

Yerbol Tileuberdi – PhD, Associate Professor, Leading Researcher at Institute of Combustion Problems; e-mail: er.tileuberdi@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9733-5015>.

Asiya Nurlybaevna Boranbayeva – PhD, senior lecturer at the Department of Natural Sciences of Yessenov University; e-mail: assiya.boranbayeva@yu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0592-3782>.

Bazargul Serkebaevna Serkebaeva – Head of the Laboratory of Physical and Chemical Research of Petroleum of the KazNIPImunaigas Branch of KMG Engineering; e-mail: Serkebayeva_B@kaznipi.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0288-7210>.

Поступила в редакцию 26.06.2024

Поступила после доработки 21.08.2024

Принята к публикации 22.08.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-44](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-44)



MPHTI: 67.15.49

И. Байдуллаев¹, Г.С. Айткалиева¹, М.А. Елубай^{2*}, Н.С. Демеубаева¹, А.А. Амитова¹

¹Сатпаев университет,

050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаев 22

²Торайгыров университет,

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул.Ломова 64

*e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz

РЕГЕНЕРИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ АСФАЛЬТОВЫХ ПОКРЫТИЙ ОМОЛАЖИВАЮЩИМИ СРЕДСТВАМИ

Аннотация: Переработка регенерированного асфальтового покрытия выполняет важную функцию для достижения устойчивой и экологически безопасной дорожно-строительной отрасли. На основе регенерированного асфальтового покрытия (РАП) можно производить новый асфальт с небольшим количеством первичного сырья. Это позволит сократить количество требуемой энергии, необходимой для добычи и переработки первичных материалов для асфальтовых покрытий, вместе с тем и количество отходов, образующихся при реконструкции дорог. Несмотря на эти преимущества, дорожные агентства неохотно используют высокие доли материалов РАП в новом производстве асфальта, поскольку присутствие большого объема окисленного битума из РАП в новых смесях делает их менее обрабатываемыми и менее уплотняемыми, чем смеси только с первичным битумом. Также следует помнить о высокой жесткости смесей РАП, которая затруднит их использование. Для преодоления этой проблемы можно использовать различные методы, одним из наиболее эффективных является добавление омолаживающих средств. В данной статье описываются исследования в области производства асфальтобетонной смеси из переработанного материала вторичного асфальтового покрытия (РАП). Данная работа направлена на изучение эффективности различных реювенаторов для восстановления основных эксплуатационных характеристик асфальтовых покрытий. Рассмотрены наиболее эффективные реювенаторы и их классификация. Представлен предположительный механизм омоложения асфальтовых покрытий при введении реювенаторов. Описаны методы введения различных реювенаторов в РАП.

Ключевые слова: Реювенатор, регенерированное асфальтовое покрытие, дорожное строительство, отходы, регенерация.

Введение

Проблема использования вторичного сырья в дорожном строительстве является одной из значимых проблем современного дорожного строительства. По мере старения автомобильных дорог ежегодно образуется огромное количество отходов асфальтобетонных материалов. В этой связи, все более популярным и актуальным становится использование регенерированного асфальтового покрытия (РАП), что обусловлено эффектом в сокращении отходов, экономических затрат на дорогостоящий природный ресурс, выбросов углекислого газа, и достижением устойчивого развития экономики, общества и окружающей среды.

Однако связующее РАП является устаревшим и имеет ряд недостатков, в том числе плохую удобоукладываемость, низкую утомляемость получаемых смесей и низкое

сопротивление разрушению. Данные проблемы можно решить с помощью омолаживающих средств – реювенаторов.

Целью данной работы является сравнительный анализ наиболее эффективных омолаживающих средств (реювенаторов) для повышения устойчивости РАП при производстве новых асфальтовых смесей, механизм их действия, а также методы их введения в РАП.

Механизм омоложения регенерированных асфальтовых покрытий

Для исследования возможности применения материалов в качестве эффективных реювенаторов необходимо знание механизма их действия.

Так, в работе [1] ученые считают, что эффективный реювенатор должен балансировать фракции асфальтенов и мальтенов путем введения легких компонентов (ароматических, смолистых), восстанавливая коллоидную структуру.

Одними из первых процесс омоложения наблюдали ученые [2] и описали данный процесс диффузии термином «модификатор». В работе [3] диффузию омолаживателя делят на следующие этапы (рис. 1):

1) внешний слой связующего РАП контактирует с омолаживающим средством низкой вязкости;

2) внешний слой смягчается и наблюдается его подвижность, что позволяет реювенатору проникать во внутренний слой;

3) происходит диффузия реювенатора, что способствует размягчению внутреннего состаренного асфальтового вяжущего и уменьшению количества омолаживающего средства вокруг внешнего слоя. Данный показатель приводит к увеличению вязкости РАП;

4) завершение диффузии, которую можно рассмотреть, как равновесие, обусловленное постоянной вязкостью всей пленки РАП.

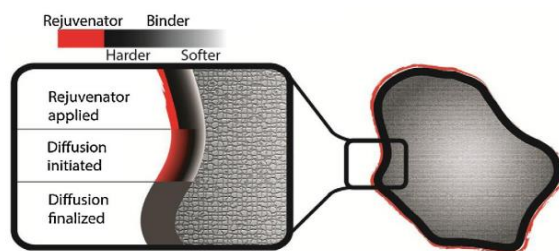


Рисунок 1 – Процесс диффундирования омолаживающего средства в состаренную связующую пленку [3]

Омоложение РАП не обращает вспять процесс окислительного старения, вторичный РАП характеризуется иным химическим составом, однако может работать наравне или в некоторых случаях даже лучше, чем первичное асфальтовое вяжущее. Важнейшим этапом механизма омоложения является диффузия, которой требуется достаточно времени для достижения равновесного состояния, при котором состаренный вяжущий полностью активирован и мобилизован, и готов к смешиванию с омолаживающими и первичными асфальтовыми вяжущими.

Реювенаторы и их классификация

По мнению авторов работы [4] хороший омолаживающий агент должен удовлетворять как краткосрочным, так и долгосрочным требованиям, таким как: быстрое диффундирование в связующее РАП, способствуя его активации и улучшая обрабатываемость РАП; восстановление реологических свойств РАП с целью предотвращения процессов усталости и растрескивания при пониженных температурах; поддержание эффективности омоложения в течение длительного периода времени.

Омолаживающие средства обычно бывают на нефтяной или органической основе, а также могут иметь различную природу, что подтверждается их полярностью, молекулярной структурой и функциями [5].

Традиционными омолаживающими средствами являются базовые масла нефтепереработки, такие как парафиновые масла, ароматические экстракты и нафтеновые масла, которые изначально использовались для ухода за дорожным покрытием и были разработаны как продукты на основе нефти для рециклинга асфальта [6-9].

Ряд работ посвящен применению в качестве реювенатора отработанного моторного масла (ОММ) [10]. В [11] отмечается увеличение содержания ароматических веществ и пластичности состаренного асфальта после введения добавок ОММ, однако упоминается необходимость расчета оптимальной концентрации ОММ, так как его избыток приводил к ухудшению характеристик дорожных покрытий.

Li и др. [12] также положительно оценили влияние различных количеств добавок ОММ на традиционные физические характеристики и восстановлению легких элементов в состаренном асфальте. Ученые отметили, что добавление отработанного масла не приводит к дальнейшим химическим взаимодействиям, оптимальной дозой ОММ является 1-4%, повышение которой может привести к нежелательному снижению вязкости асфальта.

Ученые [13] исследовали эффективность ароматических экстрактов и таллового масла для регенерации старого асфальта и отметили снижение жесткости асфальта и восстановление первоначальных качеств, однако эффективность омолаживающих средств со временем снизилась.

В последнее время для борьбы с нефтяными вяжущими из-за их высокой стоимости и воздействия на окружающую среду используются различные другие продукты, такие как разработанные вяжущие и вяжущие на органической основе, для включения, состаренного вяжущего в РАП с двойными преимуществами – увеличением количества РАП в асфальтобетонной смеси и превосходными характеристиками асфальта горячего смешивания [14].

Отработанное растительное масло (ОРМ) представляет собой экологически чистый, разлагаемый и летучий материал, состоящий из производного масла жирных кислот [15]. В работе [16] исследовали в качестве реювенатора бионефть, полученную путем полимеризации ОРМ. Авторы отмечают повышение устойчивости к низкотемпературному растрескиванию, но значительно снижается устойчивость к колееобразованию [16, 17]. Различия в химической конфигурации битума на основе бионефти и топливного битума могут приводить к различным физическим и химическим характеристикам [18].

Был проведен значительный объем исследований для изучения потенциала различных продуктов в качестве омолаживающих средств, определения оптимальных доз этих продуктов и оценки эффективности омоложения с помощью различных испытаний вяжущих и смесей, химического анализа и методов определения микрохарактеристик [4].

Национальный центр асфальтовых технологий и Министерство транспорта штата Небраска в своем отчете приводят классификацию реювенаторов [19], которая представлена в таблице 1. Согласно данной таблицы 1 омолаживающие средства разделены на пять категорий в соответствии с их компонентами, применением и ресурсами.

Таблица 1 – Классификация реювенаторов

Категория	Представленные продукты	Описание
Парафиновые масла	Отработанные моторные масла (WEO)	Отработанные моторные масла (WEO)
Экстракты ароматических веществ	Hydrolene® Reclamite® Cyclogen L®	Продукты переработки сырой нефти с полярными ароматическими компонентами
Нафтеновые масла	SonneWarmix RJ® Ergon HyPrene®	Углеводороды для модификации асфальта
Триглицериды и жирные кислоты	Отработанное растительное масло Отработанный растительный жир Коричневый жир	Получают в основном из растительных масел
Целевые продукты на биооснове	Sylvaroad™ RP1000 Hydrogreen® Cargill Anova®	Получают из растительных масел или таллового масла, являющегося побочным продуктом бумажной промышленности

Бельгийский центр дорожных исследований (БЦДИ) классифицировал реювенаторы по шести группам (табл. 2), основанных на природе и происхождении примеров коммерчески доступных продуктов [20].

Таблица 2– Разделение омолаживающих средств на шесть групп

Происхождение	Первоначально изготовленный или полученный	Переработка отходов
Из нефтехимической промышленности/нефти	ароматические экстракты и нафтеновые масла, полученные из сырой нефти	переработка машинных масел
Растительный/биологический	растительные масла из агропромышленного комплекса инженерные масла на биооснове (например, производные таллового масла))	переработка пищевых масел (масел и жиров растительного или животного происхождения)
Остаточная категория	различные специально разработанные добавки (например, биомасса, биогенные смеси, флюсовое масло)	

Известны методы классификации омолаживающих средств [21] по трем категориям в зависимости от механизма их омолаживания, это - смягчители, репленизаторы и эмульгаторы.

Методы введения омолаживающих средств

По литературным данным, существует два основных метода включения омолаживателя:

1) смешивание реювенатора с первичным асфальтовым вяжущим и получение модифицированного вяжущего,

2) добавление смеси омолаживающего средства и РАП к другим сырьевым материалам (например, первичным асфальтовым вяжущим и заполнителями).

Первый метод широко использовался для биопродуктов для получения биомодифицированного вяжущего, выполняющего функцию «более мягкого вяжущего» [22, 23].

Ученые в работе [24] рекомендовали распылять омолаживающее средство на предварительно нагретое РАП, а затем смешивать с заполнителями и первичным асфальтовым вяжущим, что, как ожидалось, должно было привести к лучшему омолаживающему эффекту за счет обеспечения прямого контакта между омолаживающим средством и РАП, что впоследствии увеличивало диффузию. Однако добавление омолаживающих средств непосредственно в РАП может не показать значительных улучшений, если омолаживающие средства добавляются в РАП только при комнатной температуре и непосредственно перед смешиванием, поскольку диффузия и активация связующего РАП вряд ли произойдет в течение ограниченного времени и при температуре окружающей среды [25].

Ученые [26] сравнили три метода включения омолаживающей добавки: распыление на РАП с периодом отдыха 2 часа, распыление на РАП с периодом отдыха 24 часа и предварительное смешивание с первичным вяжущим, но ни один из этих методов не показал статистической разницы между собой или значительного влияния на результаты испытаний смеси и вяжущего. Кроме того, увеличение времени и температуры смешивания повышает скорость диффузии омолаживающих веществ в старое асфальтовое вяжущее, что, в свою очередь, делает вяжущее из РАП более текучим для смешивания с первичным асфальтовым вяжущим и покрытия заполнителей [27].

Заключение

Использование РАП дает многочисленные преимущества, включая снижение энергопотребления, сохранение природных ресурсов и снижение образования отходов. Введение РАП в строительство дорожных покрытий соответствует принципам устойчивого развития и поддерживает концепцию экономики замкнутого цикла. Несмотря на многочисленные исследования, применение реювенаторов для восстановления свойств РАП должно базироваться на местном сырье, что безусловно будет технически целесообразнее и экономически рентабельнее. Поэтому изучение потенциала отечественных отходов нефтехимической отрасли в качестве реювенаторов является интересной и важной темой для дальнейших исследований в области дорожного строительства.

Список литературы

1. Tabatabaee H.A. Analytical investigation of the impact of a novel bio-based recycling agent on the colloidal stability of aged bitumen, *Road Mater* / H.A. Tabatabaee, T.L. Kurth // *Pavement Des.* – 2017. – Vol.18. – P. 131-140. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1304257>.
2. Samuel H. Carpenter J.R.W. Modifier influence in the characterization of hot-mix recycled material / J.R.W. Samuel H. Carpenter // *Transp. Res. Rec.* – 1980. – P. 5-22.
3. Zaumanis M. 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis / M. Zaumanis, R.B. Mallick, R. Frank // *Resour. Conserv. Recycl.* – 2014. – Vol. 92. – P. 230-245. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2014.07.007>.
4. Hui Liao. Optimizing the Performance of Asphalt Mixes with High Reclaimed Asphalt Pavement Content Using Rejuvenators. – 2022. – 250 p.
5. Effects of laboratory aging on properties of biorejuvenated asphalt binders / A. Borghi et al // *J. Mater. Civ. Eng.* – 2017. – Vol. 29. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001995](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001995).
6. Zaumanis M. Evaluation of rejuvenator's effectiveness with conventional mix testing for 100% reclaimed Asphalt pavement mixtures / M. Zaumanis, R. Mallick, R. Frank // *Transp. Res. Rec.* – 2013. – P. 17-25. DOI: <https://doi.org/10.3141/2370-03>.
7. Influence of six rejuvenators on the performance properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures / M. Zaumanis et al // *Constr. Build. Mater.* – 2014. – Vol. 71. – P. 538-550. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.073>.
8. Mogawer W.S. Ageing and rejuvenators: evaluating their impact on high RAP mixtures fatigue cracking characteristics using advanced mechanistic models and testing methods / W.S. Mogawer, A. Austerman, R. Roque // *Road Mater. Pavement Des.* – 2015. – Vol.16. – P. 1-28. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1076996>.
9. Baqersad M. Rheological and chemical characteristics of asphalt binders recycled using different recycling agents / M. Baqersad, H. Ali // *Constr. Build. Mater.* – 2019. – Vol. 228. – P. 116-738. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116738>.
10. A review on the usage of waste engine oil with aged asphalt as a rejuvenating agent / Z.H. Al-Saffar et al // *Mater. Today Proc.* – 2021. – № 42. – P. 2374-2380.
11. Effect of waste engine oil on asphalt reclaimed properties / F. Wang et al // *AIP Conf. Proc.* – 2018. – № 1973.
12. Study on waste engine oil and waste cooking oil on performance improvement of aged asphalt and application in reclaimed asphalt mixture / H. Li et al // *Constr. Build. Mater.* – 2021. – № 276. – P. 122-138.
13. Characterising the long-term rejuvenating effectiveness of recycling agents on asphalt blends and mixtures with high RAP and RAS contents / F. Yin et al // *Epps Martin, A. Road Mater. Pavement Des.* – 2017. – № 18. – P. 273-292.
14. Mazzoni G. Influence of rejuvenators on bitumen ageing in hot recycled asphalt mixtures / G. Mazzoni, E. Bocci, F. Canestrari // *J. Traffic Transp. Eng.* – 2018. – Vol. 5. – P. 157-168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.01.001>.
15. Physical-chemical properties of aged asphalt rejuvenated by bio-oil derived from biodiesel residue / G. Minghui et al // *Constr. Build. Mater.* – 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.025>.
16. Properties of asphalt binder modified by bio-oil derived from waste cooking oil / S. Zhaojie et al // *Constr. Build. Mater.* – 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.173>.
17. Differential effects of ultraviolet radiation and oxidative aging on bio-modified binders / S. Hosseinneshad et al // *Fuel* 251. – 2019. – P. 45-56. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000713](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000713).
18. High temperature properties of rejuvenating recovered binder with rejuvenator, waste cooking and cotton seed oils / M. Chen et al // *Construction and Building Materials.* – 2014. – № 59. – C. 10-16.
19. Sias J.E. Use of Recycling Agents in Asphalt Concrete Mixtures, 177 Washington / J.E. Sias, E.V. Dave, R. Zhang // *DC: The National Academies Press.* – 2022. DOI: <https://doi.org/10.17226/26601>.
20. Categorisation and analysis of rejuvenators for asphalt recycling / De Bock L. et al // *Dossier* 21. – 2020.

21. Evaluation and classification of recycling agents for asphalt binders / A. Bajaj et al // Constr. Build. Mater. – 2020. – Vol. 260. – P. 119-864. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119864>.
22. Performance characteristics of high reclaimed asphalt pavement containing bio-modifier / W.S. Mogawer et al // Road Mater. Pavement Des. – 2016. – Vol. 17. – P. 753-767. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1096820>.
23. Elkashef M. Investigation of fatigue and thermal cracking behavior 178 of rejuvenated reclaimed asphalt pavement binders and mixtures / M. Elkashef, R.C. Williams, E. Cochran // Int. J. Fatigue. – 2018. – Vol. 108. – P. 90-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.11.013>.
24. Application of a high percentage of reclaimed asphalt pavement in an asphalt mixture: blending process and performance investigation / B. Yu et al // Road Mater. Pavement Des. – 2017. – Vol. 18. – P. 753-765. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1182941>.
25. Performance of asphalt mixtures with high recycled materials content and recycling agents / F. Kaseer et al // Int. J. Pavement Eng. – 2018. – P. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1511990>.
26. Rathore M. Impact of laboratory mixing procedure on the properties of reclaimed asphalt pavement mixtures / M. Rathore, M. Zauamanis // Constr. Build. Mater. – 2020. – Vol. 264. – P. 120-709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120709>.
27. Kaseer F. Use of recycling agents in asphalt mixtures with high-recycled materials contents in the United States: A literature review / F. Kaseer, A. Epps, E. Arámbula-mercado // Constr. Build. Mater. – 2019. – Vol. 211. – P. 974-987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.286>.

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP22786142 Использование нефтесодержащих отходов в качестве потенциального реювенатора в регенерированном асфальтовом покрытии)».

И. Байдуллаев¹, Г.С. Айткалиева¹, М.А. Елубай^{2*}, Н.С. Демеубаева¹, А.А. Амитова¹

¹Сәтпаев университеті,

050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сатпаев к. 22

²Торайғыров университеті,

140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломова к. 64

*e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz

ЕКІНШІЛІК АСФАЛЬТТЫ ЖАБЫНДЫЛАРЫН РЕГЕНЕРАЦИЯЛАУ ҮШІН ЖАСАРТҚЫШ ҚОСПАЛАР

Қолданылған асфальт жабындысын қайта өңдеу тұрақты және экологиялық таза жол құрылысы индустриясына қол жеткізуде маңызды функцияны атқарады. Регенерацияланған асфальтбетонды жабынды (РАЖ) қайта пайдалану арқылы тың шикізаттың аз мөлшерімен жаңа асфальт шығаруға болады. Бұл асфальтбетонды жабындар үшін тың материалдарды өндіру және өңдеу үшін қажетті энергия көлемін, сондай-ақ жолды қайта құру кезінде пайда болатын қалдықтардың мөлшерін азайтады. Осы артықшылықтарға қарамастан, автомобиль жолдары мекемелері жаңа асфальт өндірісінде РАЖ материалдарының жоғары үлесін пайдаланғысы келмейді, өйткені жаңа қоспалардағы тотыққан РАЖ битумының үлкен көлемінің болуы оларды тек таза битуммен қоспаларға қарағанда жұмыс қабілеттілігін және нығыздағыштығын азайтады. Сондай-ақ, РАЖ қоспаларының жоғары қаттылығы оларды пайдалануды қиындатады. Бұл мәселені шешу үшін түрлі әдістерді қолдануға болады, ең тиімдісі - жасартқыш агенттерді қосу. Бұл мақалада қайта өңделген асфальт жабынының (РАЖ) материалынан асфальт қоспаларын өндіру бойынша зерттеулер сипатталған. Бұл жұмыс асфальт жабындарының негізгі өнімділік сипаттамаларын қалпына келтіру үшін әртүрлі жасартқыштардың тиімділігін зерттеуге бағытталған. Ең тиімді жасартқыштар және олардың жіктелуі қарастырылады. Жасартқыштарды енгізу арқылы асфальтбетонды жасартудың болжамалы механизмі ұсынылған. РАЖ-ға әртүрлі жасартқыштарды енгізу әдістері сипатталған.

Түйін сөздер: Жасартқыш, регенерацияланған асфальт жабын, жол құрылысы, қалдықтар, регенерация.

I. Baidullayev¹, G. Aitkaliyeva¹, M. Yelubay^{2*}, N. Demeubayeva¹, A. Amitova¹

¹Satbayev University,

050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Satpayev street 22

²Toraighyrov University,

140008, Republic of Kazakhstan, Pavlodar city, Lomova street, 64

*e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz

REGENERATION OF SECONDARY ASPHALT PAVEMENTS WITH REJUVENATING AGENTS

Recycling reclaimed asphalt pavement fulfills an important function in achieving a sustainable and environmentally friendly road construction industry. Using reclaimed asphalt pavement (RAP) it is possible to produce new asphalt with a small amount of virgin raw materials. This will reduce the amount of energy required to extract and process virgin asphalt pavement materials, along with the amount of waste generated during road reconstruction. Despite these advantages, road agencies have been reluctant to use high proportions of RAP materials in new asphalt production because the presence of large amounts of oxidized bitumen from RAP in new mixtures makes them less workable and less compactable than mixtures with virgin bitumen alone. One should also be aware of the high stiffness of RAP mixtures, which will make them difficult to use. Various methods can be used to overcome this problem, one of the most effective is the addition of rejuvenating agents. This article describes research into the production of asphalt mixtures from recycled asphalt pavement (RAP) material. This work aims to study the effectiveness of various rejuvenators for restoring the basic performance characteristics of asphalt pavements. The most effective rejuvenators and their classification are reviewed. The hypothesized mechanism of rejuvenation of asphalt pavements by the introduction of rejuvenators is presented. The methods of introducing various rejuvenators into RAP are described..

Key words: Rejuvenator, reclaimed asphalt pavement, road construction, waste, regeneration.

Авторлар туралы мәліметтер

Ильяс Байдуллаев – Кіші ғылыми қызметкер, Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті; e-mail: ilyas.baidullayev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1592-6467>.

Гульзат Айтқалиева – PhD, қауымдастырылған профессор, Геология, мұнай – газ ісі институты, Сәтбаев университеті; e-mail: g.aitkaliyeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>.

Мәдениет Елубай* – химия ғылымдарының кандидаты, Жаратылыстану факультетінің деканы, профессор, Торайғыров университеті; e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>.

Нурикамал Демеубаева – техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті; e-mail: n.demeubayeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7944-6341>.

Айгуль Амитова – PhD, «Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасының меңгерушісі, Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті; e-mail: a.amitova@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7721-6473>.

Сведения об авторах

Ильяс Байдуллаев – Младший научный сотрудник, Институт геологии и нефтегазового дела, Сатпаев университет; e-mail: ilyas.baidullayev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1592-6467>.

Гульзат Айтқалиева – PhD, ассоциированный профессор, Институт геологии и нефтегазового дела, Сатпаев университет, Алматы; e-mail: g.aitkaliyeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>.

Мәдениет Елубай* – кандидат химических наук, Декан факультета естественных наук, профессор, Торайғыров Университет; e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>.

Нурикамал Демеубаева – магистр технических наук, научный сотрудник, Институт геологии и нефтегазового дела, Сатпаев университет; e-mail: n.demeubayeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7944-6341>.

Айгуль Амитова – PhD, заведующий кафедрой Химической и биохимической инженерии, Институт геологии и нефтегазового дела, Сатпаев университет; e-mail: a.amitova@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7721-6473>.

Information about the authors

Ilyas Baidullayev – Junior researcher, Institute of geology, oil and gas, Satbayev University; e-mail: ilyas.baidullayev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1592>.

Gulzat Aitkaliyeva – PhD (Petrochemistry), Associate Professor, Institute of geology, oil and gas, Satbayev University; e-mail: g.aitkaliyeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>.

Madeniyet Yelubay* – Candidate of Chemical Science, Dean of the Faculty of Natural Sciences, Professor, Toraighyrov University; e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>.

Nurikamal Demeubayeva – Master of Technical Sciences, researcher, Institute of geology, oil and gas, Satbayev University; e-mail: n.demeubayeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7944-6341>.

Aigul Amitova – PhD, Head of the Department of Chemical and Biochemical Engineering, Institute of geology, oil and gas, Satpayev University; e-mail: a.amitova@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7721-6473>.

Поступила в редакцию 14.08.2024
Поступила после доработки 02.09.2024
Принята к публикации 03.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-45](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-45)



FTAXP: 31.27.23

**Н.Н. Нурғалиев^{1*}, А.Ж. Акимжанов¹, Е.П. Евлампиева¹, Р.К. Динжуманова²,
Д.Ж. Бекчанов³**

¹Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көшесі, 20

²Семей қаласының Медициналық университеті,
071400, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Абай көшесі, 103

³Мырза Ұлықбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті,
100174, Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ., Университетская көшесі, 4

*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

ПЛАСТИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПИРОЛИЗ ӘДІСІМЕН ҚАЙТА ӨНДЕУ

Аңдатпа: Пластикалық қалдықтарды химиялық қайта өңдеу пластмассаларды қайта өңдеудің қажетті қарқынына қол жеткізу және климатқа бейтарап және ресурстарды үнемдейтін айналмалы экономиканы құру үшін механикалық қайта өңдеуге пайдалы қосымша бола алады. Болашақта қайта өңдеуге ұшырайтын әртүрлі аралас пластикалық қалдықтар орташа қыздыру жылдамдығымен және пиролиз температурасымен сипатталатын аралық пиролиздің толығымен біркелкі жағдайында зерттеледі. Өнімнің таралуы және өнімнің таңдалған қасиеттері анықталады, процестің массасы мен энергия балансы алынады. Өнімнің шығымдылығы мен құрамы пиролизденген қалдықтарға өте тәуелді. Барлық нәтижелер пиролиздің әртүрлі күрделі аралас пластик қалдықтарынан химиялық шикізатты алу үшін қолайлы процесс екенін көрсетеді. Аралас пластик қалдықтарын пиролиз әдісімен химиялық қайта өңдеуге арналған негізгі массалық және энергетикалық баланстар анықталды. Шикізатты қайта өңдеуге арналған өнімдерді барлық зерттелген пластикалық қалдықтардан алуға болады. Өнімнің сапасы көбінесе шикізатқа байланысты. Жылытуға, балқытуға, пиролизге және булануға арналған энергияға деген қажеттілік шикізаттың калориялық құндылығының шамамен 5%-ын құрайды. Шикізат көміртегінің 50-ден 75%-ға дейін конденсатта қалпына келтірілуі және химия өнеркәсібіндегі құн тізбегіне қайта енгізілуі мүмкіндігін дәлелденді.

Түйін сөздер: пластикалық қалдық, қайта өңдеу, пиролиз, айналмалы экономика, қоршаған орта.

Кіріспе

Еуропалық пластмасса түрлендіргіштерінің сұранысы 2021-жылы 50,7 миллион тоннаны құрады [1]. Буып-түю және құрылыс-бұл түпкілікті пайдаланудың ең ірі нарықтары, одан кейін автомобиль, электр және электронды қосымшалар. Көдімгі пластмассаларға және әдеттегі қолданбаларға сұранысы 1-кестеде берілген. Полиолефинді пластмассалар сұраныстың жартысынан көбін құрайды.