

Научная статья

УДК 624.012.44

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2024-16-2-125-139>

CC BY 4.0

Экспериментальное исследование асфальтобетона в качестве оптимального материала для облицовки оросительных каналов

Жангазы Нуржанович Молдамуратов^{1,2} , Айганым Бахтияровна Исмаилова² ,
Айнур Зокировна Тухтамишева² , Жандос Елеукунович Ескермесов³ , Мурат Аманжолович Рахимов^{4*} 

¹ Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

³ Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

⁴ Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, Караганда, Казахстан

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: rahimov67@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Основные потери воды в оросительных системах происходят вследствие фильтрации, обуславливающейся свойствами грунтов, в которых проходит канал. Потеря на фильтрацию в оросительных системах составляет до 50% забираемой для орошения воды. Кроме физико-химических свойств грунта, имеет большое значение также величина смоченного периметра, горизонт воды в канале, уровень грунтовых вод и другие факторы. **Методы и материалы.** Подбор рецептов асфальтобетона выполнялся по лабораторному методу и по кривым Циата. Исследование проводилось по химическим и физическим свойствам шымкентских битумов и их смесей с актауским битумом; применялись заполнитель-лесс, известняк и шымкентский цемент. Микро- и наноструктурный анализ полученного асфальтобетона проводился методом растрового электронного микроскопа (SEM). **Результаты и обсуждение.** Асфальтобетон, приготовленный с цементом, показал понижение временного сопротивления сжатию при 50°C на 70–38%, приготовленный с известняком – на 47–33%, и приготовленный с лессом – на 66–20%. **Заключение и выводы.** Лучшим заполнителем для асфальтобетона оказался молотый известняк, так как он дает более высокое качество асфальтобетону, чем другие заполнители. Особенно резкое повышение качества асфальтобетона молотый известняк дает в мелкозернистом асфальтобетоне. Повышение температуры с 20 до 50°C резко понижает временное сопротивление сжатию асфальтобетона и менее резко с повышением от 50 до 70°C.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асфальтобетон, оросительные каналы, облицовка, битум, наноструктурированные микрозаполнители, минеральная смесь.

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках научного проекта № AP13268964.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Молдамуратов Ж.Н., Исмаилова А.Б., Тухтамишева А.З., Ескермесов Ж.Е., Рахимов М.А. Экспериментальное исследование асфальтобетона в качестве оптимального материала для облицовки оросительных каналов // Нанотехнологии в строительстве. 2024. Т. 16, № 2. С. 125–139. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2024-16-2-125-139>. – EDN: AROTER.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач ирригации является рациональное использование для орошения имеющихся водных ресурсов, т.е. распределение их по оросительной сети без больших потерь в пути. Потеря на фильтрацию в оросительных системах составляет до 50% забираемой для орошения воды

и является основной причиной неблагоприятного баланса грунтовых вод орошаемой территории, вызывающая заболачивание и, как следствие этого, засоление площадей. Поэтому большое значение в ирригации имеет вопрос облицовки каналов соответствующими материалами [1–3].

Современные исследователи (Petrusevich V.V., Garbuz A.Yu., Talalaeva V.F. и др.) активно занима-

© Молдамуратов Ж.Н., Исмаилова А.Б., Тухтамишева А.З., Ескермесов Ж.Е., Рахимов М.А., 2024

ются разработкой различных гидрофобных покрытий для гидротехнических сооружений, в основном рассматривая вопросы влияния составов гидрофобизирующих средств на физико-механические свойства асфальтобетонных покрытий [1, 3], технологии ремонта бетонной облицовки каналов [4–6], оптимизации расположения деформационных швов в бетонной облицовке каналов и пр. [7–10].

Асфальтобетон как материал для облицовки оросительных каналов имеет по сравнению с другими материалами следующие преимущества [1–5]:

1. Он водонепроницаем, что нельзя сказать про цементный бетон;

2. По сравнению с цементным бетоном, обладает некоторой пластичностью, т. е. способностью к деформации. Это дает ему возможность до известной степени следовать за деформациями дна и боковых поверхностей канала, без большой потери своих водонепроницаемых свойств;

3. Обладает способностью быстро твердеть (2–3 дня), что дает возможность быстро пускать в эксплуатацию каналы, чего нельзя достигнуть при облицовке каналов цементным бетоном;

4. Асфальтобетонная облицовка, в случае появления трещин и местных разрушений, может быть легко и быстро отремонтирована. Кроме того, материал старой одежды может быть вновь применен в дело с добавкой некоторого количества нового битума;

5. Асфальтобетон практически не подвергается действию минеральных грунтовых и сбросных вод;

6. Асфальтобетон морозоупорен.

Вышеуказанные свойства асфальтобетона обратили на себя внимание и толкнули на исследование вопроса применения асфальтобетона для облицовки оросительных каналов с применением местных материалов.

На сегодняшний день австрийские и немецкие строительные компании активно используют гидро-

фобные асфальтобетонные покрытия для облицовки оросительных каналов (рис. 1).

Таковыми исследованиями Казахская головная архитектурно-строительная академия (КазГАСА) уже занимается на протяжении ряда лет. Продолжением их является эта работа, начатая во втором полугодии 2022 года [2, 5, 7]. В задачи ее входило разрешение следующих вопросов:

1. Исследование химических и физических свойств шымкентских битумов и их смесей с актауским битумом;

2. Исследование заполнителей-лесса, известняка и шымкентского цемента;

3. Исследование инертных материалов;

4. Подбор рецептов асфальтобетона по лабораторному методу и по кривым Циата с вышеуказанными заполнителями. Задачей этого было определить лучший метод подбора асфальтобетона;

5. Исследование влияния различных заполнителей на качество асфальтобетона и возможность применения лесса в качестве заполнителя;

6. Исследование влияния шымкентских битумов и их смеси с актауским битумом на качество асфальтобетона и возможность применения их в асфальтобетоне;

7. Исследование влияния температуры на качество асфальтобетона.

Перейдем к рассмотрению результатов этих исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Свойства битумов

В качестве связующего вещества в асфальтобетоне применялись актауские и шымкентские битумы, а также и их смеси. Актауский битум применялся при проектировке рецептов и при исследовании влияния



Рис. 1. Оросительные каналы, облицованные асфальтобетонным покрытием:
а – Альц-канал, Германия; б – канал Святого Панталеона, Австрия

различных заполнителей на качество асфальтобетона.

Для выбора соответствующей марки актауского битума было произведено исследование физических свойств имеющихся битумов (табл. 1).

Пенетрация битумов определялась автоматическим пенетрометром Линтел ПН-20. Дуктильность определялась цифровым дуктилометром (рис. 2).

Из табл. 1 видно, что наиболее пригодным для асфальтобетона является битум бочки № 3, который и был выбран для работы.

Для исследования шымкентских битумов и их смеси с актауским на качество асфальтобетона, были испытаны битумы марки БНД 60/90, доставленные из ТОО «Битумный завод» (город Шымкент, Республика Казахстан) (табл. 2).

Как видно из табл. 2, шымкентские битумы обладают большой пенетрацией и малой дуктильностью, так что по техническим условиям они должны быть признаны непригодными для асфальтобетона.

Лучшим битумом из вышеуказанных шымкентских битумов является битум бочки 3, который и был выбран для исследования влияния имеющегося шымкентского битума на качество асфальтобетона.

Для улучшения качества шымкентских битумов к ним добавлялись актауские битумы в различном соотношении, и полученные таким образом смеси исследовались на физические свойства.

Основываясь на опыте предыдущих работ [3–8], было проделано смешение шымкентского битума № 11 с актауским битумом № 3 и шымкентского битума № 11 с актауским битумом № 1. Результаты исследований этих смесей сведены в табл. 3.

Пригодной для асфальтобетона оказалась смесь битумов № 5, т.е. смесь с соотношением 25 к 75% битума шымкентского к актаускому, что надо признать экономически маловыгодным.

Для исследования смеси битума шымкентского с актауским на качество асфальтобетона была выбрана смесь № 5.

Таблица 1

Физические свойства битумов

Физические свойства битумов	№ бочек битума					
	1	2	3	4	5	6
Пенетрация при 25°C	84	15	41	109	25,5	13,5
Дуктильность при 25°C	>100	3,8	39,5	58,7	3,0	4,2
Температура размягчения по кольцу и шару	47°C	80,5°C	57°C	42,5°C	68°C	80,5°C

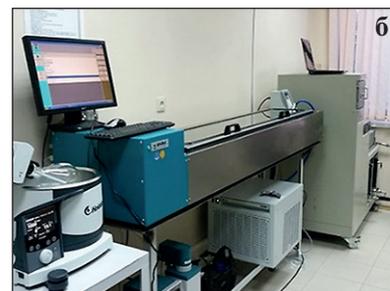


Рис. 2. Определение пенетрации и дуктильности битумов:

а – Пенетрометр автоматический – Линтел ПН-20; б – Дуктилометр цифровой, 1500 мм

Таблица 2

Физические свойства битумов

Физические свойства битумов	№ бочек битума										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пенетрация при 25°C	92	90	92,6	27,3	-	101	100	12,5	102,7	22,5	23,1
Дуктильность при 25°C	2,8	2,4	7,2	2,3	-	2,7	2,7	1	2,4	2,1	1,9
Температура размягчения по кольцу и шару в градусах, °C	79,5	87	49	90	37	82	82	>100	93,5	>100	>100

Таблица 3

Физические свойства битумных смесей

№ смеси	Состав смеси	Пенетрация при 25°С	Дуктильность при 25°С	Температура размягчения по кольцу и шару в градусах, °С
1	Шымкентский № 11-30% +Актауский № 3-70%	41,5	7	63
2	Шымкентский № 11-90% +Актауский № 1-10%	32	2,2	100
3	Шымкентский № 11-75% +Актауский № 3-25%	33	2,9	87
4	Шымкентский № 11-50% +Актауский № 3-50%	41,1	6,1	65
5	Шымкентский № 11-25% +Актауский № 3-75%	55	31,5	55

Исходя из этого следует, что шымкентский битум вышеуказанного качества не удовлетворяет техническим условиям, поэтому его надо признать непригодным для асфальтобетона. Качество шымкентского битума можно улучшить добавкой сравнительно большого количества актауского битума. Но экономически это маловыгодно.

Заполнители и инертные материалы, примененные для асфальтобетона

Для асфальтобетона применялись материалы, имевшиеся на асфальтобетонном заводе города Алматы, а именно:

1. Гранитный щебень, размером 17–6 мм;
2. Гранитная мелочь, размером 6–0 мм;
3. Каскеленский песок;
4. Шымкентский цемент в качестве заполнителя;
5. Молотый известняк в качестве заполнителя.

Кроме того, в качестве микрозаполнителя применялся молотый лесс, взятый на территории КазГАСА.

Гранулометрический состав вышеуказанных материалов сведен в табл. 4.

Удельный вес материалов определялся колбой Ле-Шателье-Кандло [9–11]. Объемный вес материалов определялся утряхиванием до постоянного веса материала объемом 1000 см на трясущем аппа-

Таблица 4

Гранулометрический состав материалов

Наименование материалов	Гранулометрический анализ в %									Удельный вес	Объемный вес
	6–4 мм	4–2 мм	2–1,0 мм	1,0–0,49 мм	0,49–0,20 мм	0,20–0,12 мм	0,12–0,06 мм	<0,06 мм	Распыление		
1. Гранитная мелочь размером 6–0 мм	46,6 43,76	19,8 22,17	7,3 7,64	8,00 8,40	9,0 7,3	3,2 2,83	4,7 2,41	1,2 5,2	0,20 0,20	2,72	1,89 1,91
2. Каскеленский песок	– –	2,83 2,87	1,38 1,75	9,26 8,80	54,3 53,95	18,40 18,50	8,87 9,85	0,50 4,20	4,46 0,08	2,67 2,68	1,72 1,73
3. Шымкентский цемент	– –	0,81 0,96	0,29 0,28	0,63 0,73	2,56 2,68	6,71 7,01	23,24 23,08	65,36 65,02	0,40 1,24	3,13 3,16	1,87 1,88
4. Известняк наполнитель	–	–	0,18	1,04	8,25	11,85	14,97	62,25	1,46	2,68	–
5. Лесс помол №1	–	0,13	0,72	1,59	14,73	11,97	10,16	58,92	1,78	2,65	1,60 1,61
помол №2	–	–	0,18	1,01	8,25	11,85	14,97	62,25	1,46		
помол №3	–	–	0,10	2,02	16,43	8,33	8,65	63,59	0,48		
помол №4	–	–	–	2,36	16,76	9,66	6,9	61,28	0,83		
6. Щебень размером 17–6 мм	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,72	1,42 1,42

рате Тетмайера (пестик Тетмайера – прибор Вика). От определения объемного веса методом трамбования на копре Боле пришлось отказаться, так как для различного материала требуется различное и большое количество ударов для получения постоянного объемного веса (рис. 3).

Из табл. 4 видно, что по гранулометрическому составу шымкентский цемент, известняк и лесс в основном удовлетворяют требованиям, предъявляемым к заполнителям, т.е. через сито с отверстием, равным 0,066 мм, проходит более 60%, и на сите с отверстием, равным 0,5 мм, остается не более 2% (по техническим условиям Циата требуется, чтобы через сито с отверстием 0,088 мм проходило не менее 65% и через сито с отверстием 0,5 мм проходило не менее 100%) [12, 13–15]. Химический анализ вышеуказанных заполнителей следующий (табл. 5).

Подбор рецептов асфальтобетона

Из имеющихся материалов были подобраны минеральные смеси рецептов асфальтобетона по двум методам: по методу лабораторного подбора и по способу кривых Циата [16, 17]. По каждому из этих методов было подобрано по два рецепта с каждым заполнителем, а именно – один рецепт мелкозернистого асфальтобетона и один рецепт среднезернистого [18–22].

Подбор минеральных смесей рецептов по лабораторному методу производился в кубической форме с уплотнением на копре Боле [23]. По этому методу были подобраны следующие смеси (табл. 6).

Минеральные смеси, подобранные по кривым Циата, и полученные кривые показаны на графиках (рис. 4 и 5). Для подбора количества битума для вы-

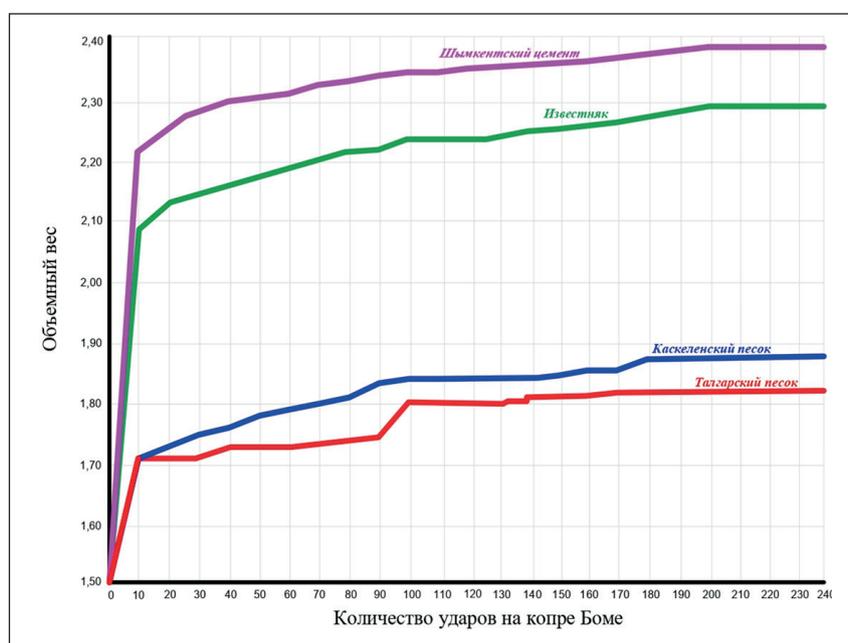


Рис. 3. Удельный вес материалов

Таблица 5

Химический анализ заполнителей

№	Наименование элементов химического анализа	Шымкентский цемент в %	Молотый известняк в %	Лесс в %
1	Гигроскопическая вода	0,48	0,18	1,75
2	Потеря от прокальвания	2,78	38,96	14,24
3	Кремнекислота SiO ₂	21,70	4,18	51,11
4	Серный ангидрит SO ₃	1,55	0,63	0,97
5	Окись кальция CaO	59,60	51,40	12,32
6	Окись магния MgO	3,52	1,38	1,72
7	Сумма окислов Te ₂ O ₃ ÷ Al ₂ O ₃	10,05	3,75	17,81

Таблица 6
Подбор минеральных смесей

№ рецептов	Состав рецептов в %						Всего
	Щебень размером 17–6 мм	Гранитная мелочь размером 6–0 мм	Каскеленский песок	Шымкентский цемент	Молотый известняк	Лесс	
1	–	58,82	23,52	17,66	–	–	100
1-а	–	55,55	22,23	–	22,22	–	100
1-б	–	58,82	23,53	–	–	17,65	100
2	35,71	25,00	17,86	21,43	–	–	100
2-а	35,71	25,00	17,86	–	21,43	–	100
2-б	35,71	25,00	17,86	–	–	21,43	100

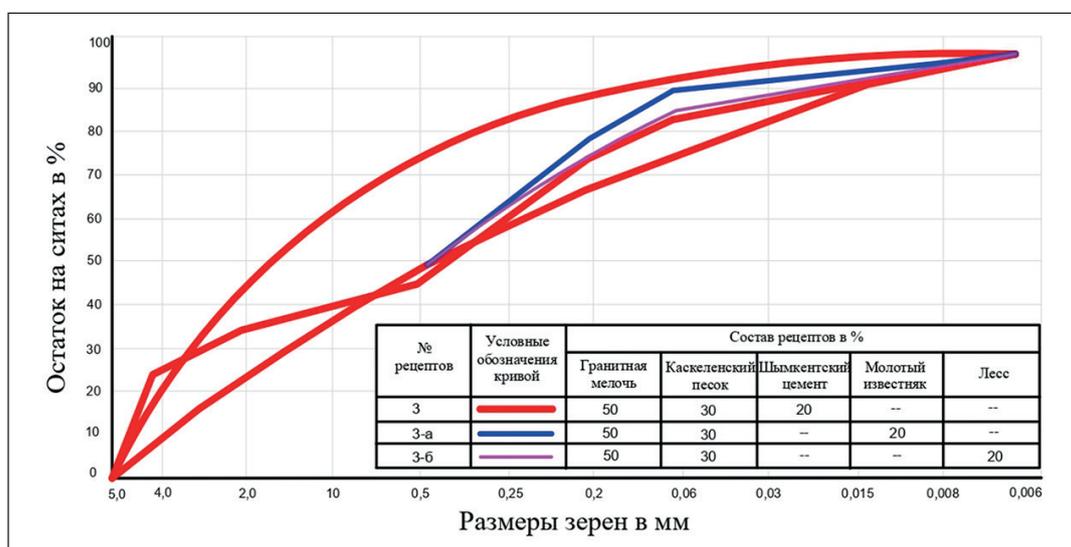


Рис. 4. Минеральные смеси рецептов

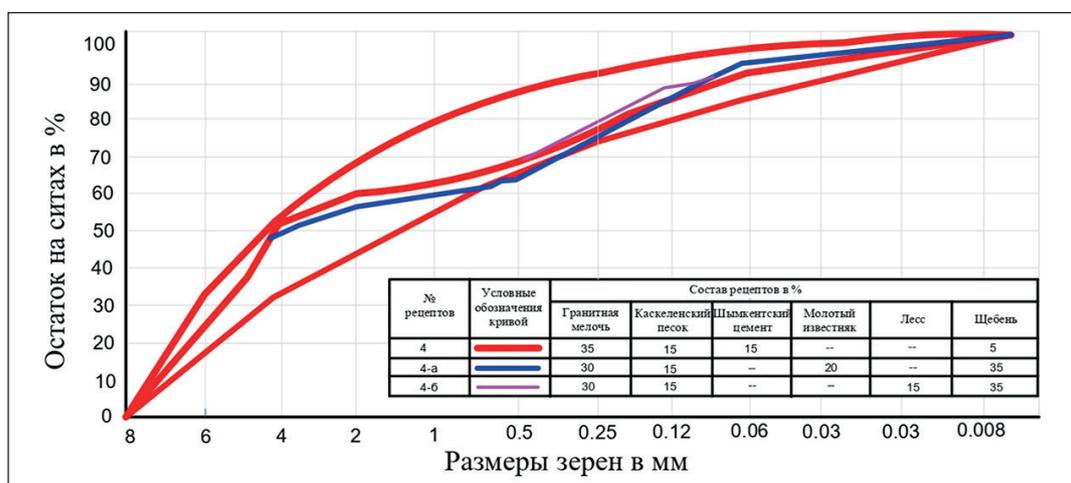


Рис. 5. Минеральные смеси рецептов

шеуказанных минеральных смесей рецептов были определены удельный вес, объемный вес и их пористость [20–24].

Удельный вес минеральных смесей определялся по формуле [13]:

$$D_n = \frac{100}{\frac{P_1}{D_1} + \frac{P_2}{D_2} + \frac{P_3}{D_3} + \frac{P_4}{D_4}},$$

где P_1, P_2, P_3, P_4 – количество щебня, гранитной мелочи, песка и заполнителя в минеральной смеси в %, D_1, D_2, D_3, D_4 – удельные веса щебня, гранитной мелочи, песка и заполнителя.

Объемный вес определялся утряхиванием до постоянного веса минеральной смеси объемом 1000 см³ [13, 14].

Пористость минеральных смесей определялась по формуле [14]:

$$A_n = 100 \left(1 - \frac{R_n}{D_n} \right),$$

где R_n – объемный вес минеральной смеси.

Ориентировочное количество битума для рецептов определялось по формуле [14, 15]:

$$X = 100 \left(\frac{A_n * a}{R_n} \right),$$

где a – коэффициент, принятый для жаркого и сухого климата, равный – 0,85.

Полученные результаты сведены в табл. 7.

Для окончательного определения количества битума по каждому рецепту было приготовлено несколько замесов асфальтобетонной смеси с различным количеством битума.

Приготовление асфальтобетонной смеси производилось в лопастной мешалке следующим образом: составлялась минеральная смесь по определенному рецепту и подвергалась нагреву до температуры 175°C, в это же время производилось нагревание битума до 175°C [14]. После подогрева минеральная смесь и битум помещались в мешалку и тщательно в течение 5 минут перемешивались, причем все время выдерживалось 240 оборотов вала мешалки. Из приготовленной таким образом смеси изготавливались 6 кубиков размером 7×7×7 см для испытания на временное сопротивление сжатию при температуре 20 и 50 или 70°C и 1 образец размером 20×20×2,5 см для испытания на водопроницаемость (рис. 6).

Таблица 7

Сравнительная таблица минеральных смесей

Наименование	№ рецептов											
	1	1-а	1-б	2	2-а	2-б	3	3-а	3-б	4	4-а	4-б
Метод подбора	Лабораторный						По кривым Циата					
Удельный вес минеральной смеси	2,78	2,70	2,70	2,76	2,70	2,70	2,78	2,70	2,70	2,78	2,70	2,70
Объемный вес минеральной смеси	2,14	2,10	2,05	2,25	2,13	2,13	2,11	2,10	2,03	2,23	2,14	2,11
Пористость минеральной смеси	23,00	22,2	24,10	18,5	21,10	21,10	24,10	22,2	24,80	19,80	20,20	21,80
Ориентировочное количество битума	9,14	8,99	9,99	6,99	8,42	8,42	9,71	8,99	10,38	7,55	8,07	8,78

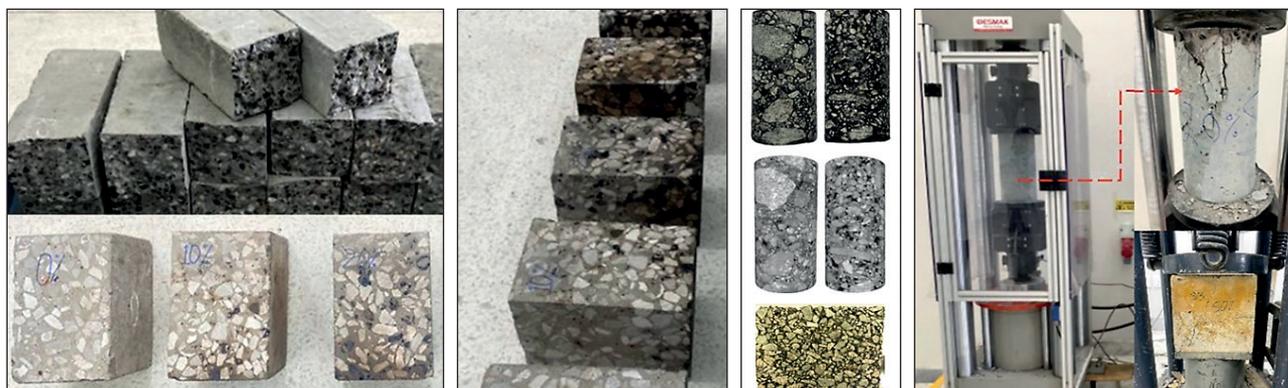


Рис. 6. Испытание образцов асфальтобетона на временное сопротивление сжатию

После приготовления и остывания образцов производился обмер, взвешивание их, определение удельного веса, объемного веса и остаточной пористости [14–16].

Удельный вес образцов определялся по формуле [13]:

$$D_a = \frac{(n + 100)D_n}{100\Delta + nD_n},$$

где n – процент битума в смеси, а Δ – удельный вес его.

Объемный вес образцов определялся делением веса на объем [13, 14].

Остаточная пористость определялась по формуле [13]:

$$A_a = 100 \left(1 - \frac{R_a}{D_a} \right).$$

Образцы перед испытанием на временное сопротивление сжатию выдерживались 4 часа в термостате при определенной температуре и затем уже испытывались на гидравлическом прессе (рис. 6) [17–20].

Испытание на водопроницаемость производилось на приборе ВИП-1 следующим образом: сначала образец подвергался действию напора воды в 0,5 атм. в течение 1 часа, а затем через каждый час давление увеличивалось на 0,5 атмосфер, пока не достигало 2,0 атмосфер [22, 23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Рассматривая результаты испытаний на временное сопротивление сжатию и водопроницаемость в табл. 8, находим оптимальное количество битума для каждого рецепта. Результаты испытаний сведены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты испытаний рецептов на временное сопротивление сжатию и водопроницаемость

№ рецептов	Количество битума в %	Удельный вес асфальтобетонной массы	Объемный вес асфальтобетонной массы	Остаточная пористость асфальтобетонной массы	Водопроницаемость в %	Временное сопротивление сжатию				Водопроницаемость			
						При температуре – 20°С	При температуре – 50°С	При температуре – 70°С	Толщина обработки в см	При 0,5 атм. В течение 1 часа	При 1,0 атм. В течение 1 часа	При 1,5 атм. В течение 1 часа	При 2,0 атм. В течение 1 часа
1	10	2,39	2,28	4,50	–	28,04	–	–	2,95	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Появилась вода около зажима
1	9,5	2,41	2,26	6,20	–	29,70	18,60	–	2,50	Вода около зажима	Вода около зажима	Вода прошла	Вода не прошла
1	9,0	2,42	2,27	6,20	0,65	34,34	14,40	15,00	2,48	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	*
1	8,5	2,44	2,21	9,50	–	33,78	18,10	–	2,25	*	*	Вода прошла	–
1	8,0	2,46	2,21	10,80	–	32,31	20,20	–	2,71	Вода прошла	–	–	–
1-а	9,5	2,35	2,31	1,70	–	31,35	–	–	3,24	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла
1-а	8,5	2,38	2,24	5,90	–	43,60	33,00	–	2,91	*	*	Вода прошла	–
1-а	8,0	2,40	2,25	6,3	–	51,10	–	–	2,61	*	*	Вода не прошла	Вода прошла в трещину
1-а	7,5	2,41	2,18	9,5	–	54,90	36,80	–	3,17	*	*	*	Вода прошла
1-а	7,0	2,43	1,98	18,5	–	28,60	13,80	–	2,88	Вода прошла	–	–	–
1-б	9,5	2,35	2,16	8,1	–	31,00	18,80	–	3,24	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла
1-б	9,0	2,37	2,23	5,9	–	36,40	29,10	–	3,10	Вода прошла	–	–	–
1-б	8,5	2,38	2,17	8,8	–	31,86	24,00	–	3,01	*	Вода прошла	Вода прошла	Вода прошла
1-б	8,0	2,40	2,09	3,1	–	34,80	15,00	–	2,43	*	–	–	–
1-б	7,5	2,41	2,07	14,1	–	34,10	17,90	–	2,96	*	–	–	–
2	7,5	2,46	2,28	7,3	–	26,53	10,00	–	2,73	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	–
2	7,0	2,48	2,25	9,3	–	26,90	20,30	–	2,85	*	*	*	–
2	6,5	2,49	2,20	11,6	–	37,99	23,45	–	2,66	*	*	Появилась капля у кольца	Появилась капля у кольца
2	6,0	2,51	2,19	12,7	–	31,36	23,00	–	2,71	Вода прошла у кольца	–	–	–

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

№ ре- цептов	Коли- чество битума в %	Удель- ный вес асфаль- тобето- тонной массы	Объ- емный вес ас- фальто- бетонной массы	Остаточ- ная по- ристость асфаль- тобето- тонной массы	Водо- прони- цаемость в %	Временное сопротивление сжатию				Водопроницаемость			
						При темпе- ратуре – 20°С	При темпе- ратуре – 50°С	При темпе- ратуре – 70°С	Толщина обработ- ки в см	При 0,5 атм. В течение 1 часа	При 1,0 атм. В течение 1 часа	При 1,5 атм. В течение 1 часа	При 2,0 атм. В течение 1 часа
2-а	7,5	2,42	2,34	3,3	—	35,40	33,50	—	3,12	*	*	*	*
2-а	7,0	2,43	2,29	5,4	—	35,90	23,40	—	2,82	*	*	*	Появилась вода в трещине
2-а	6,5	2,45	2,28	6,9	—	32,90	23,10	—	3,06	*	*	*	Вода прошла
2-а	6,0	2,47	2,10	15,10	—	37,28	10,60	—	2,64	Вода про- шла	—	—	—
2-б	8,5	2,38	2,23	6,3	—	30,60	20,50	—	3,16	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода прошла
2-б	8,0	2,40	2,23	6,6	—	32,61	13,60	—	3,31	*	*	*	Вода не прошла
2-б	7,5	2,41	2,20	8,7	—	39,60	13,50	—	2,70	Вода прошла	—	—	—
2-б	7,0	2,43	2,22	8,7	—	26,70	16,60	—	3,51	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода прошла
3	10,0	2,39	2,27	5,13	—	25,29	—	—	2,47	*	*	*	*
3	9,5	2,41	2,17	9,98	—	25,70	—	—	2,19	*	Появилась капля в тре- щине	—	—
3	9,0	2,42	2,16	10,70	—	25,23	9,90	—	2,17	Появилась капля у кольца	Появилась капля в трещине	—	—
3	8,5	2,44	2,17	11,70	—	29,60	19,23	—	2,79	*	Вода прошла	—	—
3	8,0	2,46	2,18	11,06	—	33,50	15,90	—	2,63	Вода прошла	—	—	—
3	7,5	2,47	2,20	10,90	—	39,50	20,61	—	3,15	Вода не прошла	Вода прошла	—	—
3	7,0	2,49	2,07	16,90	—	30,50	15,50	—	2,46	Вода прошла	—	—	—
3-а	9,0	2,37	2,27	4,20	—	39,40	38,70	—	3,08	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла
3-а	8,5	2,38	2,27	4,60	—	38,50	33,60	—	2,99	*	*	*	*
3-а	8,0	2,40	2,24	6,70	—	51,20	23,20	—	2,41	Вода прошла	—	—	—
3-а	7,5	2,41	2,23	7,30	0,65	57,30	37,70	15,50	3,29	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла
3-а	7,0	2,43	2,14	11,60	—	50,50	32,0	—	2,61	*	*	*	*
3-б	6,5	2,45	1,94	18,60	—	38,33	12,6	—	2,66	Вода прошла	—	—	—
3-б	10,0	2,34	2,17	7,30	1,15	33,60	20,60	16,20	2,80	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла
3-б	9,5	2,35	2,17	7,70	—	34,00	22,20	—	2,96	Вода прошла	—	—	—
3-б	9,0	2,36	2,14	9,30	—	36,00	23,30	—	2,97	*	—	—	—
3-б	8,5	2,38	2,14	10,00	—	39,50	23,00	—	2,96	*	—	—	—
4	8,0	2,46	2,30	6,5	—	25,20	—	—	2,80	Вода не прошла	Вода не прошла	—	—
4	7,5	2,47	2,28	7,7	—	24,85	—	—	2,75	*	Вода прошла	—	—
4	7,0	2,49	2,22	10,8	—	27,85	11,71	—	2,26	Вода прошла у кольца	—	—	—
4	6,5	2,51	2,16	13,90	—	27,97	16,00	—	2,66	Вода прошла	—	—	—
4	6,0	2,53	2,18	13,80	—	34,11	10,21	—	2,66	*	—	—	—
4	5,5	2,54	2,04	19,70	—	21,60	9,6	—	3,21	*	—	—	—
4-а	8,0	2,49	2,31	3,65	—	26,30	—	—	3,66	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла
4-а	7,0	2,43	2,28	6,20	—	34,75	19,0	—	2,51	Вода про- шла	—	—	—
4-а	6,5	2,45	2,25	8,00	—	36,64	32,10	—	2,12	*	—	—	—
4-а	6,0	2,47	2,20	10,90	—	39,82	21,00	—	3,50	*	—	—	—
4-б	8,0	2,40	2,28	5,00	—	23,20	22,00	—	3,36	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла
4-б	7,5	2,42	2,19	9,50	—	31,00	20,40	—	3,42	*	*	*	*
4-б	7,0	2,43	2,16	11,10	—	31,90	14,00	—	3,52	Вода прошла	—	—	—
4-б	6,5	2,45	2,12	12,70	—	27,80	11,80	—	3,37	*	—	—	—

Сравнивая рецепты, подобранные лабораторным методом (№ 1, 2, 1-а, 1-б и 2-б), с рецептами, подобранными по кривым Циата (3, 4, 3-а, 4-а, 3-б и 4-б), можно сделать следующие выводы:

1. Мелкозернистые асфальтовые смеси, подобранные по кривым Циата (рецепты № 3, 3-а и 3-б) с различными заполнителями, получились более высокого качества, чем аналогичные смеси, подобранные по лабораторному методу (рецепты №№ 1, 1-а и 1-б).

2. Среднезернистые асфальтобетонные смеси, подобранные лабораторным методом с различными заполнителями (рецепты № 2 и 2-б), получились более высокие по качеству, чем аналогичные смеси, подобранные по кривым Циата (рецепты № 4 и 4-б). Исключением из этого является рецепт № 4-а, который по качеству получился более высоким, чем рецепт № 2-а, подобранный лабораторным методом.

3. Большинство асфальтобетонных смесей, подобранных по кривым Циата, имеют меньшее оптимальное количество битума, чем аналогичные асфальтобетонные смеси, подобранные по лабораторному методу (табл. 9), за исключением рецептов (№ 1-а, 3-а и 2-б, 4-б).

Обращает внимание большая остаточная пористость асфальтобетонных смесей, подобранных по кривым Циата по сравнению с аналогичными смесями, подобранных по лабораторному методу, что объясняется, по-видимому, следующими причинами: а) меньшим количеством битума; б) неоднородностью асфальтовой смеси, которая дает резкие колебания объемных весов образцов, что, в свою очередь, влияет на остаточную пористость; в) по-видимому, тем, что остаточная пористость по вышеуказанной формуле получается преувеличенной.

Пористая микро- и наноструктура наиболее качественных образцов асфальтобетона также была подвергнута анализу методом растрового электронного микроскопа (SEM). Анализ пористых структур с использованием SEM коррелирует с результатами, полученными в лабораторных условиях (рис. 7).

Таблица 9

Оптимальное количество битума по разным рецептам

№ рецептов	1	2	3	4	1-а	2-а	3-а	4-а	1-б	2-б	3-б	4-б
Количество битума в %	9,0	6,5	7,5	6,0	7,5	7,0	7,5	6,0	9,0	7,5	8,5	7,5

Примечание: 1. Для рецепта № 1-б выбрано оптимальное количество битума, равное 9,0%, исходя из временного сопротивления сжатию образцов, по водопроницаемости же следовало бы выбрать 9,5%.

2. Для рецепта № 2-б выбрано оптимальное количество битума, равное 7,5%, при котором асфальтобетон имеет наибольшее временное сопротивление сжатию. Водопроницаемость асфальтобетона при этом количестве битума объясняется малой толщиной плиты.

3. Для рецепта № 3-б выбрано оптимальное количество битума, равное 8,5%, так как при этом количестве битума асфальтобетон имеет наибольшее временное сопротивление сжатию. Если же исходить из водопроницаемости, то следовало бы считать оптимальным количество битума 10,0%.

Влияние различных заполнителей на качество асфальтобетона

Из рассмотрения табл. 8 видно, что мелкозернистый асфальтобетон, приготовленный с известняковым заполнителем по рецептам № 1-а и 3-а, имеет более высокое качество, чем мелкозернистые асфальтобетоны, приготовленные с лессом и цементом в качестве заполнителя, т.е. по рецептам № 1-б, 3-б, 1 и 3. Сравнивая же мелкозернистый асфальтобетон, приготовленный с лессом (рецепты № 1 и 3-б) с аналогичным асфальтобетоном, приготовленным с цементом (рецепты № 1 и 3), замечаем, что по временному сопротивлению сжатию первый выше по качеству, чем второй, но по водонепроницаемости он хуже второго.

Рассматривая табл. 8, видим, что среднезернистый асфальтобетон, подобранный по лабораторному методу и приготовленный с лессом по рецепту № 2-б, имеет наибольшее временное сопротивление сжатию, затем идет асфальтобетон, приготовленный с цементом по рецепту № 2, и на последнем месте асфальтобетон, приготовленный с известняковым заполнителем по рецепту № 2-а. Но по водонепроницаемости на первом месте стоит асфальтобетон, приготовленный с известняковым заполнителем (по рецепту № 2-а), затем идет асфальтобетон, приготовленный с цементом по рецепту № 2, и на последнем месте асфальтобетон, приготовленный с лессом по рецепту № 2-б.

Переходя к анализу среднезернистого асфальтобетона, приготовленного по рецептам № 4, 4-а и 4-б, подобранным по кривым Циата с различными заполнителями, замечаем, что по временному сопротивлению сжатию лучшим является асфальтобетон, приготовленный с известняком по рецепту № 4-а, затем идет асфальтобетон, приготовленный с цементом по рецепту № 4, и на последнем месте стоит асфальтобетон, приготовленный с лессом по рецепту № 4-б.

По водонепроницаемости лучшим оказался асфальтобетон, приготовленный с лессом по рецепту № 4-б, что объясняется большим на 1% количеством битума по сравнению с асфальтобетоном, пригото-

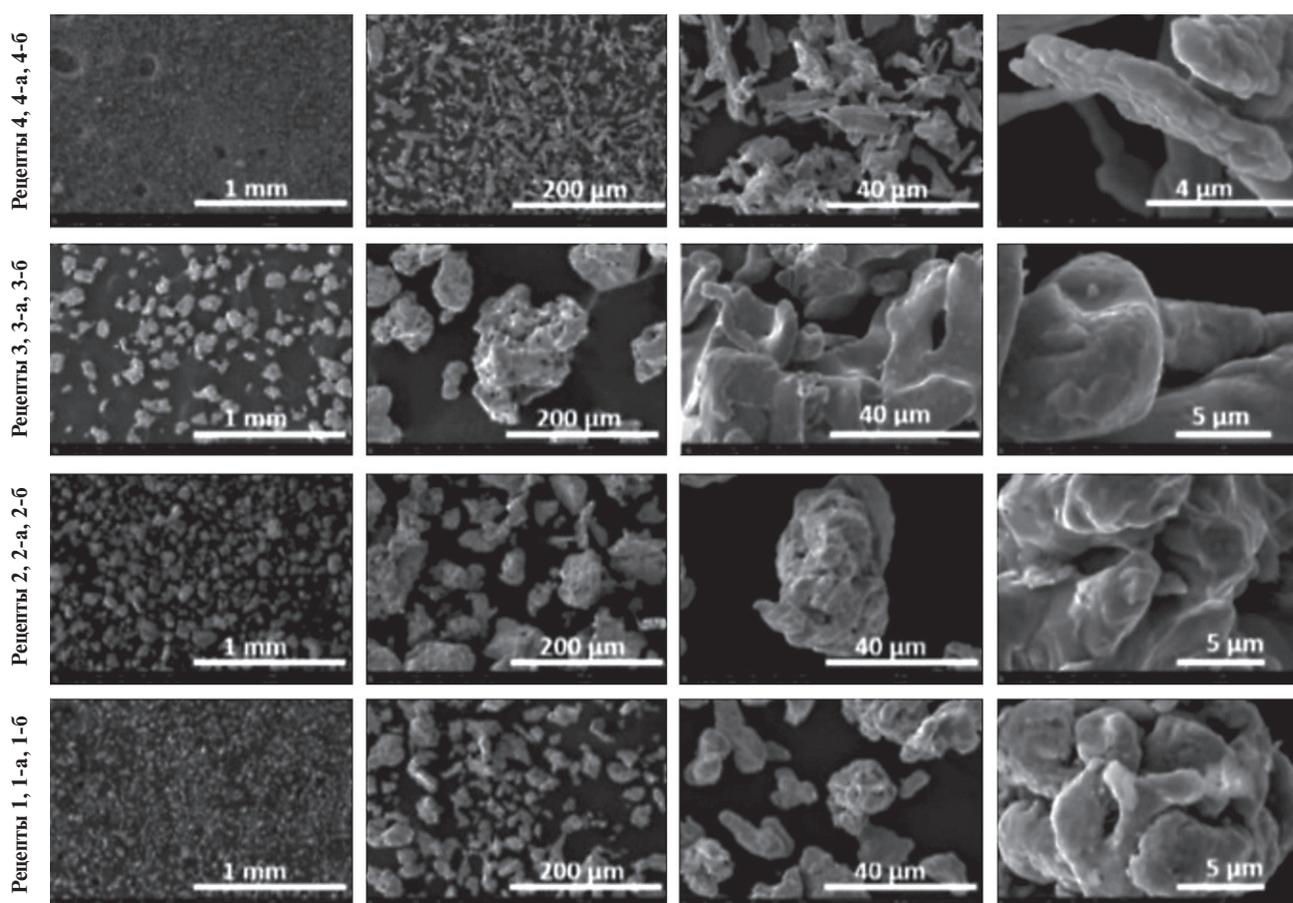


Рис. 7. SEM – изображения структуры образцов асфальтобетона

ленным с известняковым заполнителем по рецепту № 4-а и с цементом по рецепту № 4, и поэтому не может считаться преимуществом лесса.

Учитывая особую важность водонепроницаемости асфальтобетона, предназначенного для облицовки каналов, необходимо из вышеизложенного сделать следующие выводы:

1. Лучшим заполнителем для асфальтобетона является молотый известняк, так как он дает более высокие качества асфальтобетона, чем другие заполнители. Особенно резкое повышение качества известняковый заполнитель дает в мелкозернистом асфальтобетоне.

2. Цемент и лесс как заполнители стоят на втором месте и дают асфальтобетон, по качеству почти аналогичный, но с тенденцией повышения качества асфальтобетона при применении цемента в качестве заполнителя.

Влияние шымкентского битума и его смеси с актауским на качество асфальтобетона

Для приготовления асфальтобетона с шымкентским битумом и его смесью с актауским были вы-

браны рецепты № 1, 3-а и 3-б, т.е. на каждый заполнитель по одному рецепту.

Рецепты типа мелкозернистого асфальтобетона были выбраны из тех соображений, что они, имея большее количество битума по сравнению со среднезернистым асфальтобетоном, покажут более резкое влияние шымкентского битума и его смеси на качество асфальтобетона.

Результаты испытаний асфальтобетона, приготовленного по этим рецептам, показаны в табл. 10.

Из табл. 10 видно, что лучшего качества асфальтобетон получается с актауским битумом и худшего качества с шымкентским битумом, что, по-видимому, объясняется химическими и физическими свойствами шымкентских битумов.

Добавление небольшого количества шымкентского битума (23%) к актаускому (75%) резко понижает качество асфальтобетона, хотя последний по качеству немного лучше, чем асфальтобетон, приготовленный с чистым шымкентским битумом.

Необходимо отметить, что и здесь подтверждается заранее сделанный вывод об известняке как о лучшем заполнителе для мелкозернистого асфальтобетона по сравнению с цементом и лессом.

Влияние температуры на качество асфальтобетона

Как видно из табл. 8 и 10, с повышением температуры сильно понижается временное сопротивление сжатию асфальтобетона. С повышением температуры с 20 до 50°C временное сопротивление сжатию резко понижается, а с повышением до 70°C менее резко (рецепт № 1 с 9,0% битума, рецепт № 3-б с 10% битума из табл. 8).

Приняв временное сопротивление сжатию асфальтобетона при 20°C за 100% и выразив временное сопротивление сжатию при 50°C в % к первому, получим следующие данные для рецептов с оптимальными количествами битума (табл. 11).

Из табл. 11 видно, что асфальтобетон, приготовленный с цементом, дает понижение временного сопротивления сжатию при 50°C на 70–38%: приготовленный с известняком – на 47–33%, и приготовленный с лессом – на 66–20%.

Таким образом, наименьшее колебание временного сопротивления сжатию дает асфальтобетон, приготовленный с известняком, что лишний раз подтверждает вывод об известняке как о лучшем заполнителе из исследуемых в этой работе заполнителей.

В отношении же влияния количества битума на временное сопротивление сжатию асфальтобетона при температуре 50°C выводов сделать нельзя, так как в табл. 8 получены противоречивые данные и этот вопрос требует дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Шымкентский битум по своим свойствам не удовлетворяет техническим требованиям, предъявляемым к битумам, применяемым для асфальтобетона (малая дуктильность и высокая пенетрация). Но на основании этого нельзя сделать вывода о невозможности получить более доброкачественный битум из шымкентских нефтей, поэтому шымкентские битумы подлежат дальнейшему изучению при условии изменения технологического процесса их производства.

2. Шымкентский битум мало пригоден для приготовления асфальтобетона, так как он почти на 50% понижает качество асфальтобетона по сравнению с актауским битумом.

3. Качество шымкентского битума можно повысить добавкой к нему сравнительно большого количества актауского битума, но экономически это

Таблица 10

Результаты испытаний асфальтобетона

№ рецептов	Наименование битума	Количество битума в %	Удельный вес асфальтобетонной смеси	Объемный вес асфальтобетона	Остаточная пористость асфальтобетонной смеси	Водопоглощаемость в %	Время сопротивления сжатию, в кг/см ²		Водопроницаемость				
							При 20°C	При 50°C	Толщина образца	При 0,5 атм. давлении в течение 1,0 часа	При 1,0 атм. давлении в течение 1,0 часа	При 1,5 атм. давлении в течение 1,0 часа	При 2,0 атм. давлении в течение 1,0 часа
1	Актауский	9,0	2,42	2,27	6,20	0,65	34,34	14,40	2,48	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода прошла
2	Шымкентский	9,0	2,42	2,22	8,30	–	17,40	6,10	3,60	*	Вода прошла	–	–
3	Смесь битума	9,0	2,42	2,13	12,00	–	18,80	13,00	3,12	*	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла
3-а	Актауский	7,5	2,41	2,23	7,50	0,65	57,30	36,70	3,29	*	*	*	*
3-б	Шымкентский	7,5	2,41	2,19	9,10	–	29,60	11,40	3,08	*	*	*	*
3-а	Смесь битума	7,5	2,41	2,18	9,50	–	34,00	20,60	3,16	Вода прошла	–	–	–
3-б	Актауский	10,0	2,34	2,17	7,30	1,15	33,50	20,60	2,80	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла	Вода не прошла
3-б	Шымкентский	10,0	2,34	2,21	5,60	–	19,90	13,00	3,22	*	*	*	–
3-б	Смесь битума	10,0	2,34	2,20	6,00	–	25,00	20,10	3,43	*	*	–	–

Таблица 11

Рецепты с оптимальными количествами битума

№ рецептов	Наименование заполнителя	% битума	Временное сопротивление сжатию			
			При температуре 20°С		При температуре 50°С	
			кг/см ²	%	кг/см ²	%
1	Цемент	9,0	34,34	100	14,40	42
2-а	Известь	7,5	54,90	100	36,80	67
1-б	Лесс	9,0	36,40	100	29,10	80
2	Цемент	6,5	37,99	100	23,45	62
2-а	Известь	7,0	35,90	100	23,40	65
2-б	Лесс	7,5	39,60	100	13,50	34
3	Цемент	7,5	38,50	100	20,61	54
3-а	Известь	7,5	57,30	100	36,70	64
3-б	Лесс	8,5	39,50	100	23,00	58
4	Цемент	6,0	34,11	100	10,21	30
4-а	Известь	6,0	39,82	100	21,00	53
4-б	Лесс	7,5	31,00	100	20,40	66

невыгодно, так как от этого незначительно повышается качество асфальтобетона.

4. Лучшим заполнителем для асфальтобетона является молотый известняк, так как он дает более высокое качество асфальтобетону, чем другие заполнители. Особенно резкое повышение качества асфальтобетона молотый известняк дает в мелкозернистом асфальтобетоне.

5. Цемент и лесс как заполнители стоят на втором месте и дают асфальтобетон, по качеству почти аналогичный, но с тенденцией повышения качества асфальтобетона при применении цемента в качестве заполнителя.

6. Повышение температуры с 20 до 50°С резко понижает временное сопротивление сжатию асфальтобетона и менее резко с повышением от 50 до 70°С. Наименьшее колебание временного сопротивления сжатию с повышением температуры дает асфальтобетон, приготовленный с молотым известняком в качестве заполнителя.

7. В отношении методов подбора необходимо сделать следующий вывод: подбор мелкозернистого асфальтобетона лучше производить по кривым Циата, а подбор среднезернистого асфальтобетона – по лабораторному методу, так как при этом получается более доброкачественный асфальтобетон.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Petrushevich V. V. Study of the Influence of the Composition of Hydrophobic Preventive “Protect-01” on the Physical and Mechanical Properties of Asphalt Concrete Pavement Materials. *Science & Technique*. 2023; 22(4): 294–300. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-4-294-300>

2. Moldamuratov Z.N., Igliev A.A., Sennikov M.N., Madaliyeva E.B., Turalina M.T. Irrigation channel lining using shotcrete with additives. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(3): 227–240. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-3-227-240>

3. Garbuz A. Yu., & Talalaeva V. F. Repair technology of canal concrete lining with bitumen-polymer mastic. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2021; (3). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2021-11-3-299-313>

4. Fahmi A., Yarishah J.D., & Mansoub F.H. Examining fundamental problems of APC canal concrete lining and strategies to solve them. *Indian Journal of Science and Technology*. 2015; 8(23). <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i23/74066>

5. Moldamuratov Z.N., Ussenkulov Z.A., Yeskermessov Z.E., Shanshabayev N.A., Bapanova Zh.Zh., Nogaibekova M.T., Joldassov, S.K. Experimental study of the effect of surfactants and water-cement ratio on abrasion resistance of hydraulic concretes. *Rasayan Journal of Chemistry*. 2023; 16(3): 1116–1126. <http://doi.org/10.31788/RJC.2023.1638391>
6. Morgado F., Lopes G. J., de Brito J., & Feiteira J. Portuguese Irrigation Canals: Lining Solutions, Anomalies, and Rehabilitation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2012; 26(4): 507–515. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000230](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000230)
7. Ahmadi H., Rahimi H., & Abdollahi J. Optimizing the location of contraction-expansion joints in concrete canal lining. *Irrigation and Drainage*. 2009; 58(1): 116–125. <https://doi.org/10.1002/ird.401>
8. Moldamuratov Z.N., Imambayeva R.S., Imambaev N.S., Iglikov A.A., Tattibayev S.Zh. Polymer concrete production technology with improved characteristics based on furfural for use in hydraulic engineering construction. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(4): 306–318. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-4-306-318>
9. Salmasi F., Khatibi R., & Nourani B. Investigating reduction of uplift forces by longitudinal drains with underlined canals. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 2018; 24(1): 81–91. <https://doi.org/10.1080/09715010.2017.1350605>
10. Akkuzu E. Usefulness of Empirical Equations in Assessing Canal Losses through Seepage in Concrete-Lined Canal. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2012; 138(5): 455–460. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000414](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000414)
11. Swamee P. K., Mishra G. C., & Chahar B. R. Design of Minimum Seepage Loss Canal Sections. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2000; 126(1): 28–32. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2000\)126:1\(28\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2000)126:1(28))
12. Jakiyayev B.D., Moldamuratov Z.N., Bayaliyeva G.M., Ussenbayev B.U., Yeskermessov Z.E. Study of local erosion and development of effective structures of transverse bank protection structures. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2021; 9(3): 457–473. <http://dx.doi.org/10.21533/pen.v9i3.2191>
13. Wachyan E., & Rushton K. R. Water losses from irrigation canals. *Journal of Hydrology*. 1987; 92(3–4): 275–288. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(87\)90018-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(87)90018-7)
14. Albayati A. H. A review of rutting in asphalt concrete pavement. *Open Engineering. De Gruyter Open Ltd*. 2023. <https://doi.org/10.1515/eng-2022-0463>
15. Joublat R., Al Basiouni Al Masri Z., Al Khateeb G., Elkordi A., El Tallis A. R., & Absi J. State-of-the-Art Review on Permanent Deformation Characterization of Asphalt Concrete Pavements. *Sustainability (Switzerland)*. MDPI. 2023. <https://doi.org/10.3390/su15021166>
16. Kabdushev A.A., Agzamov F.A., Manapbayev B.Zh., Moldamuratov Z.N. Microstructural analysis of strain-resistant cement designed for well construction. *Nanotechnologies in Construction*. 2023; 15(6): 564–573. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-6-564-573>
17. Li Y., & Yang N. An Improved Crack Identification Method for Asphalt Concrete Pavement. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023; 13(15). <https://doi.org/10.3390/app13158696>
18. Gorbachev A. A., Vorobyov A. A., Pokrovskaya O. D., & Kukushkina Ya. V. Analysis of the physical qualities of asphalt concrete pavement samples and determination of their own resonant characteristics. *International Journal of Advanced Studies*. 2023; 13(1): 212–228. <https://doi.org/10.12731/2227-930x-2023-13-1-212-228>
19. Suleimenov Z.T., Sagyndykov A.A., Moldamuratov Z.N., Bayaliyeva G.M., Alimbayeva Z.B. High-strength wall ceramics based on phosphorus slag and bentonite clay. *Nanotechnologies in Construction*. 2022; 14(1): 11–17. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-11-17>
20. Karthikeyan K., Kothandaraman S., & Sarang G. Perspectives on the utilization of reclaimed asphalt pavement in concrete pavement construction: A critical review. *Case Studies in Construction Materials*. 2023; 19. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02242>
21. Evangelista L., & de Brito J. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*. 2007; 29(5): 397–401. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>
22. Lukashovich V. N., & Lukashovich O. D. Modification of conditions and properties of dispersed reinforcing fiber during construction and operation of asphalt concrete pavements. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25(3): 185–196. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-3-185-196>
23. Manapbayev B., Alimbayev B., Amanbayev E., Kabdushev A., Moldamuratov Z. Study of internal corrosion on the turning angles in steel pipes. *E3S Web of Conferences*. 2021; 225: 01004. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202122501004>
24. Zhuang S., Wang J., Li M., Yang C., Chen J., Zhang X., Ren J. Rutting and Fatigue Resistance of High-Modulus Asphalt Mixture Considering the Combined Effects of Moisture Content and Temperature. *Buildings*. 2023; 13(7). <https://doi.org/10.3390/buildings13071608>

25. Lv S., Liu C., Chen D., Zheng J., You Z., & You L. Normalization of fatigue characteristics for asphalt mixtures under different stress states. *Construction and Building Materials*. 2018; 177: 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.109>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Молдамуратов Жангазы Нуржанович – PhD, профессор-исследователь факультета общего строительства, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан, доцент высшей школы передовых цифровых технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, zhangam_n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4573-1179>

Исмаилова Айганым Бахтияровна – PhD, ассоциированный профессор факультета строительных технологий, инфраструктуры и менеджмента, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан, i-smile@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4234-0615>

Тухтамишева Айнура Зокировна – PhD, ассоциированный профессор факультета строительных технологий, инфраструктуры и менеджмента, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан, aynurjan_kz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8945-3783>

Ескермесов Жандос Елеукенович – PhD, доцент кафедры «Строительство и производство материалов», Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан, jake_19_84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6464-2748>

Рахимов Мурат Аманжолович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии», Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, Караганда, Казахстан, rahimov67@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8523-5292>

ВКЛАД АВТОРОВ

Молдамуратов Ж.Н. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; научное редактирование текста; итоговые выводы.

Исмаилова А.Б. – написание статьи, научное редактирование текста, выявление зависимостей.

Тухтамишева А.З. – подготовка образцов, написание статьи, обработка экспериментальных данных; накопление материала.

Ескермесов Ж.Е. – постановка расчетных задач, анализ результатов исследований.

Рахимов М.А. – проведение литературного обзора; проведение экспериментальной части исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 11.03.2024; одобрена после рецензирования 08.04.2024; принята к публикации 12.04.2024.