

## ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО

**Яцевич П.П.**, заведующий, **Афанасенко А.А.**, научный сотрудник,  
**Корончик А.В.**, инженер. ЦНИИ ДСГМ филиала  
БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»,  
**Лю Тинго, Ли Чжунъюй**; компания «Гаоюань», провинция  
Хэнань, КНР

***Аннотация:** Улично-дорожная инфраструктура неотъемлемая часть современной экономики, предполагающая непрерывное движение товаров и трудовых ресурсов. Большинство покрытий представлено такими конструкционными материалами, как асфальтобетон и цементобетон, которые в результате своего жизненного цикла являются не инертными, а активно выделяющими различные вещества в окружающую среду. В работе представлены исследования, связанные с испарениями летучих веществ из асфальтобетона в процессе приготовления асфальтобетонной смеси, устройства асфальтобетонного покрытия и его службы. Рассмотрено влияние эвапорации на организм человека.*

***Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, газовая хроматография, десублимация, пентан, гексан, этилацетат, толуол, этилбензол, гемопоэтическая токсичность.*

Неоспоримым является то, что в процессе своего существования логистическая составляющая современной экономики «дорога-транспорт» производит колоссальное количество вредных выбросов в атмосферу. И, если в последнее время мы наблюдаем устойчивый тренд к переходу к экологически чистому транспорту, то в плане оптимизации, с точки зрения экологии инфраструктуры, принимаются лишь робкие шаги. Применение вторичных каменных материалов, холодный и горячий ресайклинг асфальтобетонов, увеличение срока службы покрытий за счет применения

модифицирующих добавок – это хоть и движение вперед к решению проблемы, но, на наш взгляд, недостаточно смелое и кардинальное.

Беспрепятственное и оперативное движение товаров и рабочей силы вызывает необходимость в поддержание улично-дорожной среды в удовлетворительном состоянии и постоянном ремонте покрытия, что приводит к тому, что, в случае с асфальтобетонным покрытием, происходит его обновление в среднем один раз в пять лет. Подавляющее большинство улиц и дорог устроено с использованием асфальтобетона, который, если упростить, состоит из каркаса из каменных материалов и вяжущего, которое и скрепляет данный каркас. Наиболее пагубное влияние на окружающую среду оказывает именно вяжущее, которым традиционно является битум.

Поверхность любой автомобильной дороги или улицы является сама по себе испарителем. Десублимация легких фракций битума известный факт, который регламентирован рядом документов, например ГОСТ 18180, СБТ 1062, ASTM D 5976, EN 14023 и др., и допускается снижение массы вяжущего до 1%. Довольно сложной задачей остается понять, какое количество битума в асфальтобетонной смеси является наиболее активным испарителем вредных веществ в атмосферу. На наш взгляд, именно тонкий слой битума, находящийся на поверхности покрытия, наиболее активно взаимодействует с окружающей средой. Битум распределяется по поверхности минеральных зерен асфальтобетона тонкой пленкой, толщина которой сложно определима, но в соответствии с данными, полученными М. Дюрье и методиками Центральной лаборатории мостов и дорог Франции [1] и Королева И.В. [2] мы принимаем это значение равным 12 мкм. Таким образом, ориентировочная масса битума, распределенного в тонкой пленке по поверхности 1 м<sup>2</sup> покрытия, с учетом эмпирического коэффициента шероховатости и открытой пористости, равным 4,2, может быть определена следующим выражением:

$$m = S \times h \times \rho \times 1000 \times 4,2 \quad (1)$$

где  $S$  – площадь покрытия, м<sup>2</sup>, принимаемая равной 1 м<sup>2</sup>;

$h$  – толщина битумной пленки, м;

$\rho$  – плотность битума, кг/м<sup>3</sup>, принимаемая равной 901 кг/м<sup>3</sup>;

Проведя расчеты получаем, что 45,41 грамм битума распределено по поверхности в и открытой пористости одного метра квадратного верхнего слоя покрытия. Это, с учетом допустимого изменения массы после прогрева, позволяет утверждать о выделении в атмосферу около 500 миллиграмм летучих веществ с каждого метра квадратного покрытия.

Первые методики оценки рисков, связанные с парами битума, были разработаны ANSES (Французское агентство по гигиене и безопасности пищевых продуктов, окружающей среды и труда) по инициативе FNSS (Французской федерации строительных рабочих). ANSES определило, что воздействие испарений битума происходит респираторно (при вдыхании) и на кожно (оседание остатков веществ на коже). Среди соединений, обнаруженных в битуме и его выбросах, некоторые были внесены в список Международного агентства по изучению рака (IARC) как канцерогенные и внесены в список Европейского союза как канцерогенные, мутагенные, токсичные для репродуктивной функции (CMR) и опасные, в дополнение к их канцерогенному потенциалу эпидемиологические исследования показали, что воздействие битумных испарений связано с респираторными заболеваниями (астма, хронический бронхит и т. д.), также подозреваются сердечно-сосудистые и иммунотоксические воздействия [3 – 15].

Применение вместо асфальтобетонных покрытий цементобетонных не решает проблему, а лишь ее заменяет на другую. В процессе эксплуатации цементобетонных покрытий, в результате воздействия колес транспортных средств, происходит его истирание, что приводит к отслоению пылеобразных частиц. В соответствии с DIN 52108 при испытании по методу Vöhme, допускается, что с 1 м<sup>2</sup> может быть потеряно до 700 грамм этой пыли, которая может находиться в качестве взвеси в воздухе и оседать в легких человека при ее вдыхании. Все это может вызывать заболевания, в том числе хронические, различной степени тяжести, вплоть до рака легких.

В соответствии с программой белорусско-китайского научно-технического сотрудничества “National Key R&D Program of China (2022YFE0123800) нами были проведены исследования по газовой хроматографии образцов битума. Суть эксперимента состоит в том, чтобы повторить и расширить исследования Джаффэр Брессана

Боринелли, которые он с коллегами провел в Антверпене в 2020 году. В известных нам исследованиях битума температура образца равномерно возрастала от 20°C до 160°C. Мы же считаем, что необходимо проанализировать испарения, смоделировав жизненный цикл покрытия из асфальтобетона. Поэтому предлагаем следующую модель эксперимента. Образец битума, запечатанный в герметичную колбу, нагревается до 160°C, а затем плавно охлаждается до 100°C в течении 3 часов. Из колбы отбирается проба газа и проводится хроматография с качественным и количественным определением веществ, находящихся в среде. Тем самым мы моделируем процесс производства, транспортировки и укладки асфальтобетонной смеси. Второй образец того же битума нагревается в запечатанной колбе до температуры 60°C, температура поддерживается в течении 8 часов, затем так же отбирается проба среды для газовой хроматографии. Этим мы моделируем процессы, происходящие на поверхности покрытия из асфальтобетона при нагревании слоя под действием ультрафиолетовых лучей днем в летнее время. При каждой схеме нагрева отбиралось по три пробы среды для расчета среднего показателя. Результаты сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Качественно-количественный анализ среды

Вещество	Среднее значение концентрации вещества в среде, мг/м <sup>3</sup> , при схеме нагрева.	
	Нагрев до 160°C с постепенным охлаждением до 100°C	Нагрев до 60°C и удержанием температуры 8 часов
Пентан	20,65	23,32
Гексан	59,94	97,04
Этилацетат	10,71	71,86
Бензол	5,14	18,05
Толуол	4,16	33,17
Этанол	1,84	6,29

Как мы видим, при второй схеме нагрева, которая моделировала десублимацию при кажущемся аморфном состоянии асфальтобетона, концентрация всех, определенных при качественном анализе пробы, веществ увеличилась, значительное увеличение произошло по бензолу и толуолу. Если интерполировать такое увеличение на результаты работы Боринелли, можно прийти к

выводу того, что значительно увеличивается риски, определяемые ANSES.

Стоит отметить, что значительное увеличение концентрации этих веществ весьма опасна из-за их токсичности. Так, например, бензол применяется в онкологических исследованиях, как возбудитель возникновения раковых клеток [16], а его накопление в организме может приводить к гемопозитической токсичности [17], т.е. нарушению формирования и функционирования кроветворных клеток в костном мозге [18], что приводит к анемии, тромбоцитопении и лейкопении.

Пары толуола негативно воздействуют на центральную нервную систему, приводя к хроническим неврологическим расстройствам, влияют на цветовое зрение, в частности на способность различать цвета в диапазоне синего и желтого. Так же обладают ототоксичностью, что приводит к нарушению слуха и вестибулярным расстройствам, и отрицательно влияет на репродуктивную функцию [19].

Подытоживая все вышесказанное, опираясь на свой опыт, свои исследования и работы коллег, мы можем утверждать, что на современном этапе развития инженерной науки моральные риски от применения в составе асфальтобетона битума начинают перевешивать положительные аспекты и выгоды логистической составляющей экономики. Выход из сложившейся ситуации мы видим в поиске, исследованиях и применении альтернативных вяжущих, которые по своим технологическим свойствам сравнимы с битумом или превосходят его.

### Литература

1. Huber G.A., Corte J.F., Laglois P. The effect of mix design technology on the rutting characteristics of asphalt pavements: Ninth International Conference on Asphalt Pavements, August 17-22, 2002. - Denmark, 2002.
2. Королев И.В. Пути экономии битума в дорожном строительстве. - М.: Транспорт, 1986.
3. Boffetta P, Burstyn I, Partanen T, Cancer mortality among European asphalt workers: an international epidemiological study. I. Results of the analysis based on job titles. *Am J Ind Med.* 2003; 43: 18-27.

4. Olsson A, Kromhout H, Agostini M, A case-control study of lung cancer nested in a cohort of European asphalt workers. *Environ Health Perspect.* 2010; 118: 1418-1424.
5. Hansen ES, Cancer incidence in an occupational cohort exposed to bitumen fumes. *Scand J Work Environ Health.* 1989; 15: 101-105.
6. Fuhst R, Creutzenberg O, Ernst H, Hansen T, 24 months inhalation carcinogenicity study of bitumen fumes in wistar (WU) rats. *J Occup Environ Hyg.* 2007; 4: 20-43.
7. Simmers MH, Cancers from air-refined and steam-refined asphalt. *Ind Med Surg.* 1965; 34: 255-261.
8. Clark CR, Burnett DM, Parker CM, Asphalt fume dermal carcinogenicity potential: I. dermal carcinogenicity evaluation of asphalt (bitumen) fume condensates. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2011; 61: 9-16.
9. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. International Agency for Research on Cancer, Lyon 2010.
10. De Meo M, Genevois C, Brandt H, Laget M, Bartsch H, Castegnaro M, of the genotoxic effects of bitumen and coal-tar fume condensates: comparison of data obtained by mutagenicity testing and DNA adduct analysis by <sup>32</sup>P-postlabelling. *Chem Biol Interact.* 1996; 101: 73-88.
11. Qian HW, Ong T, Nath J, Whong WZ, Induction of DNA adducts in vivo in rat lung cells by fume condensates of roofing asphalt. *Teratog Carcinog Mutagen.* 1998; 18: 131-140.
12. Wang JJ, Frazer DG, Stone S, Urinary benzo[a]pyrene and its metabolites as molecular biomarkers of asphalt fume exposure characterized by microflow LC coupled to mass spectrometry. *Anal Chem.* 2003; 75: 5953-5960.
13. Zhao HW, Yin XJ, Frazer D, Effects of paving asphalt fume exposure on genotoxic and mutagenic activities in the rat lung. *Mutat Res.* 2004; 557: 137-149.
14. Gate L, Langlais C, Micillino JC, Bitumen fume-induced gene expression profile in rat lung. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2006; 215: 83-92.
15. Pasquini R, Monarca S, Scassellati SG, Savino A, Bauleo FA, Angeli G, Urinary excretion of mutagens, thioethers and D-glucaric acid in workers exposed to bitumen fumes. *Int Arch Occup Environ Health.* 1989; 61: 335-340.
16. Adewale Adetutu, Abiodun Olusoji Owoade, Peter Ifeoluwa Adegbola. Inhibitory effects of ethyl acetate and butanol fractions from *Morinda lucida* benth on benzene-induced leukemia in mice. // *Arabian Journal of*

Chemistry – 2022. – Vol. 15, Issue 6.  
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103802>.

17. Lei Zhang, Huiwen Kang, Wei Zhang, JingYu Wang, Ziyang Liu, Jiaru Jing, Lin Han, Ai Gao. Probiotics ameliorate benzene-induced systemic inflammation and hematopoietic toxicity by inhibiting Bacteroidaceae-mediated ferroptosis. // *Science of The Total Environment* – 2023. – Vol. 899. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165678>.
18. Yoko Hirabayashi, Tooru Inoue. Benzene-induced bone-marrow toxicity: A hematopoietic stem-cell-specific, aryl hydrocarbon receptor-mediated adverse effect // *Chemico-Biological Interactions* – 2010. – Vol. 184, Issues 1–2. P. 252-258.
19. Benil PB, Sreeja Rani, Young Ock Kim, Abdullah Ahmed Al-Ghamdi, Mohamed S. Elshikh, Monerah A. Al-Dosary, Ashraf A.. Prophylactic efficacy of *Boerhavia diffusa* L. aqueous extract in toluene induced toxicity in *Drosophila melanogaster* // *Journal of Infection and Public Health* – 2020. – Vol. 13, Issue 2. P. 177-185.