткіштер	Мәні
20°C тығыздығы, г/см^3	0,8164
80°C (шартты) тұтқырлық	2,11
Мұнай өнімдерінің құрамы, % масс.	34,50
Су құрамы, % масс.	4,00
Механикалық қоспалардың құрамы, % масс.	5,30

I типті В маркалы асфальтбетонның физика-механикалық қасиеттері зерттелді. Талдау нәтижелері 4-кестеде берілген.

4 кесте – Асфальтбетонның (I типті В маркалы) физикалық-механикалық қасиеттері

Көрсеткіштер	Мұнай шламы, %			Асфальтбетон (I типті В маркалы)	ГОСТ № 9128- 2013
	5	10	15		
50°C температурадағы беріктік шегі, МПа	0,69	0,74	0,71	0,67	0,7 кем емес
Суға төзімділігі, % по объему	0,71	0,75	0,76	0,73	0,7 кем емес
Судың қанықтылығы, %	5,12	4,95	4,99	5,23	4,0 жоғары 10,0 дейін
Ішкі үйкеліс коэффициенті бойынша ығысу орнықтылығы	0,84	0,89	0,86	0,87	0,80 кем емес

Мұнай шламы қосылған асфальтбетонның физика-механикалық қасиеттері зерттелді. Талдаулардың нәтижелері 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – «Жайық Мұнай» ЖШС мұнай шламын пайдаланатын асфальтбетонның физикалық-механикалық қасиеттері

Суреттен көрініп тұрғандай, 5% мұнай шламын қосқанда асфальтбетонның физикалық-механикалық қасиеттері 10% қолданғанға қарағанда төмен мәндерге ие болады. Қоспа ретінде 15% мұнайды пайдалану асфальтбетонның кейбір қасиеттерінің нашарлауына әкеледі. Асфальтбетон қоспасына май қосқаннан кейін асфальтбетонның физика-механикалық қасиеттеріне жүргізілген зерттеулер оңтайлы қосу 10% мұнай екенін көрсетеді, өйткені Бұл кезде қысу күші көлем бойынша 0,07% артады. Бұл мән неғұрлым жоғары болса, асфальтбетонның бұзылу ықтималдығы соғұрлым аз болады. Асфальтбетон қоспасына мұнай шламын қосқаннан кейін суға төзімділік аздап артады (0,02%), ал сумен қанығу көлемі бойынша 5,12-ден 4,95%-ға дейін төмендейді. Жоғары суға қаныққан кезде асфальтбетон шамадан тыс ылғалданады, бұл суық мезгілде қайталанатын мұздату және еріту салдарынан материалдың бұзылуына әкеледі. Бұдан шығатыны, асфальтбетонның суға қанығуының жоғарылауы оның сапасына кері әсер етеді.

Осылайша, жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде асфальтбетон қоспасына қоспа ретінде мұнай шламын пайдалану құнды табиғи ресурс болып табылатын мұнай битумын үнемдеуге мүмкіндік беретіні анықталды. 1 тонна асфальт-бетон өндіру кезінде 30 кг-ға жуық мұнай битумы үнемделеді.

Қорытынды

Мұнай қалдықтарын құрылыс материалдарына қоспа ретінде пайдалану мүмкіндігі зерттелді. Асфальтбетонның мұнай шламын қосқанға дейінгі және одан кейінгі қасиеттері анықталды. Мұнай шламын 10% мөлшерінде органикалық байланыстырғыш ретінде ішінара пайдалану асфальтбетонның қасиеттерін жақсартатыны анықталды: қысу беріктігі артады, суға төзімділік аздап артады және материалдағы барлық бос жерлерді (кеуектер, жарықтар) ылғалмен толтыру қабілетін сипаттайтын суға қанығуы төмендейді. Мұнай өнеркәсібі объектілерінде мұнай шламын қайта өңдеу мәселесін шешумен қатар, асфальтбетонға қоспа ретінде мұнай шламын пайдалану асфальтбетон қоспасының құнын төмендетуге көмектесетін қымбат өнім – мұнай битумын үнемдеуге мүмкіндік береді.

Ұсынылып отырған технология 1 тонна асфальтбетон өндіруде шамамен 30 кг мұнай битумын үнемдеуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Боковикова Т.Н., Шпербер Д.Р. Использование нефтешламов при строительстве дорог // Экология и промышленность России. – 2010. – №4. – С. 34-35.
2. Критерии отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей природной среды: методическое пособие по применению / З.А. Васильченко, В.И. Ковалева, А.В. Ляшенко. – М., 2003. – 25 с.
3. Турсумуратова М.Т., Бекбулатов Ш.Х. Использование шламов в дорожном строительстве // ҚРҰИА хабаршысы, Вестник НИА РК. – 2010. – № 1. – С. 108-115.
4. Булатов А.И. Справочник инженера – эколога нефтедобывающей промышленности по методам анализа загрязнителей окружающей среды / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, В.Ю. Шеметов. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 1999. – Ч. 2: Почва. – 634 с.
5. Francy D.S., Thomas J.M., Raymond R.L., Ward C.H. Emulsification of hydrocarbon by subsurface bacteria // Journal Ind. Microbiol. – 1991. Vol.8, № 4. – p. 237-246.
6. Папозிшвили К.П., Чубинидзе Н.Д. Восстановление продуктивности почвы, нарушенной нефтяным загрязнением /К.П. Папозишвили, Н.Д. Чубинидзе // Технологические аспекты защиты окружающей среды и охрана недр: Тез. докл. науч.-техн. семинара. – Батуми, 1989, 21-22 сент. – Тбилиси, 1989. – С. 16-17.
7. Ручкина О.И. Анализ и дальнейшее направление работ в области утилизации нефтеотходов Пермского региона / О.И. Ручкина // Сборник научных трудов «Вопросы охраны окружающей среды». Вена-Пермь, 2001. – С. 101-104.
8. Васильев, Д.Е. Быков, А.А. Пименов Анализ особенностей и практические результаты экологического мониторинга загрязнения почвы нефтесодержащими отходами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.- 2014. - Т. 16, №1(6). – Р. 1705-1708.
9. Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Федорцов А.П., Пронькин С.П. Исследование механизмов повреждения битумных композитов в условиях воздействия биологических агрессивных сред // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-13. – С. 2787-2800.
10. А. с. 2000121326 Российская Федерация, МКИ С04В 38/08. Газобетон повышенной прочности / Коренькова С.Ф., Макридов Г.В.; опубл. 08.08.2000.
11. Алексеев А.А., Ивановская И.Б. Проблемы обращения с отходами, загрязненными нефтепродуктами и пути их решения / А.А. Алексеев, И.Б. Ивановская // Нефтепромышленное дело. – 2007. – № 12. – С. 128-129.
12. Пат. 2184808 Российская Федерация, МКИ E01C 3/04, 7/36, E 02D 3/12. Шламобетон / Ягудин Н.Г., Коренькова С.Ф., Шеина Т.В.; заявитель и патентообладатель. – Самарская госуд. архит.-строит. акад.; опубл. 10.07.2002
13. Шрам В.Г., Петров О.Н., Сокольников А.Н., Иванов П.Э., Агровиченко Д.В. Технология переработки нефтешлама // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. №3. – С. 121-125.
14. Шпербер Е.Р., Боровикова Т.Н., Шпербер Д.Р. Методы переработки и нефтеотходов // Химия и технология топлив и масел. – 2011. №3 (565). - С.51-56.
15. Пат. 87107 Российская Федерация, Способ обезвреживания бурового шлама с получением из него строительного материала / Горин В.М., Кабанова М.К., Казмалы И.К., Карташов А.А., Токарева С.А., Уксюзов В.Л.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "НИИКерамзит"-№ 2009122101/03; заявл. 10.06.2009; опубл. 20.05.2010, Бюл. №14. – 6 с.
16. Дикинис А.В., Илларионов А.В., Шилов Д.В. Аспекты выбора технологий обезвреживания и утилизации опасных отходов / А.В. Дикинис, А.В. Илларионов, Д.В. Шилов // Экология и промышленность России. – 2010. – № 11. – С. 52-55.

17. Колобова, Е.А. Утилизация нефтешламов для получения аппретированного наполнителя в композиционные материалы / Е.А. Колобова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ, 2014, 324с.

18. Монтаев, С.А., Бисенов, К.А., Монтаева, А.С., Тауышев, О.У., Жарылгапов С.М. Нефтешлам как энерговыделяемый и модифицирующий компонент в технологии строительной керамики / С.А. Монтаев, К.А. Бисенов, А.С. Монтаева, О.У. Тауышев, С.М. Жарылгапов // Казахстан.: Новости науки Казахстана. - 2015. - № 3. - С. 204-218.

Авторлар туралы мәліметтер (үш тілде):

Сапура Саниевна Сатаева – қауымдастырылған профессор, доцент, индустриалды-технологиялық институты, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан, sataeva_safura@mail.ru

Алия Фрунзеевна Уразова – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, индустриалды-технологиялық институты, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан, urazova_17@list.ru

Даурия Сагиндыковна Назарова – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, индустриалды-технологиялық институты, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан, nazarova.ria@mail.ru

Светлана Тасболатовна Ермуханова – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, индустриалды-технологиялық институты, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан, svetok_88-88@mail.ru

Фируза Жантасовна Ахметова – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, индустриалды-технологиялық институты, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан, firuz.92@mail.ru

Сатаева Сапура Саниевна – ассоциированный профессор, доцент, индустриально-технологический институт, Западно-Казакхстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан, sataeva_safura@mail.ru

Уразова Алия Фрунзеевна – магистр технических наук, старший преподаватель, индустриально-технологический институт, Западно-Казакхстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан, urazova_17@list.ru

Назарова Даурия Сагиндыковна – магистр технических наук, старший преподаватель, индустриально-технологический институт, Западно-Казакхстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан, nazarova.ria@mail.ru

Ермуханова Светлана Тасболатовна – магистр технических наук, старший преподаватель, индустриально-технологический институт, Западно-Казакхстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан, svetok_88-88@mail.ru

Ахметова Фируза Жантасовна – магистр технических наук, старший преподаватель, индустриально-технологический институт, Западно-Казакхстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан, firuz.92@mail.ru

Sapura Satayeva – Associate Professor, industrial technology institute, Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Uralsk, Kazakhstan, sataeva_safura@mail.ru

Aliya Urazova – Master of Engineering Sciences, Senior Lecturer, industrial technology institute, Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Uralsk, Kazakhstan, urazova_17@list.ru

Dauriya Nazarova – Master of Engineering Sciences, Senior Lecturer, industrial technology institute, Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Uralsk, Kazakhstan, nazarova.ria@mail.ru

Svetlava Yermukhanova – Master of Engineering Sciences, Senior Lecturer, industrial technology institute, Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Uralsk, Kazakhstan, svetok_88-88@mail.ru

Firuz Akhmetova – Master of Engineering Sciences, Senior Lecturer, industrial technology institute, Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Uralsk, Kazakhstan, firuza.92@mail.ru

Авторлардың үлестері (әр автордың тиісті үлесін көрсетіңіз):

Сатаева Сапура Саниевна – мақала жазу, талдау, өңдеу

Уразова Алия Фрунзеевна – деректер жинау

Назарова Даурия Сагиндыковна – мәтіннің техникалық дизайны

Ермуханова Светлана Тасболатовна – талдау нәтижелерін интерпретациялау

Ахметова Фируза Жантасовна – талдау нәтижелерін интерпретациялау

Мүдделер қақтығысы: жоқ

Жасанды интеллектті (ЖИ) пайдалану: қолданылмайды

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕФТЕШЛАМА В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ

Сатаева С.С.^{1*}, Уразова А.Ф.¹, Назарова Д.С.¹,
Ермуханова С.Т.¹, Ахметова Ф.Ж.¹

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана,
Уральск, Казахстан

*Корреспондент автор: sataeva_safural@mail.ru

Аннотация. Нефтешламы по своему составу схожи с составом битума, который является одним из важных компонентов асфальтобетонной смеси. Поэтому нефтяные отходы можно применять при производстве асфальтобетона, как в качестве органического вяжущего для укрепления местных грунтов так и в качестве вяжущего для получения органоминеральных смесей. Применение нефтешламов в дорожном строительстве позволяет сохранить природные ресурсы, улучшить экологическую обстановку, снизить стоимость строительных материалов.

В работе исследованы физико-механические свойства асфальтобетонной смеси марки I типа Б. Для улучшения эксплуатационных характеристик асфальтобетона в качестве добавки использовали нефтешлам нефтедобывающей компании ТОО «Жайык Мунай» (г. Уральск).

В асфальтобетонную смесь добавляли нефтешлам в количестве 5, 10 и 15%. При использовании 5 % нефтешлама существенных изменений свойств асфальтобетона не наблюдается. Добавление 15 % нефтешлама приводит к уменьшению предела прочности при сжатии (на 0,03 % по объему) и сдвигу устойчивости по коэффициенту внутреннего трения (на 0,01 % по объему). Оптимальным количеством является использование 10 % нефтешлама, при этом повышается предел прочности при сжатии на 0,07 % по объему, увеличивается водостойкость (на 0,02 % по объему), водонасыщение уменьшается на 0,28 % по объему, что положительно влияет на качество асфальтобетона.

Изучены свойства асфальтобетона до и после добавления нефтешлама: предел прочности при сжатии, водостойкость, водонасыщение, сдвигу устойчивости. Сделан вывод о целесообразности использования нефтешлама в качестве добавки. Разработана

технология получения асфальтобетонной смеси с использованием нефтешлама, позволяющая снизить ее себестоимость.

Ключевые слова: нефтешлам, асфальтобетонная смесь, предел прочности при сжатии, водонасыщение, водостойкость, сдвигоустойчивость.

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR PRODUCING AN ASPHALT-CONCRETE MIXTURE USING OIL SLUDGE AS AN ADDITIVE

 Sataeva S.S.^{1*},  Urazova A.F.¹,  Nazarova D.S.¹,
 Ermukhanova S.T.¹,  Akhmetova F.Zh.¹

¹Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Uralsk, Kazakhstan

*Correspondent author: sataeva_safural@mail.ru

Abstract. Oil sludge is similar in composition to bitumen, which is one of the important components of the asphalt-concrete mixture. Therefore, oil waste can be used in the production of asphalt concrete, both as an organic binder for strengthening local soils and as a binder for producing organomineral mixtures. The use of oil sludge in road construction makes it possible to conserve natural resources, improve the environmental situation, and reduce the cost of building materials.

The paper investigates the physico-mechanical properties of asphalt concrete mix grade I type B. To improve the performance characteristics of asphalt concrete, oil sludge from the oil producing company Zhaiyk Munai LLP (Uralsk) was used as an additive.

Add petroleum sludge in the amount of 5, 10 and 15% to the asphalt-concrete mixture. When using 5% oil sludge, there are no significant changes in the properties of asphalt concrete. The addition of 15% oil sludge leads to a decrease in compressive strength (by 0.03% by volume) and shear stability by the coefficient of internal friction (by 0.01% by volume). The optimal amount is to use 10% oil sludge, while increasing the compressive strength by 0.07% by volume, increasing water resistance (by 0.02% by volume), water saturation decreases by 0.28% by volume, which positively affects the quality of asphalt concrete.

The properties of asphalt concrete before and after the addition of oil sludge were studied: compressive strength, water resistance, water saturation, shear stability. The conclusion is made about the expediency of using oil sludge as an additive. A technology has been developed for producing an asphalt-concrete mixture using oil sludge, which makes it possible to reduce its cost.

Keywords: oil sludge, asphalt concrete mixture, compressive strength, water saturation, water resistance, shear stability.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i2.003>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

 **Чугулев Бексултан Дулатович^{1,2}**

¹АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», г. Астана, Казахстан

²Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: beksultan_d@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема утилизации пластиковых отходов и их повторного использования в дорожном строительстве. В условиях роста объемов пластмассового мусора поиск эффективных методов его переработки становится особенно актуальным. Одним из перспективных направлений является введение переработанных пластиковых добавок в состав асфальтобетонных покрытий, что позволяет не только снизить нагрузку на окружающую среду, но и улучшить эксплуатационные характеристики дорожных конструкций.

Результаты испытаний показали, что введение пластиковых отходов в состав асфальтобетонных смесей способствует повышению прочностных характеристик, долговечности покрытия и снижению глубины образования колеи. Полученные данные подтверждают целесообразность применения данной технологии в дорожном строительстве как экологически и экономически эффективного решения.

Ключевые слова: пластиковые отходы, дорожное строительство, полимер-ЩМАС, переработка пластика, модифицированные асфальтобетоны.

Введение

Проблема утилизации пластиковых отходов и их повторного использования в строительстве становится все более актуальной в условиях стремительного роста объемов пластмассового мусора в Казахстане [1]. Одним из перспективных направлений является применение переработанных пластиковых добавок в асфальтобетонных смесях, что позволяет не только снизить нагрузку на окружающую среду, но и повысить эксплуатационные характеристики дорожных покрытий [2].

В данной работе рассматривается эффективность использования модифицирующей добавки в составе полимер-щебеночно-мастичного асфальтобетона (полимер-ЩМАС). Проведены лабораторные исследования, направленные на определение влияния этой добавки на физико-механические свойства материала, его устойчивость к трещиностойкости. Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности внедрения данной технологии в дорожное строительство, что открывает новые горизонты в сфере переработки пластиковых отходов и повышения качества асфальтовых покрытий.

В работе [3] авторы рассматривают проблемы утилизации пластиковых отходов и их повторного использования в дорожном строительстве. Авторы подчеркивают важность

разработки ресурсосберегающих технологий для улучшения качества дорожных покрытий и снижения затрат на утилизацию отходов.

С увеличением объемов производства и потребления пластиковых изделий проблема их утилизации становится все более актуальной. В статье отмечается, что в некоторых странах перерабатывается до 90% отходов, тогда как в России этот показатель значительно ниже. Это создает необходимость в разработке эффективных решений для переработки пластикового мусора.

Основная цель работы заключается в поиске путей решения проблемы утилизации пластиковых отходов и разработке экономичных дорожных покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками. Авторы анализируют существующие конструкции дорожных покрытий, их достоинства и недостатки.

Статья делит дороги на постоянные и временные, описывая различные типы покрытий:

- грунтовые дороги - недолговечные, но экономичные;
- дерево-грунтовые покрытия - быстро возводимые, но требуют регулярного ремонта;
- сборные конструкции - простота монтажа, но высокая стоимость;
- асфальтовые покрытия - популярны благодаря экономичности и простоте обслуживания, но имеют проблемы с прочностью;
- бетонные дороги - долговечные и устойчивые к погодным условиям, но дорогие в укладке.

Авторы акцентируют внимание на преимуществах использования переработанного пластика в дорожных покрытиях:

- снижение затрат на утилизацию пластиковых отходов;
- повышение прочности и долговечности дорожных покрытий;
- возможность создания водонепроницаемых асфальтовых смесей с добавлением пластиковых отходов.

Примеры успешного применения таких технологий включают проекты в Ванкувере и компании VolkerWessels, которые разрабатывают дороги из пластиковых плит [4].

Статья подчеркивает необходимость внедрения инновационных технологий в дорожное строительство для решения экологических проблем и повышения качества инфраструктуры. Использование переработанного пластика может стать важным шагом к более устойчивому будущему в сфере дорожного строительства.

Методология

На первом этапе были проведены испытания компонентов асфальтобетонной смеси, включая:

- щебень фракций 10-20 мм и 5-10 мм – исследованы физико-механические характеристики;
- песок из отсева дробления;
- минеральный порошок;
- битум марки БНД 100/130.

В рамках исследования были проведены испытания полимер-щебеночно-мастичного асфальтобетона (полимер-ЩМАС) с применением модифицирующей добавки. Испытания выполнялись в соответствии с требованиями СТ РК 1218-2003 – «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

Для лабораторных испытаний [5] были подготовлены образцы-цилиндры диаметром 71,4 мм и высотой 71,4 мм. Процесс подготовки включал:

- взвешивание и дозирование исходных материалов (щебень фракций 10-20 мм и 5-10 мм, песок из отсева дробления, минеральный порошок, битум, стабилизирующие и адгезионные добавки);
- нагрев каменных материалов и битума до требуемой температуры (~160 °С);
- смешивание компонентов в лабораторной лопастной мешалке до получения однородной массы;
- формирование образцов методом виброуплотнения или прессования.

Испытания проводились в соответствии с методами, регламентированными СТ РК 1218, и включали следующие показатели:

- средняя плотность смеси (г/см³) – определялась методом гидростатического взвешивания;
- водонасыщение (%) – рассчитывалось по разнице между массой сухого и насыщенного водой образца;
- прочность при сжатии (МПа) – испытания выполнялись при температурах 20 °С и 50 °С путем приложения нагрузки до разрушения;
- трещиностойкость (МПа) – определялась по максимальному сопротивлению при растяжении по косому срезу;
- коэффициент внутреннего трения – вычислялся на основе величины сдвиговой нагрузки, приложенной к образцу;
- сцепление при сдвиге (МПа) – определялось при температуре 50 °С методом прямого сдвига;
- устойчивость к расслаиванию (%) – рассчитывалась как отношение массы отслаивающихся частиц к общей массе образца.

Выбор исходных материалов обоснован имеющимися результатами испытаний щебеночно-мастичных асфальтобетонов, подобранных и апробированных в лаборатории Института и соответствующих требованиям СТ РК 2373.

Для приготовления щебеночно-мастичного полимерасфальтобетона применялись следующие исходные материалы:

- щебень из плотных горных пород фр. 10-20 мм, карьер «Волгодоновка»;
- щебень из плотных горных пород фр. 5-10 мм, карьер «Волгодоновка»;
- песок из отсева дробления щебня фр. 0-5 мм, карьер «Волгодоновка»;
- битум марки БНД 100/130;
- порошок минеральный активированный марки МП-1;
- адгезионная добавка;
- стабилизирующая добавка;
- полимерная добавка.

Щебень фр. 10-20 мм и 5-10 мм, песок из отсева дробления щебня, минеральный порошок и битум были испытаны на соответствие национальным стандартам. Физико-механические свойства исходных материалов приведены в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Физико-механические свойства исходного битума марки БНД 100/130

Наименование показателей	НД на методы испытаний	Норма по НД	Фактические результаты
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при температуре 25 °С	СТ РК 1226	101-130	118
Температура размягчения по кольцу и шару КиШ, °С	СТ РК 1227	не ниже 43	44,3
Растяжимость, см, при температуре 25 °С	СТ РК 1374	не менее 90	121

Таблица 2 – Физико-механические свойства каменных материалов

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты	
		фр. 10-20 мм	фр. 5-10 мм
Дробимость: - потеря массы, % - марка	до 11 включ. 1200	10,2 1200	9,7 1200
Истираемость: - потеря массы, % - марка	не более 25 И1	19 И1	21 И1
Содержание игловидных и лещадных зерен, %	св.10 до 15 группа 2	13,5 2	12,8 2

Таблица 3 – Характеристики пaska из отсева дробления щебня

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты
Содержание зерен %, мельче, мм: - 5,0 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,16 - 0,071	не нормируется	95,6 72,8 45,9 29,4 18,3 10,3 4,2
Содержание глинистых частиц, определяемое методом набухания, %	не более 0,5	0,36

Таблица 4 – Характеристики активированного минерального порошка

№	Наименование показателей	Результаты испытаний	Требования СТ РК 1276
1	Зерновой состав, % по массе: - мельче 1,25 - 0,315 мм - 0,071 мм	100,0 99,5 93,4	не менее 100 не менее 90,0 не менее 80,0
2	Пористость, % по объему	27,2	не более 28,0
3	Показатель битумоемкости, г на 100 см ³	47	не более 50,0
4	Влажность, % по массе	0,1	не более 0,5

Из анализа результатов следует, что каменные материалы соответствуют требованиям СТ РК 1284, СТ РК 2373.

Песок из отсева дробления щебня соответствует требованиям СТ РК 2373.

Порошок минеральный активированный соответствует требованиям СТ РК 1276.

Битум БНД 100/130 соответствует требованиям СТ РК 1373 для марки БНД 100/130.

Подбор минеральной части смеси приведен в таблице 5, кривая гранулометрического состава подобранной смеси показан на рисунке 1.

Qazaq Highway Science and Innovation, 2025, №2
Таблица 5 – Подбор минеральной части смеси

Исходные данные											
№	Наименование материалов										
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
1	Щебень фр.10-20 мм	83,6	26,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Щебень фр.5-10 мм	100,0	100,0	84,0	8,0	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Отсев фр. 0-5 мм	100,0	100,0	100,0	95,6	73,0	46,0	29,0	18,0	10,0	4,0
4	Минеральный порошок	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	99,5	98,5	93,4

Расчетные данные												
№	Наименование материалов	Содержание %, в смеси										
			20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
1	Щебень фр.10-20 мм	61,0	51,0	16,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0
2	Щебень фр.5-10 мм	13,0	13,0	13,0	10,9	1,0	0	0	0	0	0	0
3	Отсев дробления фр. 0-5	14,0	14,0	14,0	14,0	13,4	10,2	6,4	4,1	2,6	1,4	0,2
4	Мин. порошок	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	11,9	11,8	10,4
ИТОГО:		100	90,0	55,2	37,3	26,5	22,5	18,6	16,1	14,5	13,8	11,8
Требования СТ РК 2373-2019			100-90	70-50	42-25	30-20	25-15	24-13	21-11	19-9	15-8	13-8

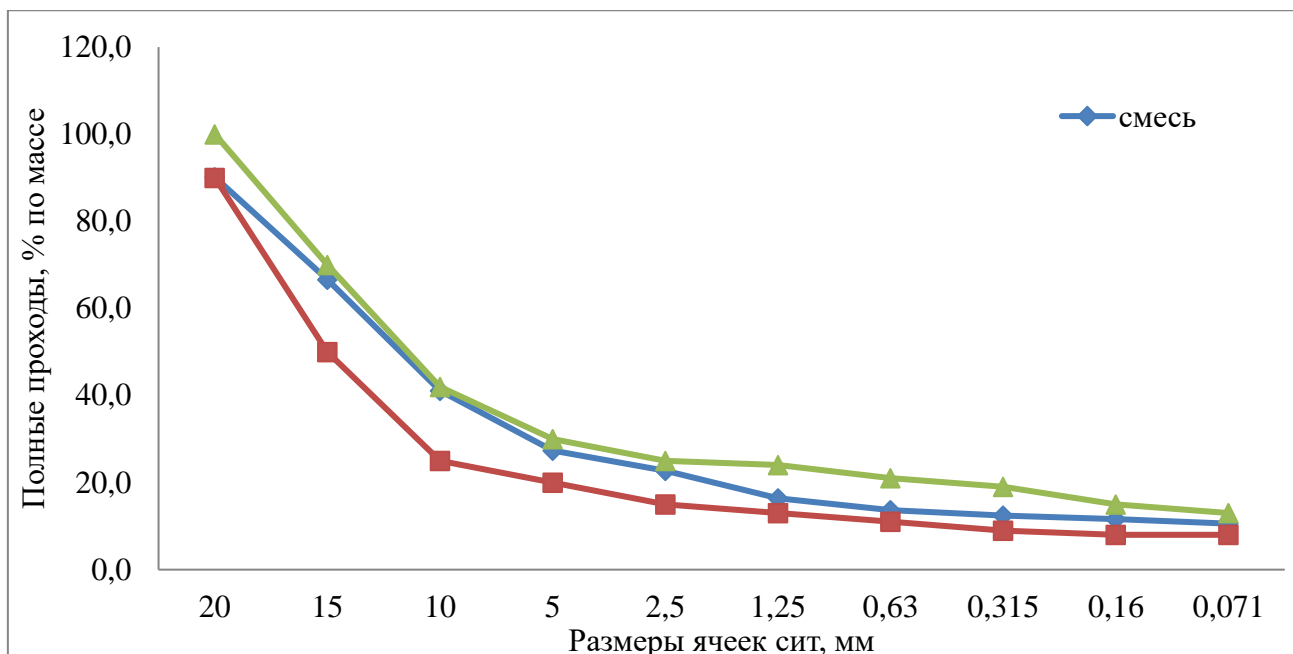


Рисунок 1 – Кривая гранулометрического состава подобранной смеси полимер-ЩМАС 20

Таким образом, для приготовления горячей полимер-ЩМА 20 был принят состав, представленный в таблице 6.

Таблица 6 – Состав для приготовления горячей полимер-ЩМА 20

Наименование	Содержание, %
щебень фр. 10-20 мм	61
щебень фр. 5-10 мм	13
песок из отсева дробления фр. 0-5 мм	14
порошок минеральный активированный	12
стабилизирующая добавка (от массы минеральной части)	0,3
адгезионная добавка (от массы битума)	0,3
модифицирующая добавка (от массы битума)	- 2,5 - 3,0 - 3,5
битум БНД 100/130	5,0

Результаты и Обсуждение

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов с применением модифицирующей добавки и без нее показаны в таблице 7.

Таблица 7 – Физико-механические свойства асфальтобетонов

Наименование показателей	Фактические результаты				Требования НД
	без добавки	с применением модифицирующей добавки			
		2,5%	3,0%	3,5%	
Средняя плотность, г/см³	2,53	2,54	2,55	2,55	не норм.
Водонасыщение, %	3,4	3,0	2,9	2,9	1,0-4,0

Прочность при сжатии при 20 °С, МПа	2,9	2,7	5,8	2,8	≥2,8
Прочность при сжатии при 50 °С, МПа	0,9	0,9	1,6	1,5	≥1,0
Трещиностойкость, МПа	3,1	2,6	3,5	2,7	3,0-6,5
Коэффициент внутреннего трения	0,96	0,98	0,97	0,97	≥0,94
Сцепление при сдвиге при температуре 50°С, МПа	0,26	0,23	0,27	0,26	≥0,25
Устойчивость к расслаиванию, %	0,13	0,14	0,10	0,09	≤0,25

Из анализа результатов следует, что показатели физико-механических свойств подобранного состава полимер-ЩМАС с содержанием модификатора 3,0 % от массы минеральной части, по физико-механическим показателям соответствуют требованиям СТ РК 2373.

Заключение

Согласно результатам испытаний, применение в составе модифицирующей добавки «в количестве 3,0 % позволяет увеличить прочностные свойства в 1,7 раз. Результаты подтверждены в лаборатории.

Подобранный состав полимер-ЩМА 20 с применением добавки 3,0 % от массы битума по всем показателям соответствуют требованиям СТ РК 2373.

Рациональное содержание добавки подбирается в зависимости от породы каменного материала, марки применяемого битумного вяжущего и требуемых эксплуатационных характеристик асфальтобетона.

Список литературы

1. Lygina O., Urazgaliyeva M., Kalaganova N., Rykova I., 2021. Waste management in the context of transition to a circular economy: The case of Kazakhstan. European Journal of Management Issues, 29(2), pp.93-100.
2. Жумагулова А.А., Дюсембинов Д.С., Сабитов Е.Е., Алшинбаева А.М., Бакирбаева А.А., Шахмов Ж.А., 2024. ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ КАЗАХСТАНА. Механика және технологиялар, (2 (84)), pp.207-217.
3. Лысянников А. В., Третьякова Е. А., Лысянникова Н. Н. Переработанный пластик в дорожном строительстве // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 7. С. 105–115.
4. URL: <https://www.volkerwessels.com/en/nieuws/plasticroad-offers-circular-infrastructure-made-plastic-waste-large-scale>
5. СТ РК 1218-2003 Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний.

Сведения об авторах (на трех языках):

Чугулев Бексұлтан Дулатұлы – магистр, инженер, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы, beksultan_d@mail.ru

Чугулев Бексұлтан Дулатович - магистр, инженер, АО «Казакхстанский дорожный научно-исследовательский институт», г. Астана, Республика Казахстан, beksultan_d@mail.ru


Chugulyov Beksultan Dulatovich - Master, engineer, Joint Stock Company 'Kazakhstan Road Research Institute', Astana, Republic of Kazakhstan, beksultan_d@mail.ru

Вклад авторов:

Автор 1 - концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование, получение финансирования.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЖОЛ ҚҰРЫЛЫСЫНДА ПЛАСТИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ

 **Чугулев Бексұлтан Дулатович^{1,2}**

¹АҚ «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты», Астана қ., Қазақстан

²Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

*Корреспондент автор: beksultan_d@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада пластикалық қалдықтарды кәдеге жарату және оларды жол құрылысында қайта пайдалану мәселесі қарастырылады. Пластикалық қоқыс көлемінің өсуі жағдайында оны өңдеудің тиімді әдістерін іздеу әсіресе өзекті болады. Перспективалы бағыттардың бірі асфальтбетон жабындарының құрамына қайта өңделген пластикалық қоспаларды енгізу болып табылады, бұл қоршаған ортаға жүктемені азайтып қана қоймай, жол құрылымдарының пайдалану сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік береді.

Сынақ нәтижелері асфальтбетон қоспаларының құрамына пластикалық қалдықтарды енгізу беріктік сипаттамаларын, жабынның беріктігін арттыруға және калибрдің пайда болу тереңдігін төмендетуге ықпал ететіндігін көрсетті. Алынған деректер осы технологияны жол құрылысында экологиялық және экономикалық тиімді шешім ретінде қолданудың орындылығын растайды.

Ключевые слова: пластикалық қалдықтар, жол құрылысы, полимер-ЩМАС, пластмассаны қайта өңдеу, модификацияланған асфальтбетондар.

THE USE OF PLASTIC WASTE IN ROAD CONSTRUCTION

 **Beksultan Chugulyov^{1,2}**

¹«Kazakhstan Highway Research Institute» JSC, Astana, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Correspondent author: beksultan_d@mail.ru

Abstract. The article discusses the problem of plastic waste disposal and reuse in road construction. With the growing volume of plastic waste, the search for effective recycling methods is becoming particularly relevant. One of the promising directions is the introduction of recycled plastic additives into the composition of asphalt concrete coatings, which allows not only to reduce the burden on the environment, but also to improve the operational characteristics of road structures.

The test results showed that the introduction of plastic waste into the composition of asphalt mixtures helps to increase the strength characteristics, durability of the coating and reduce the depth of track formation. The data obtained confirm the expediency of using this technology in road construction as an environmentally and economically efficient solution.

Keywords: plastic waste, road construction, polymer-CSMAC, plastic recycling, modified asphalt concrete.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i2.004>

УВЕЛИЧЕНИЕ ДОЛИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ БИТУМА

<https://orcid.org/0000-0002-4895-2372>  Ахатов Абдусамат^{1*}, Абдуллаев Сардор¹

¹ ГП «Центральная испытательная лаборатория Автодорожного комитета»,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

*Корреспондент автор: akhatov.2020a@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассмотрено количество групповых и химических элементов битума, применяемого в дорожном строительстве и дорожном покрытии, их соотношение, а также изменение количества масляных, смолистых и асфальтовых веществ в его составе вследствие увеличения плотности битума, также определены химические эмпирические формулы масел, смол и асфальтовых веществ битума.

Ключевые слова: битум, масла, ароматические углеводороды, смолы, асфальтены, элементный состав, углерод, водород, кислород, азот.

Введение

Невозможно представить современность без развития автомобильного транспорта и строительства автомобильных магистралей. В связи с этим нефтяной битум, как материал для приготовления асфальтобетона, востребован в народном хозяйстве любой страны. В целом, по назначению различают битумы строительные, кровельные и дорожные. Строительные битумы применяют для изготовления асфальтобетона и растворов, приклеивающих и изоляционных мастик, покрытия и восстановления рулонных кровель. Кровельные битумы используют для изготовления кровельных рулонных и гидроизоляционных материалов. В дорожном строительстве применяют нефтяные (искусственные) битумы, получаемые переработкой нефтяного сырья. Искусственные (технические) битумы – остаточные продукты переработки нефти, каменного угля и сланцев. По составу они сходны с природными битумами. Природные битумы представляют собой вязкое смолистое вещество, образующееся из тяжелых фракций нефти в результате длительного выветривания, и встречаются в виде пластовых жильных залежей, а также озер в местах естественного выхода нефти на поверхность земли [1, 2, 3].

Одна из основных причин преждевременного разрушения дорожных покрытий – это низкое качество дорожных битумов, которые не обладают требуемыми адгезионными свойствами, так как склеивают только минеральные частицы основной породы. В Узбекистане, при строительстве автомобильных дорог применяются битумы различных марок, в частности 70/100 и 100/130. Применяемый битум производится в стране или импортируется. Содержание и химический состав компонентов битума влияет на его физико-химические свойства. Для проверки соответствия состава импортируемого сырья требованиям ГОСТ определяется групповой состав битума. Также в битуме определяются количество масел, смол, асфальтенов, агрегатный состав,

сравнивается количество предельных и ароматических углеводородов, масел, смолы, асфальтенов в битуме [4]. Большое значение имеет изменение плотности битума, причем битумы с плотностью 0,85–0,9 г/см³ более текучи, а битумы с плотностью 1,2 г/см³ более пригодны для использования в дорожном строительстве. Но, тем не менее, количество химических элементов в битуме до сих пор не изучено.

Статья раскрывает часть исследований посвященных изучению группового и элементного состава битумов, а в частности определению количества углерода, водорода, кислорода, азота в парафино-нафтене, ароматических углеводородах, масел, смолах, асфальтенах в битуме.

Методология

Исследования проводились в 2023-24 гг., в лаборатории ГП «Центральная испытательная лаборатория Автодорожного комитета», г. Ташкент, Республика Узбекистан. Был исследован битум марок 70/100 и 100/130, продукции битумного завода ТОО «ПНХЗ» (Павлодарский нефтехимический завод).

Групповой и элементный состав битума определялся расчетным путем [5], также использовались хроматографические методы исследования [6], в частности метод тонкослойной хроматографии (метод SARA) с использованием хроматографической системы IATROSCAN MK-6s с пламенно-ионизационным детектором, оптимизированная под анализ битумов, сырой нефти и тяжелых остатков.

Найдены коэффициенты для определения состава битума плотностью 1,2 г/см³. Коэффициент для нахождения смолы - 2,302. Коэффициент для масла - 3,92. С помощью этих коэффициентов определялось количество смолы и масла:

Молекулярная масса смолы: $1,2/2,302 \times 100 = 52,13$ ($52,13 \times 12$) = 625,6;

Молекулярная масса масел: $1,2/3,92 \times 100 = 30,6$ ($30,6 \times 12$) = 367,2;

Молекулярная масса асфальтена: $100 - 82,73 = 17,27$ ($17,27 \times 12$) = 207,2;

Плотность битума 1,2 г/см³: $625,6 + 367,2 + 207,2 = 1200/1000$

Найденная вычислением плотность битума подтверждается плотностью битума в данной заданной задаче.

Результаты и Обсуждение

Результаты анализа группового состава битумов марок 70/100 и 100/130, показали, что в состав битума марки 70/100 плотностью 1200 г/см³ входят масла, смолы, асфальтены. Маслянистая часть битума делится на 3 группы. Каждая группа, в зависимости от содержания углерода, состоит из легких, средних и тяжелых ароматических соединений. Из таблицы 1 видно, что в легком ароматическом соединении в маслянистой части углерод составляет 1,55 %, в средней 1,65 % и в тяжелом ароматическом соединении 6,27 %, а в парафино-нафтеновой 7,82 %. В результате их соединения сумма соединений масла составляет 17,33 %, а его молекулярная масса равна 208, что соответствует стандартным параметрам (по стандартным параметрам молекулярная масса маслянистой части варьируется от 100 до 500).

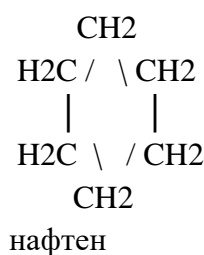
Таблица 1 - Зависимость изменения группового состава битума от плотности

Плотность, г/см ³	Масло					Смола			Асфальтен	Масла гр	Смола, гр	Асфальтен, гр
	Парафен-нафтен	Легко ароматич.	Средне ароматич.	Тяжелое ароматич.	Сумма ароматич	Смола-1	Смола-2	Сумма смолы				
0,85	7,87	1,55	1,65	6,27	17,33	12,39	17,12	29,51	33,10	208	354	397
0,9	8,34	1,65	1,74	6,64	18,37	13,14	18,15	31,28	30,35	220	375	364
1,0	9,26	1,83	1,94	7,42	20,41	14,59	20,17	34,75	24,84	245	417	298

1,1	10,18	2,02	2,13	8,12	22,45	16,05	22,18	38,22	19,33	269	459	232
1,2	11,30	2,23	2,36	9,00	24,88	17,79	24,99	42,38	14,03	299	509	168
1,3	12,23	2,41	2,55	9,75	26,96	19,27	26,65	45,92	8,43	324	551	101

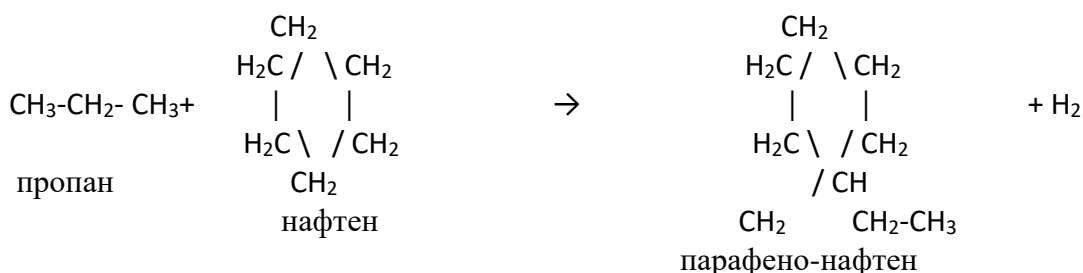
При плотности битума $0,85 \text{ г/см}^3$ сумма долей ароматических углеводородов маслянистой части составляет 17,33 %, то есть молекулярная масса равна 208. Увеличивая плотность битума, маслянистая часть содержит ароматические углеводороды, например: содержание парафино-нафтенот от 7,82% до 11,5 %, легкая ароматика ароматических от 1,55 до 2,97 %, средняя ароматика от 1,65 до 2,363 %, тяжелая ароматика. По данным таблицы 1, она колеблется от 6,3 до 9,75 %. Аналогичные изменения происходят и в составе смол. Увеличение плотности битума с $0,85 \text{ г/см}^3$ до $1,3 \text{ г/см}^3$ приводит к увеличению количества смол. Молекулярная масса смол увеличивается от 354 до 551. Это означает, что увеличение содержания смол в битуме положительно влияет на его пластичность и вяжущие свойства. Из табл. 1 видно, что содержание асфальтенов в составе битума уменьшается с увеличением плотности остаточных твердых веществ. Важно, что снижение содержания асфальтенов в битуме приводит к улучшению качества битума. Содержание асфальтенов уменьшается с увеличением плотности, влияет на температуру размягчения и твердость битума.

Полиметиленовые углеводороды, входящие в состав масел, называются нафтенами.



Насыщенные углеводороды называются парафинами, CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 и алкены, формула которых C_nH_{2n} .

В результате соединения парафинов и нафтенот в маслянистой части битума образуется парафино-нафтенотное масляное соединение. В его основе лежит следующая реакция сочетания. Например:



Содержание в парафино-нафтене С-9, Н-18; $108 + 18 = 126$ молекулярная масса.

В парафино-нафтенотном составе С - 85,71 %, Н - 14,29 %, процентный расчет ароматических соединений от суммы масляной части в битуме марки 70/100 следующий:

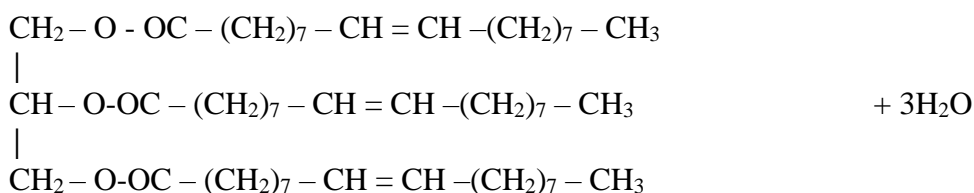
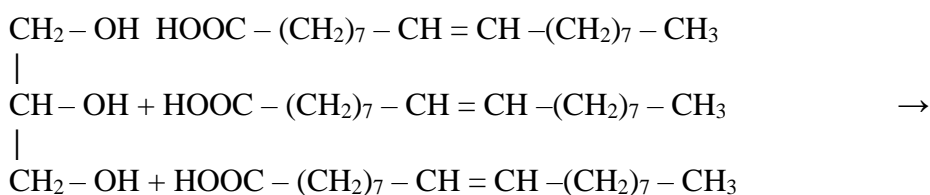
- легкая ароматическая часть 11,72 %;
- средняя ароматическая часть 9,49 %;
- тяжелая ароматическая часть 36,14 %;
- парафино-нафтенотная фракция 42,65 %.

Всего 100 % ароматических масел. Эти цифры рассчитаны на основе приведенного выше уравнения.

Смолы. Сложные эфиры представляют собой смолы — смолистая часть битума может быть соединена при участии трехатомного спирта (глицерина) и олеина, стеорина, пальматиновых жирных кислот. Например, соединение трехатомного спирта и жирной стеариновой кислоты происходит на основе следующей реакции. В результате образуется олеостериновый эфир.

Олеостерин представляет собой сложный эфир-смола. По данным литературы, молекулярная масса смолы варьируется от 500 до 1000. Молекулярная масса олеостериновой смолы, полученной по приведенному выше уравнению, равна 884, а процентное содержание элементов в ее составе следующее:

- Углерод 77,38 %;
- Водород 11,76 %;
- Кислород 10,86 %;
- Всего 100 %.



При переходе нефтяной части в смолы и асфальтены уменьшается количество конденсированных гетероатомов, молекулярная масса, соотношение Н/С, в приведенном примере соотношение Н/С составляет 0,15. Отношение углерода к водороду приводит к образованию двойных связей в углеводородной цепи.

Битум обладает способностью присоединять углерод, водород, хлор, гидроксид, а также нитрогруппу, аминогруппу и алкены, поскольку присоединяет вышеуказанные группы за счет разрыва двойных связей в углеводородной цепи и за счет потери водорода.

В нашей исследовательской работе было изучено количество элементов в химическом составе масляной и смоляной части битумов. В ходе анализа анализировались образцы битума двух разных плотностей. В таблице 2 представлены изменения группового и химического состава битума и его плотности. По литературным данным, битум состоит из следующих элементов:

- Углерод 80-87 %;
- Водород 10-12 %;
- Кислород 5-10 %;
- Сера 2-5 %;
- Азот 3%.

Из таблицы 2 видно, что в битумах плотностью 0,85 г/см³ легких, средних и тяжелых ароматических углеводородов в масляной части, количество насыщенных углеводородов при содержании парафино-нафтенных в 1,4-1,5 раза выше, чем в битумах плотностью 1,2 г/см³.

Таблица 2 - Зависимость изменения химического состава битума от плотности 0,85 -1,2 г/см³

Элементы	Плотность битума г/см³	Масла						Смола				Асфальтен		Битум		Общее от элементов битума, %
		Парафин нафтен насыщенный	Легкая ароматика	Средняя ароматика	Тяжелая ароматика	Сумма аромат. в-ств		Смола-1 %	Смола-2 %	Общее		Общее		Общее		
						%	мг			%	мг	%	мг	%	мг	
С	0,85	7,82	1,55	1,647	6,267	17,33	17330	12,390	17,123	29,513	29513	33,095	33095	79,94	79940	79,94
Н		1,111	0,219	0,233	0,885	2,448	2448	1,750	2,418	4,168	41680	4,676	4676	11,2960	11296	11,30
О		0,463	0,090	0,097	0,369	1,018	1018	0,729	1,007	1,736	1736	1,947	1947	4,700	4700	4,67
S		0,185	0,037	0,038	0,147	0,407	407	0,292	0,403	0,695	695	0,779	779	1,879	1879	1,87
N		0,277	0,054	0,058	0,221	0,610	610	0,437	0,604	1,042	1042	1,168	1168	2,822	2822	2,80
Σ		9,902	1,951	2,073	7,889	21,815	21815	15,599	21,556	37,155	37155	37,155	41665	41,665	100600	100,6
С	1,2	11,299	2,227	2,357	8,999	24,882	24882	17,794	24,997	42,791	42791	13,616	13616	81,29	81290	81,29
Н		1,357	0,267	0,283	0,990	2,897	2897	2,949	3,000	5,950	5950	1,684	1684	10,535	10535	10,54
О		0,565	0,111	0,118	0,434	1,228	1228	0,890	1,250	2,140	2140	0,702	702	4,073	4073	4,07
S		0,226	0,045	0,047	0,220	0,538	538	0,356	0,500	0,860	860	0,279	279	1,650	1650	1,65
N		0,339	0,067	0,071	0,270	0,746	746	0,518	0,753	1,271	1271	0,421	421	2,439	2439	2,44
Σ		13,786	2,718	2,876	10,913	30,293	30293	22,508	30,500	53,008	53008	16,701	16701	100,0	100000	100,00

Закономерно, что в битуме плотностью 1,2 г/см³ значительно преобладают количества углерода, водорода, кислорода, серы и азота в составе легких, средних и тяжелых ароматических углеводородов, а также преобладают количество насыщенных и ароматических углеводородов. Поскольку чем выше плотность битума, тем больше в нем содержится масла и смолы, по сравнению с битумом с меньшей плотностью, тем более текучим и подвижным становится битум.

Количество асфальтеновых углеводородов в битуме плотностью 1,2 г/см³ подтверждено данными по битуму плотностью 0,85 г/см³. Следует также отметить, что количество химических элементов в составе битума, имеющего высокую плотность, соответствует стандартным параметрам, но несколько отличается низкой плотностью битума, что может быть связано с высоким содержанием асфальтеновых углеводородов.

Процентное содержание масел, смол и асфальтенов в битуме приведено в таблице 3. Соотношение масел, смол и асфальтенов в битуме плотностью 0,85 г/см³ по отношению к молекулярной массе битума следующее: масляная часть составляет 21,68 %, смолистая – 36,92 %, асфальтеновая – 41,4 %.

Таблица 3 - Изменение количества масел, смолы и асфальтенов относительно молекулярной массы битума

Плотность, г/см ³	Сумма, мг			Молекулярная масса битума, мг	Битум масса, %		
	Масла	Смолы	Асфальтены		Масла	Смолы	Асфальтены
0,85	17330	29513	33095	79938	21,68	36,92	41,40
1,2	24882	42791	13616	81290	30,61	52,64	16,75

Как видно из таблицы 3, битум плотностью 1,2 г/см³ содержит 30,61 % масла, 52,64 % смол и 16,75 % асфальтенов. Показателем качества битума высокой плотности является тот факт, что содержание асфальтенов в битуме высокой плотности в 2,5 раза ниже, чем в битуме низкой плотности.

По результатам химического анализа битума сформирована эмпирическая формула маслянистых, смолистых и асфальтеновых веществ. В таблице 4 представлена количественная разница химических элементов между битумами плотностью 0,85 г/см³ и 1,2 г/см³.

Таблица 4 - Формирование оптимальной формулы битума на основе полученных данных

Плотность г/см ³	Масла	Смолы	Асфальтены
0,85	C ₁₄₄₄ H ₂₄₄₈ O ₂₉₄ S ₅₂ N ₂₀₆	C ₂₉₅₉ H ₄₁₆₈ O ₁₀₉ S ₂₂ N ₇₄	C ₂₇₅₈ H ₄₆₇₆ O ₁₂₂ S ₂₄ N ₈₃
1,2	C ₂₀₇₄ H ₂₈₉₇ O ₇₇ S ₁₇ N ₅₃	C ₂₅₃₆ H ₅₉₅₀ O ₁₃₄ S ₂₇ N ₉₁	C ₁₁₃₅ H ₁₆₈₄ O ₄₄ S ₉₁ N ₃₀
0,85	C ₆₆₆₂ H ₁₁₂₉₂ O ₅₂₅ S ₉₈ N ₃₆₃ общая формула битума		
1,2	C ₆₇₄₅ H ₁₀₅₃₁ O ₂₅₅ S ₅₂ N ₁₇₄ общая формула битума		

Из этих данных также видно, что битум плотностью 0,85 г/см³ существенно отличается от битума плотностью 1,2 г/см³, как показано на рисунке 1. Отчетливо видна разница между маслом, смолой и асфальтеновыми веществами в битуме.

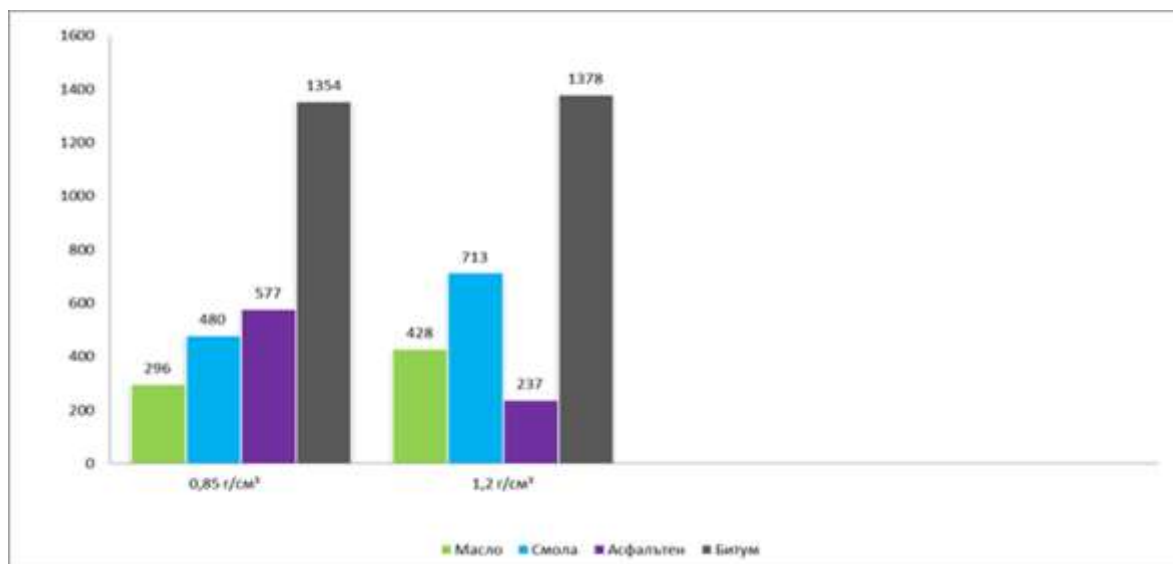


Рисунок 1 - Распределение маслянистых, смолистых и асфальтеновых веществ в битуме

Исходя из эмпирической формулы битума плотностью $0,85 \text{ г/см}^3$, соотношение водорода к углероду (Н:С) в маслах, смоле и асфальтеновых веществах составляет 1,7. В этом битуме дисперсная фаза практически одинакова, но в битуме плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$ соотношение Н:С колеблется от 1,4 до 1,68 в маслах, смоле и асфальтенах. Это свидетельствует о различной дисперсной фазе масел, смол и асфальтенов, содержащихся в битуме. То есть потеря водорода приводит к увеличению двойных связей в битуме.

Заключение

1. Установлено, что при превращении масляной фракции в смолы и асфальтены наблюдаются конденсация, гетероатомизация, уменьшение молекулярной массы, соотношения Н:С и образование двойных связей в углеводородной цепи.
2. Установлено, что группы N, Cl, OH, NO₂, NH₂ объединяются за счет разрыва связей в углеводородной цепи.
3. Показано, что изменения количества химических элементов в масляной и смоляной группах битумов с двумя различными плотностями $0,85 \text{ г/см}^3$ и $1,2 \text{ г/см}^3$ являются основными факторами, указывающими на качество и долговечность битума.
4. Соотношение масла, смолы и асфальтенов в битуме плотностью $0,85 \text{ г/см}^3$ по отношению к молекулярной массе битума следующее: масло – 17,33 %, смола – 29,51 %, асфальтены – 33,09 %.
5. На основании результатов химического анализа состава битума составлена эмпирическая формула масляных, смолистых и асфальтеновых веществ.

Список литературы

7. Коршак А.А. Исторические свидетельства о естественных выходах нефти// Территория нефтегаз. - 2010. - № 10 - С.86-89. <file:///C:/Users/user/Downloads/istoricheskie-svidetelstva-o-estestvennyh-vyhodah-nefti.pdf>
8. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. - М.: Химия, 1973. – 450 с.
9. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. - М.: Транспорт, 1973. - 260 с.
10. Старостина О. И., Соловьев В. Г., Чистова Т. А. Определение группового состава битума методом тонкослойной хроматографии//Труды БГТУ. Серия II. Лесная и

деревообрабатывающая промышленность. – Вып. XIII. – Минск. – 2005. – С.93-94.
<https://elib.belstu.by/handle/123456789/55321?mode=full>

11. Кирхнер Ю. Тонкослойная хроматография. Т. 1, 2. - М.: Мир, 1981. - 616 с.

Сведения об авторах (на трех языках):

Автор 1 - Ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, доцент, аға ғылыми қызметкер, Автожол комитетінің Орталық сынақ зертханасы" МК, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы akhatov.2020a@gmail.com

Автор 1 - к.с-х.н., доцент, с.н.с., ГП «Центральная испытательная лаборатория Автодорожного комитета», г. Ташкент, Республика Узбекистан, akhatov.2020a@gmail.com

Author 1 - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Research, State Enterprise «Central Testing Laboratory of the Road Committee», Tashkent, Republic of Uzbekistan, akhatov.2020a@gmail.com

Автор 2 - Директор, "Автожол комитетінің Орталық сынақ зертханасы" МК, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы, akhatov.2020a@gmail.com

Автор 2 - Директор, ГП «Центральная испытательная лаборатория Автодорожного комитета», г. Ташкент, Республика Узбекистан, akhatov.2020a@gmail.com

Author 2 - Director, State Enterprise «Central Testing Laboratory of the Road Committee», Tashkent, Republic of Uzbekistan, akhatov.2020a@gmail.com

Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):

Автор 1 - концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование, получение финансирования.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): ИИ при подготовке статьи не использовался.

БИТУМ ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ӨЗГЕРУІНЕ БАЙЛАНЫСТЫ ОРГАНИКАЛЫҚ ЗАТТАРДЫҢ ҮЛЕСІН АРТТЫРУ

<https://orcid.org/0000-0002-4895-2372>  Ахатов Абдусамат^{1*}, Абдуллаев Сардор¹,

¹Автожол комитетінің Орталық сынақ зертханасы" МК, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы

*Корреспондент автор: akhatov.2020a@gmail.com

Аннотация. Бұл мақалада жол құрылысында және жол төсемінде қолданылатын битумның топтық және химиялық элементтерінің саны, олардың арақатынасы, сондай-ақ битум тығыздығының артуына байланысты оның құрамындағы майлы, Шайырлы және асфальтенді заттардың мөлшерінің өзгеруі қарастырылған, сонымен қатар битум майларының, шайырларының және асфальтенді заттардың химиялық эмпирикалық формулалары анықталған.

Түйін сөздер: битум, майлар, хош иісті көмірсутектер, шайырлар, асфальтендер, элементтік құрам, көміртегі, сутегі, оттегі, азот.

INCREASING THE SHARE OF ORGANIC MATTER DUE TO CHANGES IN THE DENSITY OF BITUMEN

<https://orcid.org/0000-0002-4895-2372>  Akhatov Abdusamat^{1*}, Abdullaev Sardor¹

¹ State Enterprise «Central Testing Laboratory of the Road Committee»,
Tashkent, Republic of Uzbekistan

* Corresponding author: akhatov.2020a@gmail.com

Abstract. This article examines the number of group and chemical elements of bitumen used in road construction and road pavement, their ratio, as well as changes in the amount of oil, resin and asphaltene substances in its composition due to an increase in the density of bitumen, and also determines the chemical empirical formulas of oils, resins and asphaltene substances of bitumen.

Keywords: bitumen, oils, aromatic hydrocarbons, resins, asphaltenes, elemental composition, carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i2.005>

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ И ГРАЖДАНСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А.А. Белый*¹ 

¹ООО «К2 Инжиниринг» (Москва, Россия)

*Корреспондент автор: andbeliy@mail.ru

Аннотация. Мониторинг – это современный инструмент по управлению техническим состоянием объектов транспортной и промышленно-гражданской инфраструктуры. В составе мониторинга присутствуют различные подсистемы, имеющие под собой разные физические основы. Целью статьи является описание данных систем, с кратким описанием природы каждой из них. В качестве методологии исследования использовались существующие базисные подходы. Основным результатом исследования является возможность адекватного применения различных подсистем в совокупности, интегрально. Что с практической точки зрения дает максимальный технико-экономический эффект.

Ключевые слова: мониторинг, техническое состояние, объекты транспортной инфраструктуры, надежность, эффект

Введение

В настоящее время системы мониторинга являются наиболее адекватным и точным инструментом по диагностике объектов гражданского и транспортного строительства как во время их возведения, так и особенно в период последующей эксплуатации [1, 3, 4, 6, 9, 10]. Эта тенденция наблюдается параллельно с новыми современными подходами глобального информационного моделирования и обследования искусственных сооружений [11]. Различными примерами применения систем мониторинга являются транспортные объекты: мосты [8, 9, 12, 13, 15], тоннели [16, 17], набережные, дамбы [18] и гидротехнические сооружения, а также отдельные элементы объектов транспортной инфраструктуры [19, 20, 21], но основной сферой применения систем мониторинга являются мостовые конструкции [5, 8, 9, 12, 13, 15, 22, 23]. По всей видимости это связано со сложными условиями их эксплуатации, что, впоследствии, напрямую влияет на степень сложности работ по их ремонту и содержанию: зачастую мостовые сооружения расположены через большие реки, заливы, искусственные преграды.

Кроме того, данная тема (системы мониторинга с классификацией на типы и комбинации) до сих пор не имеет всестороннего анализа и результатов. Несмотря на ряд диссертаций за последние годы [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31], вопрос координации и одновременной работы подсистем мониторинга до сих пор открыт для исследований и требует некоторого анализа.

В этой связи основная цель настоящей статьи – теоретическая иллюстрация совместной работы различных подсистем мониторинга конструкций, делающих исследования в области управления техническим состоянием конструкций гораздо

простыми и, что более важно, точными. С этой целью даны описания некоторых подсистем, с их возможностями, преимуществами и недостатками.

Методология

Мониторинг [2, 7, 16] – это процесс постоянного контроля за текущем состоянием любого объекта с накоплением и оценкой собираемой информации, контроля изменения технического состояния во времени и взаимодействия объекта контроля с природными и техногенными факторами.

Как указано в работе [9], стремительный рост числа большепролетных и высотных искусственных сооружений по всему миру очевидно привел к ускорению развития и внедрения систем инструментального мониторинга.

Основной метод исследования состоит в кратком описании подсистем мониторинга с реальными примерами и иллюстрацией основных принципов работы и анализа.

Вкратце, данные (*англ.* data, D), необходимые для заказчика, могут быть получены от подсистем мониторинга, что может описано следующим образом:

$$D = \begin{Bmatrix} SDC & INCL \\ ACC & DISP \end{Bmatrix} \quad (1)$$

где

SDC – Напряженно-деформированное состояние (*англ.* Stressed-Deformed Condition) (напряжения и деформации);

$INCL$ – Наклоны (*англ.* Inclines) (углы поворота);

ACC – Ускорения (*англ.* Acceleration) (ускорения сами по себе и их производные, такие как вибрации и частотные характеристики);

$DISP$ – Перемещения (*англ.* Displacement) (абсолютные и относительные).

Напряженно-деформированное состояние (SDC) обычно контролируется тензометрическим способом. Для его реализации разработаны специальные приборы – тензометры. Они измеряют деформацию в определенной точке (зоне) элемента конструкции, и затем, используя закон Гука, определяются напряжения. Деформации, измеряемые на отрезке, называемом *базой* S , при работе в упругой стадии характеризуются малыми значениями. Тензометрами измеряют абсолютное удлинение (укорочение) ΔS и по ним определяют среднюю относительную деформацию:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S} \quad (2)$$

Для того чтобы средняя относительная деформация точнее отражала истинную, база S должна быть по возможности меньшей.

При линейном напряженном состоянии для определения напряжения достаточно измерить ΔS – на базе, расположенной по направлению действующего усилия. По полученному значению ε и известному модулю упругости E вычисляют напряжение:

$$\sigma = \varepsilon E \quad (3)$$

В случае плоского напряженного состояния в данной точке измеряют деформации в двух или трех направлениях.

Датчики располагаются вдоль главных напряжений σ_1 и σ_2 либо (если направления главных напряжений неизвестны) один датчик может быть установлен произвольно, а два других – под углами 45° и 90° или 60° и 120° к нему. В первом случае (известны направления главных напряжений) σ_1 и σ_2 определяются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1), \\ \sigma_1 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где

μ – коэффициент Пуассона.

Во втором случае вычисления немного сложнее, но определяемы. Во избежание чрезмерности объема статьи не станем размещать соответствующие формулы.

Старые тензометры, которые использовались при испытаниях и обследованиях мостовых сооружений до 1990-х г.г. (в некоторых исключительных случаях используемые и сейчас), измеряли изменение длины базы ΔS . Современные тензорезисторы, широко распространенные в наши дни, фиксируют относительное удлинение ε (см. формулу 3). Эти датчики дешевле и легче в установке и пуско-наладке по сравнению с «классическими» тензометрами, но имеют очень важную характеристику – коэффициент тензочувствительности η . Принцип действия тензорезисторов основан на изменении омического сопротивления R проводников и полупроводников при их деформации. Он может быть выражен следующим образом:

$$\eta = \frac{\Delta R \cdot R}{\varepsilon} \quad (5)$$

где

R – номинальное сопротивление тензорезистора, определяемое по (6);

ΔR – изменение сопротивления тензорезистора.

$$R = \frac{\rho l}{f} \quad (6)$$

где

ρ – удельное сопротивление материала тензорезистора;

l – начальная длина деформируемого участка проводника;

f – площадь сечения проводника.

В качестве резюме по этой подсистеме отметим тот факт, что напряжения могут быть измерены только ей. Другими словами, только средствами инструментального мониторинга возможно фиксировать деформации и напряжения, геодезическими методами сделать это нереально. Некоторые исследователи даже выделяют «деформационный мониторинг» в самостоятельную форму [15], однако мы бы не стали придерживаться этого, оставив его «внутри» инструментального мониторинга.

Подсистема контроля ускорений предоставляет динамические параметры сооружений в виде наборов ускорений и частотных картин колебаний. Они (параметры) интегрально содержат данные о жесткостях, массах сооружения и внешних воздействиях.

Результаты измерений при «динамическом мониторинге» позволяют выявить скрытые изменения прочностных свойств конструкций [15]. Таким образом, в задачи динамического мониторинга входит следующее:

- определение доминирующих частот свободных колебаний;
- оценка влияния сейсмической активности на динамическую работу сооружения;
- установление уровня влияния транспортных нагрузок на динамические характеристики;
- анализ частот с целью оценки и прогноза изменения технического состояния.

Необходимость решения поставленных в рамках динамического мониторинга задач открывает широкое поле как для исследований самих конструкций с оценкой развития в них скрытых повреждений, так и с точки зрения методик, инструментария и постановки задач мониторинга. И в связи с этим следует отметить, что одной из основных характеристик любой конструкции являются параметры собственных колебаний,

представленные в виде набора частот и соответствующих им форм колебаний.

Из динамики сооружений известно уравнение:

$$(C - \lambda E)\vec{v} = 0 \quad (7)$$

где

$C=AM$; A – матрица податливостей системы с n -степенями свободы;

M – диагональная матрица масс;

E – единичная диагональная матрица;

λ – собственное значение матрицы C ;

\vec{v} – собственный вектор матрицы C .

При мониторинге частот собственных колебаний предметом измерений являются составляющие λ и \vec{v} , содержащиеся в спектральной плотности реакции моста на внешние воздействия. Собственные колебания вызываются рядом начальных условий, связанных с приданием конструкции начального перемещения и (или) начальной скорости, либо вызываются изменяющейся во времени нагрузкой с постоянным спектром воздействия.

На придании начальных перемещений основан метод «малых воздействий» [15], когда, например, пролетное строение моста «раскачивается» от прыжка на нем одного или нескольких человек, затем претерпевает затухающие колебания с частотами, близкими к собственным. Однако его применение в условиях непрерывного мониторинга имеет определенные ограничения, связанные в первую очередь с постоянным движением по мосту автотранспорта.

Затруднено при непрерывном автоматизированном мониторинге и применение активной вибродиагностики путем приложения гармонической вибрационной нагрузки, т. к. в этом случае производят разовые диагностические процедуры, а не постоянный контроль и модальный анализ.

Более перспективный способ вызова собственных колебаний конструкции основан на внешнем воздействии, обладающем постоянным частотным спектром $S(\omega)$, так называемом белом шуме [15]. В этом случае непрерывный мониторинг, во-первых, обеспечит репрезентативную выборку реализации частот собственных колебаний, а во-вторых, несмотря на малую чувствительность низшей частоты колебаний к дефектам на сооружении, позволит выявлять тенденции в изменении состояния. В отличие от методов «малых воздействий», проезжающий автотранспорт продуцирует колебания конструкций в достаточно широком диапазоне частот, соответствующих не только низшей, но и следующим за ней формам деформаций конструкции.

Подсистема контроля наклонов/углов поворота возможно самая простая технически среди других, так она требует лишь базовых геометрических и физических познаний для проектирования, выбора и расстановки специализированных датчиков.

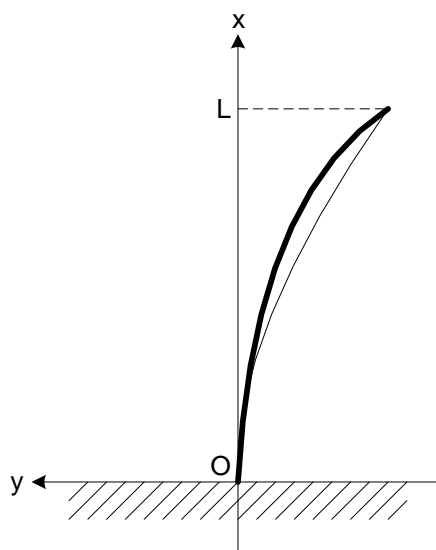


Рис. 1

Как известно, инклинометры (или наклонометры) измеряют угол наклона различных объектов относительно гравитационного поля Земли – рис. 1. В настоящее время наибольшее применение нашли двухкоординатные инклинометры для возможности проведения измерений в двух направлениях (как правило, вдоль и поперек оси сооружения).

Вкратце работа инклинометров описывается в работе [13]. Их основой являются древние наблюдения, связанные с уровнем воды.

Основным средством геодезического обеспечения строительства в то далекое время была вода. Простота и гениальность такой технологии при выравнивании основания фундамента будущего сооружения заключалась в следующей операции. Котлован заполнялся водой, а затем проводились измерения расстояния от дна котлована до поверхности воды, т. е. сравнивалось положение поверхности котлована с горизонтальной поверхностью воды. Это позволяло выравнивать основание на значительной территории с точностью в несколько сантиметров. Чтобы не зависеть от погодных условий и использовать меньшее количество жидкости, ее залили в стеклянную ампулу и герметично закрыли (запаяли). Так была создана пузырьковая камера, которая до настоящего времени является идеальным средством, задающим горизонтальную поверхность, не только в строительных уровнях, но и практически во всех современных геодезических средствах измерения (нивелирах, теодолитах, электронных тахеометрах, наземных лазерных сканерах и т. д.).

Постоянное увеличение точности геодезических измерений с одновременным снижением их трудоемкости потребовало поиска новых технических решений, которые могли бы заменить традиционные маятниковые компенсаторы, обеспечивавшие коррекцию наклона прибора, в небольшом, но определенном диапазоне (несколько сотен угловых секунд).

Рассмотрим принцип работы современного инклинометра более подробно [13] – см. рис. 2.

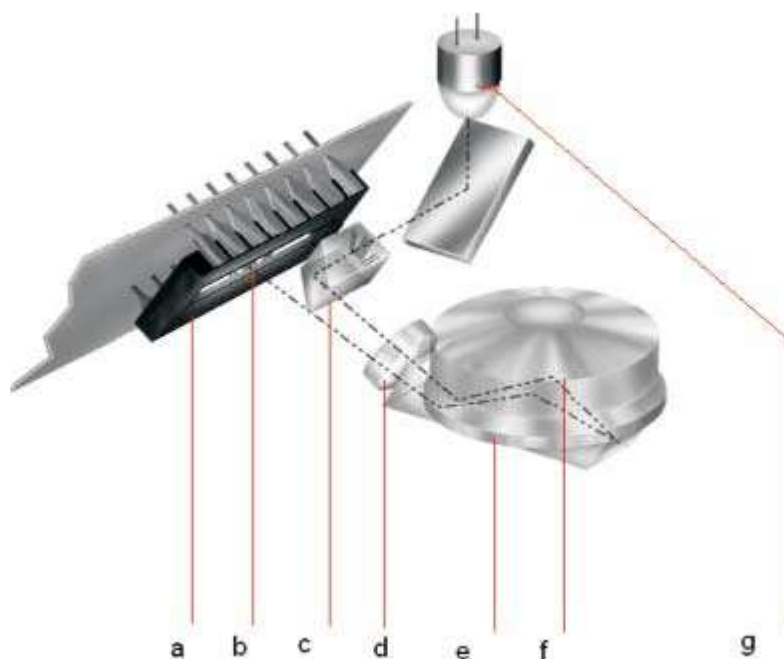


Рис. 2. Принцип работы современного инклинометра

Датчиком угла наклона данного устройства является капсула с жидкостью — жидкостный уровень (f). Поскольку поверхность жидкости в ампуле остается в горизонтальном положении независимо от наклона уровня, то величина угла наклона устройства однозначно определяется по углу между поверхностью жидкости и основанием уровня.

Измерение угла наклона происходит следующим образом. Световой поток, излучаемый полупроводниковым диодным лазером (g), проходя через отклоняющую призму (c), фокусирующую систему линз (d) и проецирующую призму (e), попадает в капсулу с жидкостью. Отражаясь от поверхности капсулы и жидкости, световой поток через фокусирующую оптическую систему попадает на ПЗС матрицу, с помощью которой угловые перемещения регистрируются и преобразуются в цифровой выходной сигнал.

Полученная информация может поступать на устройство регистрации или персональный компьютер через специальный разъем, обрабатываться, отображаться на экране компьютера в графическом виде и записываться в файл.

При использовании инклинометров у них есть одно существенное ограничение в области применения. Когда инклинометр расположен в зоне, с одинаковыми углами поворота с двух сторон. Например, это середина разрезной балки. Даже при поворотах на большую величину в опорных зонах датчик не наклонится. Поэтому располагать инклинометры следует в точках пересечения гармоник ряда Фурье с осью стержня [14], что для большепролетных сооружений определяется по формуле:

$$y(x) = y_0 + \sum_{i=1}^n \left(y_{si} \sin \frac{\pi i x}{L} + y_{ci} \cos \frac{\pi i x}{L} \right) \quad (8)$$

Подсистема перемещений контролируется методами геодезического мониторинга (подсистема спутникового позиционирования ГНСС).

В основе спутниковой системы мониторинга деформаций лежит принцип дифференциального (относительного) спутникового позиционирования с помощью сигналов ГНСС.

Спутниковые приемники принимают радиосигналы от спутников навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. После первичной обработки сигнала приемники передают «сырые» спутниковые данные на сервер для дальнейшей обработки. Данные спутниковых приемников содержат эфемеридную, навигационную информацию и фазовые отчеты.

Обработка спутниковой информации осуществляется с помощью программного

обеспечения на компьютере (сервере) с помощью алгоритмов разрешения фазовой неоднозначности спутниковых ГНСС измерений, решения навигационной задачи и получения точного местоположения антенны приемников в дифференциальном режиме кинематического позиционирования – см. рис. 3.

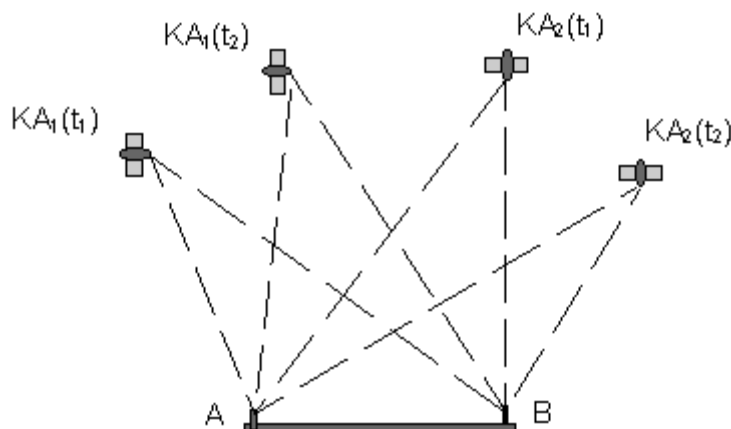


Рис. 3. Дифференциальный способ определения местоположения станций мониторинга

Спутниковые приемники измеряют фазу несущих сигналов ГЛОНАСС/GPS, по которым вычисляются дальности до спутников в каждый момент времени по разностям фаз трех типов: простые, двойные и строенные. Измерения выполняются, когда спутниковые приемники базовой станции и станции мониторинга принимают сигналы более четырех навигационных спутников.

Геометрические дальности до спутников вычисляются методом разрешения фазовой неоднозначности OTF (On-the-fly - разрешение неоднозначности «на лету», используемое к быстро смещаемым точкам) или Quasy-Static (квази-статика, когда предварительно известны координаты точек и их смещение медленное).

После того как будут найдены геометрические дальности до спутников, методом пространственной линейной засечки определяется пространственный вектор (приращение координат) между спутниковыми антеннами базовой станции и станции мониторинга:

$$D = (XB - XA, YB - YA, ZB - ZA)T \quad (8)$$

где,

XA, YA, ZA – значения координат точки мониторинга;

XB, YB, ZB – значения координат базовой станции.

Базовая станция должна иметь точные координаты, чтобы по измеренным приращениям можно было бы вычислить координаты точки мониторинга.

Результатом обработки являются точные пространственные координаты антенны приемников, установленных на критических точках объекта мониторинга, которые сравниваются с проектно-расчетными. Разница значений текущих и заданных проектных координат (пространственные смещения) выводится в графическом виде и сохраняется в цифровом для последующего анализа.

После того как определен вектор между спутниковой антенной базовой станции и станции мониторинга, а затем вычислены точные координаты точки мониторинга, они сравниваются с заданными проектными значениями и вычисляются разности на момент времени, равный эпохе наблюдений. Данные разности являются сутью смещений точки мониторинга:

$$dS = (XA0 - XAt', YA0 - YAt', ZA0 - ZAt')T \quad (9)$$

где,

$XA0, YA0, ZA0$ – заданные проектные значения координат точки мониторинга;
 XAt', YAt', ZAt' – текущие определяемые значения координат точки мониторинга на эпоху t' .

Значения смещений точки мониторинга выводятся в виде графика (временного ряда) через интервалы времени соответствующие эпохам спутниковых наблюдений.

Общий принцип работы ГНСС оборудования, примененный на мосту Александра Невского в Санкт-Петербурге, представлен на рисунке 4, а реально установленные элементы – на рисунке 5.

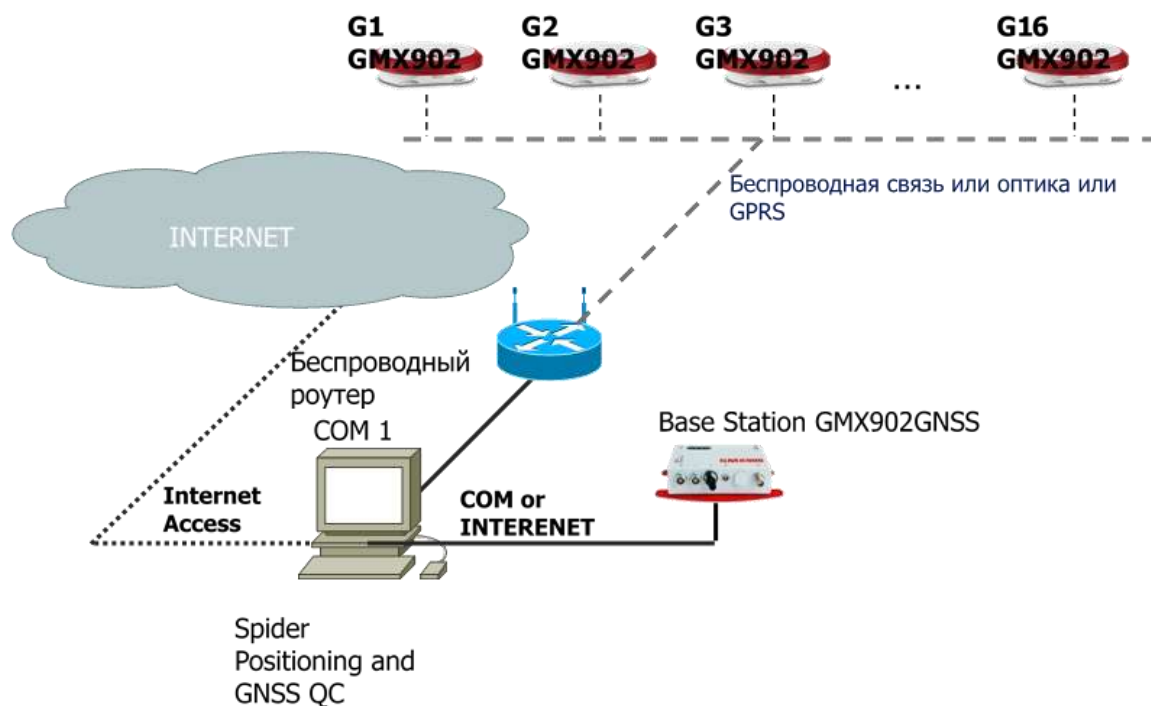


Рис. 4. Принцип работы ГНСС оборудования автоматизированной системы деформационного мониторинга на мосту Александра Невского



Рис. 5. ГНСС оборудование на мосту Александра Невского

Результаты и Обсуждение

В целом, анализируя различные подсистемы мониторинга, следует подчеркнуть тот факт, что методы инструментального мониторинга зачастую используются совместно практически на всех вневклассных и больших мостах. Так, это подтверждается публикациями [1, 8, 9, 13, 15, 23], а также

исследованиями авторов настоящей статьи [16, 22]; практически нереально использовать отдельные элементы мониторинга. Только в отдельных случаях можно использовать какой-то один тип датчика (оборудования), а не комплексный набор разнообразных сенсоров.

Авторы вкратце описали теорию каждой из подсистем. Легко обнаружить, что каждая из них имеет абсолютно разную физическую и математическую подоснову. Однако вместе, в совокупности, возможно получить единую *интегральную* систему мониторинга конструкций.

В таблице 1 мы дали оценку преимуществ и недостатков каждой из подсистем. “+++” обозначает высокую точность и возможности подсистемы, “++” – среднюю, “+” – частичное использование, “-” – невозможность контроля параметров подсистемой.

Таблица 1.

Подсистема	SDC	ACC	INCL	DISP
Инструментальный мониторинг	+++	+++	++	+
Геодезический мониторинг	-	++	+++	+++

Заключение

1) Мониторинг конструкций – современный и точный инструмент по управлению техническим состоянием мостовых объектов.

2) Следует выделять две основных подсистемы мониторинга – инструментальный и геодезический, позволяющие контролировать все параметры, требуемые для контроля – data (D).

3) Параметры контроля (Data (D)) состоят из четырех групп характеристик: SDC – напряженно-деформированное состояние (напряжения и деформации); INCL – инклинометрия (углы поворота); ACC – ускорения (сами по себе и производные характеристики, такие как вибрации и частоты); DISP – перемещения (абсолютные и относительные).

4) Некоторые характеристики могут быть получены только определенными (уникальными) датчиками, но в большинстве случаев различные средства инструментального и геодезического мониторинга следует использовать совместно.

5) Одновременное использование различных подсистем мониторинга делает результаты измерения более точными, а анализ и прогноз состояния – более интегральным (комплексным).

Список литературы

1. Sumitro S. Structural Health Monitoring System Applications in Japan / S. Sumitro, M.L. Wang. / In: Ansari F. (eds) Sensing Issues in Civil Structural Health Monitoring. Springer, Dordrecht, 2005. – pp. 495-504. https://doi.org/10.1007/1-4020-3661-2_49.
2. Andersen J. E. Structural health monitoring systems. / J. E. Andersen, M. Fustinoni. Italy: L&S S.r.l. Servizi Grafici, 2006. – 126 p.
3. Rucker W. Guideline for structural health monitoring. Final report / W. Rucker, F. Hille, R. Rohrmann. SAMCO, Berlin, 2006. – 63 p.
4. Li J and Hao H. Damage detection of shear connectors under moving loads with relative displacement measurements. Mech Syst Signal Pr 2015; 60–61: 124–150.
5. Ana Paula Camargo Larocca, João Olympio De Araújo Neto, Jorge Luiz Alves Trabanco, Augusto César Barros Barbosa, André Luiz Barbosa Nunes Da Cunha, Ricardo Ernesto Schaal. Uso de receptores GPS de 100 HZ na detecção de deflexões verticais milimétricas de pontes de concreto de pequeno porte [The use of GPS at a rate of 100 HZ to detect millimetric vertical deflections of small sized concrete bridges] . Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 21, no 2, p.290-307, abr-jun, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000200017>
6. Lienhart, W., Ehrhart, M. State of the art of geodetic bridge monitoring Structural Health Monitoring 2015: System Reliability for Verification and Implementation - Proceedings of the

- 10th International Workshop on Structural Health Monitoring, IWSHM 2015 DOI: 10.12783/SHM2015/58
7. Mustafa Furkan, Qiang Mao, Matteo Mazzetti, John DeVitis, S. Paul Sumitro, Fred Faridazar, A. Emin Aktan, Franklin Moon, Ivan Bartoli. An investigation on wireless sensors for asset management and health monitoring of civil structures. *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2016*, edited by Jerome P. Lynch, Proc. of SPIE Vol. 9803, 98033E doi: 10.1117/12.2218908.
8. Mosbeh R. Kaloop and Jong Wan Hu. Dynamic Performance Analysis of the Towers of a Long-Span Bridge Based on GPS Monitoring Technique/ *Journal of Sensors Volume 2016* (2016), Article ID 7494817, 14 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7494817>
9. Yang Y. Specifications and applications of the technical code for monitoring of building and bridge structures in China. // Y. Yang, Q. S. Li, B. W. Yan. *Advances in Mechanical Engineering*. – 2017. – Vol. 9 (1). p. 1–10. DOI: 10.1177/1687814016684272.
10. Geoffrey R. Thomas, Akbar A. Khatibi. Durability of structural health monitoring systems under impact loading. *Procedia Engineering* 188 (2017) 340 – 347
11. Антонюк А.А., Чижов С.В. Принципы информационного моделирования транспортных сооружений // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/70TVN317.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
12. Wenzel H. Health monitoring of bridges. / H. Wenzel. Chichester: John Wiley & Sons, 2009. – 621 p.
13. Ященко А.И. От водяного уровня до высокоточного инклинометра // А.И. Ященко. Журнал "Геопрофи", № 4/2010. – М.: Информационное агентство "ГРОМ", 2010 – С. 17 - 19.
14. Andrei Belyi, German Osadchy, Kirill Dolinskiy. Practical Recommendations for Controlling of Angular Displacements of High-Rise and Large Span Elements of Civil Structures // *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018)* – С. 176-183. 10.1109/EWDTS.2018.8524743
15. Яшнов А.Н. Некоторые результаты работы системы динамического мониторинга академического моста через р. Ангарау в Иркутске. // А.Н. Яшнов, Т.М. Баранов. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017.- №1(60). с. 199-209.
16. Belyi A.A. Structural health and geotechnical monitoring during transport objects construction and maintenance (Saint-Petersburg example). // A.A. Belyi, E.S. Karapetov, Yu. S. Efimenko. *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 189. p.145–151. PII:S1877-7058(17)32145-8 DOI:10.1016/j.proeng.2017.05.024
17. Коробова О.А. Состояние вопроса мониторинга подземных конструкций на современном этапе // О.А. Коробова, Л.А. Максименко. Интерэкспо гео-сибирь. – 2017, том 3, №2. С. 269-275.
18. Хиллер Б. Исследование автоматизированной системы деформационного мониторинга шлюзовых камер. // Б. Хиллер, Х.К. Ямбаев. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016.-№3. С. 33-38.
19. Ефанов Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Монография. / Д.В. Ефанов – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с..
20. Хиллер Б. Цифровые инклинометры в системах автоматизированного геодезического мониторинга деформаций // Б. Хиллер. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, №6, 2015. – М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2015. – С. 23-30.
21. Ефанов Д.В. Организация непрерывного мониторинга углов наклона опор железнодорожной контактной сети // Д.В. Ефанов, Г.В. Осадчий, Д.В. Седых, Д.В. Барч. // Транспорт Урала. – 2017. – №:2 (53) с: 37-41 DOI: 10.20291/1815-9400-2017-2-37-41

22. Брынь М.Я. Геодезический мониторинг деформаций вантовых мостов на основе спутниковых технологий. // М.Я. Брынь, Е.Г. Толстов, А.А. Никитчин, Б. Резник, А.И. Ященко, О.В. Евстафьев, В.А. Кучумов. – 2009. «Известия Петербургского Университета Путей Сообщения», выпуск 2(19)/– СПб.: ПГУПС, 2009 – с.120-128.
23. Сырков А.В. Оптимизация жизненного цикла моста на остров Русский во Владивостоке средствами анализа рисков и мониторинга // А.В. Сырков, О.В. Крутиков. Автоматизация в промышленности. – 2012. - №9. С. 45-50.
24. Самитов Р.А. Системотехника организации инженерного мониторинга сложных строительных сооружений (на примере автодорожных мостов). Дисс. уч. ст. д.т.н. / Р.А. Самитов – 2001. – М. - 299 с.
25. Гарамов О.В. Элементы системы профилактического мониторинга железобетонных мостов региональной сети автомобильных дорог. Дисс. уч. ст. к.т.н. / О.В. Гарамов – 2005. – СПб. – 187 с.
26. Мазуров Б.Т. Изучение геодинамических процессов на основе моделирования геодезических и гравитационных параметров. Дисс. уч. ст. д.т.н. / Б.Т. Мазуров – 2007. – М. - 254 с.
27. Хазанов М.Л. Анализ напряженно-деформированного состояния мостовых конструкций с использованием компьютерной измерительной системы. Дисс. уч. ст. к.т.н. / М.Л. Хазанов – 2007. – М. – 131 с.
28. Коргина М.А. Оценка напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений в ходе мониторинга их технического состояния. Дисс. уч. ст. к.т.н. / М.А. Коргина – 2008. – М. – 225 с.
29. Никитчин А.А. Геоинформационный мониторинг вантовых мостов спутниковыми методами. Дисс. уч. ст. к.т.н. / А.А. Никитчин – 2009. – СПб. – 148 с.
30. Мизин В.Е. Совершенствование методов геодезического обеспечения мониторинга линейных объектов. Дисс. уч. ст. к.т.н. / В.Е. Мизин – 2012. – Новосибирск. – 180 с.
31. Скрипникова М.А. Разработка и совершенствование методик геодезических измерений для обеспечения эксплуатации гидротехнических сооружений и оборудования. Дисс. уч. ст. к.т.н. / М.А. Скрипникова – 2012. – Новосибирск. – 165 с.

Сведения об авторах (на трех языках):

Андрей Анатольевич Белый-техника ғылымдарының докторы, доцент, техникалық директор, "K2 Инжиниринг" ЖШҚ, Мәскеу, Ресей, andbeliy@mail.ru

Андрей Анатольевич Белый – Доктор технических наук, Доцент, Технический директор, ООО «K2 Инжиниринг», Москва, Россия, andbeliy@mail.ru

Andrei Belyi – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Position, Technical Director, “K2 Engineering” LLC, Moscow, Russia, andbeliy@mail.ru

Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):

А.А. Белый - концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование, получение финансирования.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Использование искусственного интеллекта (ИИ): не использовался

**КӨЛІК ЖӘНЕ АЗАМАТТЫҚ ИНФРАҚҰРЫЛЫМ ОБЪЕКТІЛЕРІНДЕ
ИНЖЕНЕРЛІК КОНСТРУКЦИЯЛАР МОНИТОРИНГІ ЖҮЙЕЛЕРІН ІСКЕ
АСЫРУ ТӘЖІРИБЕСІ МЕН ДАМУ ТҮРЛЕРІ**

А.А. Белый*¹ 

¹«K2 Инжиниринг» ЖШҚ (Мәскеу, Ресей)

*Корреспондент автор: andbeliy@mail.ru

Аңдатпа. Мониторинг-бұл көлік және Өнеркәсіптік-азаматтық инфрақұрылым объектілерінің техникалық жай-күйін басқарудың заманауи құралы. Мониторинг құрамында әртүрлі физикалық негіздері бар әртүрлі ішкі жүйелер бар. Мақаланың мақсаты - осы жүйелерді сипаттау, олардың әрқайсысының табиғатын қысқаша сипаттау. Зерттеу әдістемесі ретінде қолданыстағы негізгі тәсілдер қолданылды. Зерттеудің негізгі нәтижесі-әртүрлі ішкі жүйелерді жиынтықта, интегралды түрде қолдану мүмкіндігі. Бұл практикалық тұрғыдан максималды техникалық-экономикалық нәтиже береді.

Түйінді сөздер: мониторинг, техникалық жай-күй, көлік инфрақұрылымының объектілері, сенімділік, әсер.

STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEMS ON TRANSPORT AND CIVIL INFRASTRUCTURE OBJECTS: REALIZATION EXPERIENCE AND UP-TO-DATE PERSPECTIVES

A.A. Belyi*¹ 

¹ «K2 Engineering» LLC (Moscow, Russia)

* Corresponding author: andbeliy@mail.ru

Abstract. Structural health monitoring is a modern tool for managing the technical condition of transport and industrial and civil infrastructure facilities. The monitoring includes various subsystems that have different physical foundations. The purpose of the article is to describe these systems, with a brief description of the nature of each of them. The existing basic approaches were used as the research methodology. The main result of the study is the possibility of adequate application of various subsystems in aggregate, integrally. Which from a practical point of view gives the maximum technical and economic effect.

Key words: monitoring, technical condition, transport infrastructure objects, reliability, effect.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



<https://doi.org/10.71031/qhsi.2025.v1.i2.006>

ПЕШЕХОДНЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ И СПОНТАННЫЕ ДОРОГИ: ФЕНОМЕН НАРОДНЫХ ТРОП

Е.Б. Утепов^{*1} 

¹Кафедра «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н.

Гумилева, Астана, Республика Казахстан

* Корреспондент автор: utepov-elbek@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию феномена "народных троп" — неофициальных пешеходных маршрутов, формирующихся в парковых зонах вследствие оптимизации движения пользователей. Рассматриваются основные причины их появления, включая неудобное расположение дорожек, особенности рельефа и социальные предпочтения посетителей. Проведен сравнительный анализ традиционных и современных методов изучения "народных троп", включая визуальное наблюдение, опросы, использование GPS-трекеров, дронов и спутниковых снимков. Особое внимание уделено алгоритмам машинного обучения, кластеризации и агентного моделирования для анализа и прогнозирования маршрутов. В статье также представлены стратегии управления "народными тропами", такие как интеграция популярных маршрутов в планировочную схему и предотвращение их формирования с помощью направляющих элементов и барьеров. Описаны методы визуализации данных, включая тепловые карты, 3D-модели и ГИС, которые позволяют наглядно демонстрировать пешеходные потоки и прогнозировать изменения. Основной вывод исследования заключается в том, что использование комплексного подхода к анализу "народных троп" повышает эффективность проектирования парковых зон, улучшает пользовательский опыт и способствует сохранению природного ландшафта. Статья полезна специалистам в области урбанистики, ландшафтного проектирования и управления городскими территориями.

Keywords: народные тропы, пешеходные маршруты, ГИС, агентное моделирование, урбанистика, управление парками.

Введение

Парковые зоны и городские зеленые пространства играют важную роль в обеспечении комфортной городской среды, предлагая места для отдыха, прогулок и социального взаимодействия. Однако при использовании этих территорий часто возникают так называемые "народные тропы" — неофициальные пешеходные маршруты, которые посетители формируют вне существующих дорожек и тротуаров. Это явление широко распространено в парках и общественных местах, что привело к многочисленным исследованиям по его изучению, прогнозированию и регулированию [1].

Термин "народные тропы" (англ. desire paths) относится к маршрутам, которые формируются в результате непринужденного и спонтанного выбора людей, стремящихся двигаться по кратчайшему пути. Эти тропы обычно образуются там, где проекторочные решения не соответствуют логике движения пользователей или где отсутствуют удобные дорожки и переходы. Исследования показывают, что такие тропы могут формироваться как на природных, так и на искусственно обустроенных территориях [2]. На рисунке 1 ниже представлен пример народной тропы.



Рисунок 1 – Пример народной тропы в Ботаническом парке Астаны

Проблема "народных троп" носит комплексный характер: с одной стороны, они свидетельствуют о неудовлетворительных проектных решениях и могут ухудшать внешний вид парковых зон, а с другой стороны, они предоставляют ценные данные о естественном поведении людей в пространстве [3]. Понимание причин их появления и использование современных технологий для анализа позволяет эффективно управлять этим явлением и учитывать его в последующих этапах проектирования и эксплуатации территорий.

Актуальность проблемы связана с несколькими аспектами:

- Экологический аспект: неконтролируемое формирование троп может приводить к вытаптыванию растительности, эрозии почвы и разрушению экосистем.
- Социально-поведенческий аспект: "народные тропы" отражают предпочтения и привычки пользователей, позволяя анализировать структуру движения и разрабатывать более удобные маршруты [4].
- Экономический аспект: в случае игнорирования этих явлений могут потребоваться значительные расходы на восстановление газонов, благоустройство и ремонт инфраструктуры.

Цель данной статьи — провести обзор существующих подходов к изучению "народных троп", рассмотреть алгоритмы для анализа и прогнозирования их формирования, а также сравнить их эффективность. Работа опирается на современные исследования в области урбанистики, геоинформационных технологий и моделирования поведения пользователей в городской среде.

Объект исследования: «народные тропы» в парковых зонах.

Предмет исследования: подходы и алгоритмы для анализа и управления «народными тропами».

Методы исследования: анализ научной литературы, сравнительный анализ, анализ кейсов с использованием данных спутниковых и дроновых съемок.

Таким образом, изучение "народных троп" необходимо не только для предотвращения нежелательных изменений ландшафта, но и для понимания паттернов поведения посетителей. Подходы к их анализу варьируются от простого визуального наблюдения до применения алгоритмов машинного обучения и геоинформационных технологий [5]. В следующих разделах будут представлены основные методы исследования "народных троп", их преимущества и ограничения.

Методология

Поиск литературы для обзора производился из журналов с открытым доступом. При выборе литературы преимущество было отведено статьям на английском языке, представляющим конкретные модели, алгоритмы, а также разбирающие различные кейсы, анализирующие появление народных троп.

Определение и причины появления народных троп

Термин "народные тропы" (desire paths), впервые использованный в урбанистике в 1960-х годах, описывает маршруты, которые формируются спонтанно, вследствие непринужденного выбора людей двигаться по оптимальному, с их точки зрения, пути [6]. Эти маршруты зачастую имеют извилистую форму, огибают официальные тропинки и сокращают расстояние между популярными точками парковой зоны. Народные тропы могут возникать как на неосвоенных природных участках, так и на благоустроенных зонах [7].

Основное отличие "народных троп" от официальных дорожек заключается в их естественном, нерегламентированном характере. Часто их называют индикатором поведения людей в неподготовленных или неудобно спланированных пространствах [8].

Формирование "народных троп" обусловлено рядом факторов, которые можно разделить на несколько категорий:

1) Рационализация маршрута: Одной из основных причин является стремление людей минимизировать время и усилия при перемещении по территории [9]. Если между двумя точками нет удобного прямого маршрута, люди неизбежно выбирают альтернативный путь, что приводит к формированию тропы. Особенно ярко это проявляется в кампусах университетов и парках, где значительные расстояния между объектами побуждают посетителей искать кратчайшие пути.

2) Недостаточная инфраструктура: Исследования показали, что отсутствие адекватной пешеходной инфраструктуры также способствует образованию новых маршрутов. Например, при отсутствии дорожек через центральные площади или переходов через газоны посетители формируют обходные пути [10]. Неудобно расположенные пешеходные переходы или слишком узкие дорожки также способствуют образованию "народных троп".

3) Топографические особенности: Рельеф местности также оказывает влияние на движение пешеходов. Люди склонны избегать участков с крутыми склонами, болотистых мест или водоемов, выбирая более ровные поверхности [11]. Таким образом, физические характеристики территории могут формировать "естественные" маршруты.

4) Социальные и поведенческие факторы: Эффект "социального следования" — еще одна причина появления народных троп. Если одна группа людей начинает использовать новый маршрут, остальные с большой вероятностью последуют за ними, даже если этот маршрут не является оптимальным с точки зрения логистики [12]. Особенно это проявляется на территории парков во время массовых мероприятий, где тропы могут формироваться всего за несколько часов.

5) Эстетические и эмоциональные причины: В некоторых случаях "народные тропы" могут возникать из-за желания пользователей насладиться более красивым видом или пройти мимо приятного объекта, например, озера, фонтана или цветника [13].

Следующие примеры показывают, как «народные тропы» были использованы для оптимизации маршрутов в зеленой зоне:

- Парк Мичиган, Чикаго: В данном парке были проведены наблюдения за движением пешеходов с целью оптимизации маршрутов на основе уже существующих троп. Официальные дорожки были пересмотрены, чтобы включить наиболее используемые народные тропы [5].

- Университетский кампус Университета Орегона: В 1970-х годах руководство университета специально не проложило дорожки на новой территории кампуса, чтобы через несколько месяцев проследить, где появятся "народные тропы", и затем заасфальтировать наиболее популярные маршруты. Этот эксперимент стал классическим примером использования подхода "учет предпочтений пользователей" [14].

Подходы к анализу народных троп

До широкого внедрения современных технологий изучение "народных троп" велось с использованием классических методов наблюдения и сбора данных вручную [15]. Основные традиционные подходы включают (Таблица 1): 1) Визуальное наблюдение — фиксирование движения людей на территории с последующим нанесением троп на карту; 2) Опросы и интервью — сбор данных о предпочтениях и мнениях посетителей по поводу маршрутов и инфраструктуры; 3) Картирование на основе полевых исследований — создание карт с нанесением фактических пешеходных маршрутов путем обхода территории исследователем.

Таблица 1 – Сравнение традиционных методов анализа [15]

Метод	Преимущества	Недостатки
Визуальное наблюдение	Простота и низкие затраты	Субъективность, большие временные затраты
Опросы и интервью	Сбор мнений пользователей	Ограниченная выборка, риск предвзятых ответов
Картирование вручную	Точность в обозначении маршрутов	Требует обновления при изменении троп

В качестве примера можно привести исследование [16] по городу Эдмонтон. В работе использовался метод полевых наблюдений путем проходки по каждой тропинке, документируя их с помощью фотографий и описаний. Методология исследования включала свободное картирование народных троп, чтобы запечатлеть их органическое формирование и понять, как они отражают поведение пешеходов и городскую историю.

С развитием технологий появилась возможность использовать более точные и масштабируемые подходы. Современные методы анализа включают (Таблица 2): 1) GPS-отслеживание маршрутов (сбор данных о перемещениях посетителей с помощью мобильных устройств, GPS-трекеров и фитнес-браслетов позволяет фиксировать реальные маршруты в режиме реального времени и создавать тепловые карты пешеходного движения) [17]; 2) Аэрофотосъемка с помощью дронов (использование беспилотных летательных аппаратов для съемки территории обеспечивает быструю фиксацию всех новых "народных троп") [18]; 3) Спутниковые снимки (регулярное обновление спутниковых снимков позволяет отслеживать долгосрочные изменения ландшафта и появление новых маршрутов) [19].

Таблица 2 – Сравнение современных методов анализа [17–19]

Метод	Преимущества	Недостатки
GPS-отслеживание маршрутов	Высокая точность, возможность анализа больших объемов данных	Требует доступа к данным пользователей и соблюдения законодательства о защите данных
Аэрофотосъемка с помощью дронов	Возможность охвата больших площадей, получение снимков с высоким разрешением	Высокая стоимость оборудования и необходимость разрешений на использование дронов
Спутниковые снимки	Данные доступны в открытых базах, охватывают большие территории	Невысокая детализация по сравнению с аэрофотосъемкой и невозможность наблюдения мелких изменений

Алгоритмы для анализа и прогнозирования народных троп

Современные алгоритмы позволяют проводить не только анализ существующих "народных троп", но и прогнозировать их появление на основании исторических данных и моделирования поведения пользователей. Эти алгоритмы применяют методы машинного обучения, кластерного анализа и агентного моделирования. В данном разделе представлен обзор основных алгоритмов, используемых для анализа и прогнозирования маршрутов пешеходов, в том числе их преимущества и недостатки (Таблица 3).

Методы машинного обучения позволяют автоматизировать анализ больших объемов данных, выявлять закономерности и предсказывать появление новых маршрутов на основе существующих паттернов поведения пользователей [20]. Основные алгоритмы машинного обучения, применяемые в этом контексте [21]: 1) Классификация (задача разделения данных на категории, например, официальные маршруты и "народные тропы"); 2) Кластеризация (группировка маршрутов на основе схожести траекторий); 3) Алгоритмы предсказания поведения пользователей. Одним из наиболее популярных алгоритмов является K-means – классический алгоритм, разделяющий маршруты на заданное число кластеров на основе их пространственных характеристик [22]. Не менее популярным является DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) – алгоритм кластеризации на основе плотности, который выделяет скопления маршрутов и игнорирует шумовые точки [23].

Агентное моделирование является также довольно популярным. Агентное моделирование — это метод, при котором создаются виртуальные "агенты", имитирующие поведение реальных пользователей в определенной среде. Каждому агенту задаются индивидуальные параметры, такие как скорость движения, цель маршрута и склонность к оптимизации пути [24]. Для реализации агентного моделирования используют различные программные обеспечения, например:

- SimWalk: программное обеспечение для моделирования пешеходного движения в городских пространствах. Позволяет прогнозировать, где будут формироваться "народные тропы" при заданных условиях [25].

- AnyLogic: универсальная платформа, позволяющая моделировать движение людей с учетом топографии территории и временных факторов [26].

Для анализа народных троп также используются геостатистические методы. Они применяются для пространственного анализа данных и построения прогнозных карт. Наиболее популярным методом является Кригинг — метод интерполяции, позволяющий предсказывать значение параметров (например, интенсивность движения) в незамеренных точках.

Таблица 3 – Сравнение алгоритмов [22–24, 27]

Алгоритм	Тип задачи	Преимущества	Недостатки
DBSCAN	Кластеризация	Выделяет кластеры разной формы и размера	Чувствительность к параметрам
K-means	Кластеризация	Простота реализации	Требует заранее заданного числа кластеров
LSTM	Прогнозирование	Учитывает временную последовательность	Высокая вычислительная сложность
Агентное моделирование	Моделирование поведения	Визуализация поведения агентов	Высокая сложность настройки модели

Применение алгоритмов машинного обучения и агентного моделирования позволяет не только анализировать текущие "народные тропы", но и предсказывать, где могут появиться новые маршруты. В то время как методы кластеризации подходят для изучения уже существующих паттернов, агентное моделирование и геостатистические методы позволяют создавать прогнозные модели и разрабатывать рекомендации для проектировщиков. Однако выбор подхода зависит от специфики задачи и доступных данных.

Управление народными тропами: интеграция и предотвращение

Эффективное управление "народными тропами" требует понимания не только причин их формирования, но и стратегий для предотвращения или интеграции этих маршрутов в существующую инфраструктуру. Современные подходы предполагают как учет пользовательских предпочтений при проектировании территории, так и меры по минимизации ущерба для окружающей среды.

Одним из предпринимаемых мер является интеграция народных троп, которая предполагает их официальное признание и преобразование в часть инфраструктуры. Такой подход используется, когда маршруты устойчиво формируются и используются большинством посетителей [28]. Интеграция может включать [29]: Асфальтирование или мощение тропы; Добавление элементов благоустройства (скамейки, фонари, указатели); Расширение существующих дорожек для включения новых направлений движения. Например, в кампусе Университета штата Орегон проектировщики намеренно оставили газоны без дорожек и наблюдали за передвижением студентов в течение нескольких месяцев. По итогам исследования наиболее популярные маршруты были превращены в официальные дорожки с покрытием [14]. Это позволило учесть естественные предпочтения пользователей и сделать инфраструктуру более удобной.

Таким образом, преимуществами интеграции народных троп могут являться снижение затрат на регулярное восстановление газонов, учет реальных потребностей пользователей, повышение комфорта и безопасности передвижения. Недостатками же могут быть то, что не всегда возможно включить тропы без ущерба для общей планировки, а также то, что может потребоваться значительное финансирование на благоустройство.

Другой мерой является предотвращение формирования новых "народных троп", предполагающее создание барьеров и использование других методов, направляющих движение посетителей по существующим дорожкам [30]. Основные подходы:

- 1) Физические барьеры (установка ограждений, бордюров и заборов на наиболее уязвимых участках, использование кустарников и других "живых барьеров") [31];
- 2) Направляющие элементы (установка указателей и информационных табличек с просьбой использовать существующие дорожки, создание зон отдыха вдоль официальных маршрутов, чтобы мотивировать посетителей двигаться по ним) [3];

3) Изменение рельефа (создание искусственных неровностей или насыпей, чтобы сделать нежелательные маршруты менее удобными для передвижения) [11];

4) Воспитание культуры использования общественных пространств (введение образовательных программ, направленных на повышение сознательности посетителей по отношению к сохранению газонов и благоустроенных зон) [32].

Исходя из вышеприведенного можно полагать, что "народные тропы" оказывают значительное воздействие на окружающую среду: вытаптывание почвы приводит к деградации растительности, уплотнению грунта и нарушению водоотвода. Поэтому важным аспектом управления является сохранение экосистемного баланса, которое может предполагать следующие экологические стратегии:

- Использование покрытий из природных материалов, которые уменьшают эрозию почвы;

- Высадка трав и кустарников, устойчивых к вытаптыванию;

- Проведение регулярного мониторинга состояния экосистемы парка с помощью спутниковых снимков и дронов.

Внедрение стратегий управления требует значительных финансовых вложений. Проведение благоустройства новых маршрутов или установка барьеров может стоить дорого, особенно в крупных парках и заповедниках. Однако регулярное игнорирование проблемы приводит к еще большим затратам на восстановление поврежденных зон.

Исследования показывают, что стоимость интеграции троп в инфраструктуру зачастую ниже, чем расходы на регулярное восстановление газонов. Например, установка покрытия из утрамбованного щебня или древесной коры обходится дешевле, чем укладка асфальта, но при этом предотвращает деградацию почвы.

Управление "народными тропами" требует комплексного подхода, сочетающего меры по их предотвращению и интеграции. Важно учитывать поведенческие предпочтения посетителей, экологические особенности территории и экономические возможности организации. Интеграция существующих маршрутов позволяет повысить комфорт и безопасность, а предотвращение помогает сохранить природный облик парковых зон. Оптимальным подходом является сочетание различных стратегий на основании анализа и мониторинга территории.

Заключение

Комплексный подход к анализу "народных троп" с использованием современных технологий и алгоритмов позволяет не только изучить существующие маршруты, но и прогнозировать их появление, что способствует более рациональному проектированию парковых зон.

Интеграция предпочтений пользователей в планировочные решения делает пространство более удобным и функциональным, в то время как грамотное предотвращение появления народных троп помогает сохранить природный облик территории и снизить экологическую нагрузку.

Для достижения наилучших результатов рекомендуется использовать комбинированные стратегии управления, которые включают мониторинг "народных троп" с помощью ГИС, интеграцию популярных маршрутов и информирование посетителей о важности соблюдения планировки.

Список литературы

1. Desire lines and defensive architecture in modern urban environments / N. Smith, P. Walters // *Urban Studies*. — 2018. — Vol. 55, No. 13. — P. 2980–2995. <https://doi.org/10.1177/0042098017732690>

2. Desire Lines / R. Herian // *Law in Motion: 50 years of Legal Change*. — Open University Law School: 2020. — P. 90–104.
3. Pedestrian Characteristics That Favor Desire Lines Despite Closure / N. Saxena, T. Hossein Rashidi, J. Babana, C. Cheung // *Journal of Urban Planning and Development*. — 2020. — Vol. 146, No. 2. — P. 04020016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000577](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000577)
4. Commercial Success by Looking for Desire Lines / C. Myhill // *Computer Human Interaction: Vol. 3101: Lecture Notes in Computer Science*. — Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. — P. 293–304. https://doi.org/10.1007/978-3-540-27795-8_30
5. Detroit's lines of desire: Footpaths and vacant land in the Motor City / A. Foster, J.P. Newell // *Landscape and Urban Planning*. — 2019. — Vol. 189. — P. 260–273. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.009>
6. The twists and turns of 'desire paths' / H. Tones // *The SPECTATOR*. — 2022. — No. July.
7. The road not taken: locating desire lines across information landscapes / S. Burnett, A. Lloyd // *Information research*. — 2019. — Vol. 24, No. 4.
8. Planning Optimal Path Networks Using Dynamic Behavioral Modeling / S. Kudinov, E. Smirnov, G. Malyshev, I. Khodnenko // *Computational Science – ICCS 2018: Vol. 10861: Lecture Notes in Computer Science*. — Cham: Springer International Publishing, 2018. — P. 129–141. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93701-4_10
9. Understanding the value and vulnerability of informal infrastructures: Footpaths in Quito / I. Loor, J. Evans // *Journal of Transport Geography*. — 2021. — Vol. 94. — P. 103112. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103112>
10. Predicting Desire Paths: Agent-Based Simulation for Neighbourhood Route Planning / J. Bossowski, T. Szandała, J. Mazurkiewicz // *Computers, Environment and Urban Systems*. — 2025. — Vol. 117. — P. 102251. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2025.102251>
11. Procedural Location of Roads Using Desire Paths / P. Real, F. Martínez-Gil, R.J. Martínez-Durá, I. García-Fernández // *Spanish Computer Graphics Conference (CEIG)/The Eurographics Association, 2019*. — P. 19–24. <https://doi.org/10.2312/CEIG.20191199>
12. Follow the Desire Lines / L. Tarrant // *Australian Quarterly*. — 2019. — Vol. 90, No. 1. — P. 3–11.
13. Accepting Invitations: Desire Lines as Earthly Offerings / M. Tiessen // *Rhizomes*. — 2007. — No. 15. — P. 1–7.
14. *The Oregon experiment*. — New York: Oxford University Press, 1975. — 190 p.
15. *The Poetics of Space* / G. Bachelard. — East Rutherford: Penguin Publishing Group, 2014. — 282 p.
16. Drawings We Have Lived: Mapping Desire Lines in Edmonton / E. Luckert // *Constellations*. — 2013. — Vol. 4, No. 1. <https://doi.org/10.29173/cons18871>
17. Sensing Human Activity: GPS Tracking / S. Van Der Spek, J. Van Schaick, P. De Bois, R. De Haan // *Sensors*. — 2009. — Vol. 9, No. 4. — P. 3033–3055. <https://doi.org/10.3390/s90403033>
18. Mapping with Aerial Photographs: Recording the Past, the Present, and the Invisible at Marj Rabba, Israel / A. (Chad) Hill, Y. Rowan, M.M. Kersel // *Near Eastern Archaeology*. — 2014. — Vol. 77, No. 3. — P. 182–186. <https://doi.org/10.5615/neareastarch.77.3.0182>
19. A strategy and evaluation method for ground global path planning based on aerial images / C.D.B. Borges, A.M.A. Almeida, I.C. Paula Júnior, J.J.D.M. Sá Junior // *Expert Systems with Applications*. — 2019. — Vol. 137. — P. 232–252. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.06.067>
20. Review of Pedestrian Trajectory Prediction Methods: Comparing Deep Learning and Knowledge-based Approaches / R. Korbmacher, A. Tordeux. — 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.06740>

21. The Use of Clustering and Classification Methods in Machine Learning and Comparison of Some Algorithms of the Methods / G.A.A. Mulla, Y. Demir // *Cihan University-Erbil Scientific Journal*. — 2023. — Vol. 7, No. 1. — P. 52–59. <https://doi.org/10.24086/cuesj.v7n1y2023.pp52-59>
22. kROp: k-Means clustering based routing protocol for opportunistic networks / D.K. Sharma, S.K. Dhurandher, D. Agarwal, K. Arora // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. — 2019. — Vol. 10, No. 4. — P. 1289–1306. <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0697-3>
23. Pedestrian Group Detection with K-Means and DBSCAN Clustering Methods / M. Chen, S. Banitaan, M. Maleki, Y. Li // *2022 IEEE International Conference on Electro Information Technology (eIT)*. — Mankato, MN, USA: IEEE, 2022. — P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/eIT53891.2022.9813918>
24. Agent-Based Pedestrian Modeling / M. Batty // *Environment and Planning B: Planning and Design*. — 2001. — Vol. 28, No. 3. — P. 321–326. <https://doi.org/10.1068/b2803ed>
25. Simulating the Pedestrian Movement in the Public Transport Infrastructure / Z.A. Bohari, S. Bachok, M.M. Osman // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. — 2016. — Vol. 222. — P. 791–799. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.167>
26. Study on the Simulation and Optimization of Pedestrian Flow in Metro Stations Based on Anylogic // *Advances in Computer, Signals and Systems*. — 2023. — Vol. 7, No. 9. <https://doi.org/10.23977/acss.2023.070907>
27. Soft sensing of water depth in combined sewers using LSTM neural networks with missing observations / R. Palmitessa, P.S. Mikkelsen, M. Borup, A.W.K. Law // *Journal of Hydro-environment Research*. — 2021. — Vol. 38. — P. 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2021.01.006>
28. Evaluating neighbourhood roads through agent-based modelling: A step towards the optimal pedestrian desire path system / L. Ma, S.A. Brandt, S. Seipel, D. Ma // *Expert Systems with Applications*. — 2025. — Vol. 266. — P. 125782. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125782>
29. Exploratory Analysis of Revealed Pedestrian Paths as Cues for Designing Pedestrian Infrastructure / C. Coutts, R. Wenger, M. Duncan // *Journal of Urban Planning and Development*. — 2019. — Vol. 145, No. 4. — P. 05019017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000539](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000539)
30. How our decision-making process impacts our street crossing habits: Exploring the factors behind use of desire lines. / E. Irannezhad, M. Yazdani, H.T. Rashidi, A. Furnell // *Proceedings of 44th Australasian Transport Research Forum (ATRF)*. — Perth, Western Australia, Australia: 2023. — P. 1–8.
31. Student Led Campus Desire Path Evaluation Using Pictometry® Neighborhood Imagery / D. Kulhavy, D. Unger, I.-K. Hung // *Journal of Studies in Education*. — 2018. — Vol. 8, No. 4. — P. 15. <https://doi.org/10.5296/jse.v8i4.13695>
32. Understanding pedestrian behavior and spatial relations: A pedestrianized area in Besiktas, Istanbul / Ö.C. Yıldırım, E. Çelik // *Frontiers of Architectural Research*. — 2023. — Vol. 12, No. 1. — P. 67–84. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.06.009>

Сведения об авторах:

Е.Б. Утепов – PhD, профессор, «Құрылыс» кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, utepov-elbek@mail.ru

Е.Б. Утепов – PhD, профессор, профессор кафедры «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан, utepov-elbek@mail.ru

Ye.B. Utepov – PhD, Professor, Professor of the Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan, utepov-elbek@mail.ru

Вклад автора:

Е.Б. Утепов – концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование, получение финансирования.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): ИИ использовался для улучшения оригинального текста.

**ЖАЯУ ЖҮРГІНШІЛЕРДІҢ ҚАЛАУЫ ЖӘНЕ ӨЗДІГІНЕН ЖҮРЕТІН
ЖОЛДАР: ХАЛЫҚТЫҚ СОҚПАҚ ФЕНОМЕНІ**

Е.Б. Утепов*¹ 

¹Аффилиция «Құрылыс кафедрасы», Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан Республикасы

*Корреспондент автор: utepov-elbek@mail.ru

Аңдатпа. Мақала "халықтық соқпақтар" құбылысын — пайдаланушылардың қозғалысын оңтайландыру нәтижесінде саябақ аймақтарында пайда болатын бейресми жаяу жүру жолдарын зерттеуге арналған. Олардың пайда болуының негізгі себептері, соның ішінде жолдардың ыңғайсыз орналасуы, жер бедерінің ерекшеліктері және келушілердің әлеуметтік қалауы қарастырылады. Көрнекі бақылауды, сауалнамаларды, GPS трекерлерін, дрондарды және спутниктік суреттерді пайдалануды қоса алғанда, "Халықтық жолдарды" зерттеудің дәстүрлі және заманауи әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Маршруттарды талдау және болжау үшін машиналық оқыту, кластерлеу және агенттік модельдеу алгоритмдеріне ерекше назар аударылады. Мақалада сонымен қатар танымал маршруттарды жоспарлау схемасына біріктіру және бағыттаушы элементтер мен кедергілер арқылы олардың пайда болуына жол бермеу сияқты "халықтық жолдарды" басқару стратегиялары ұсынылған. Жаяу жүргіншілер ағындарын көрнекі түрде көрсетуге және өзгерістерді болжауға мүмкіндік беретін жылу карталары, 3D модельдері және ГАЖ сияқты деректерді визуализациялау әдістері сипатталған. Зерттеудің негізгі қорытындысы - "халықтық жолдарды" талдауға кешенді тәсілді қолдану саябақ аймақтарын жобалаудың тиімділігін арттырады, пайдаланушы тәжірибесін жақсартады және табиғи ландшафтты сақтауға ықпал етеді. Мақала урбанистика, Ландшафты дизайн және қалалық аумақтарды басқару саласындағы мамандарға пайдалы болады.

Түйінді сөздер: халық соқпақтары, жаяу жүру жолдары, ГАЖ, агенттік модельдеу, урбанистика, саябақтарды басқару.

**PEDESTRIAN PREFERENCES AND SPONTANEOUS ROADS: THE
PHENOMENON OF DESIRE PATHS**

Е.Б. Утепов^{*1} 

¹Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of Kazakhstan

*Corresponding author: utepov-elbek@mail.ru

Abstract. This review is devoted to studying the phenomenon of “people's paths” - unofficial pedestrian routes formed in park areas due to the optimization of user traffic. The main reasons for their appearance are considered, including the inconvenient location of paths, relief features, and social preferences of visitors. A comparative analysis of traditional and modern methods of studying “people's trails”, including visual observation, surveys, use of GPS trackers, drones, and satellite images, is carried out. Special attention is paid to machine learning, clustering, and agent-based modeling algorithms for trail analysis and prediction. The paper also presents strategies for managing “people trails”, such as integrating popular routes into the planning scheme and preventing them from forming with guiding elements and barriers. Data visualization techniques including heat maps, 3D models, and GIS are described to visualize pedestrian flows and predict changes. The main conclusion of the study is that using an integrated approach to analyzing “people trails” improves parkland design efficiency, enhances user experience, and promotes the conservation of the natural landscape. The article will be useful for specialists in urbanism, landscape design, and urban area management.

Keywords: desire paths, pedestrian routes, GIS, agent-based modeling, urbanism, park management.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).