

М.Ғ. Мусаханова^{1*}, Б.Х. Тусупова¹, Л.С. Курбанова¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*Corresponding author: mussakhanova.medina@mail.ru

Информация об авторах:

Мусаханова Медина Ғаниқызы – магистрант 2 курса факультета географии и природопользования, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-5078-2352>, email: mussakhanova.medina@mail.ru

Тусупова Баян Халеловна – кандидат технических наук, старший преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-7246-0685>, email: tussupova@yandex.ru

Курбанова Лаура Сериковна – кандидат технических наук, старший преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7537-649X>, email: kurbanova.2005@mail.ru

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛИВНЕВЫМИ ВОДАМИ В ГОРОДЕ АЛМАТЫ НА ОСНОВЕ ОПЫТА США

Аннотация. В настоящей работе изложены результаты изучения эффективности по сокращению ливневого стока проницаемой системы дорожного покрытия на основе опыта США (Миннесота) по управлению ливневыми водами. Цель данной статьи выявить наиболее подходящую технологию в процессе внедрения управления ливневыми водами для города Алматы. В данной статье использованы методы обзора литературных данных и расчеты по ливневому стоку с использованием инструмента BMP MIDS Calculator.

Ключевые слова: система управления ливневыми водами, ливневой сток, наилучшие доступные технологии, пористые покрытия, калькулятор BMP MIDS.

Введение. Ливневая вода – это вода, которая образуется от дождя и в процессе таяния снега и льда. Ливневая вода может впитываться в почву, удерживаться на поверхности, испаряться или стекать в близлежащий ручей, реку или в другой водоем. В естественной местности, такой как прерия или лес, почва поглощает значительное количество ливневой воды, а растения помогают удерживать ливневую воду вблизи того места, где она падает, поэтому образуется очень малое количество стока.

Управление ливневыми водами – это система контроля и использования ливневых стоков. Она включает в себя планирование стока, обслуживание ливневых систем и регулирование сбора, хранения, перемещения ливневых вод. Управление ливневыми водами также рассматривает дренаж при проектировании городов и жилых комплексов.

Цели управления ливневыми водами включают защиту нашей окружающей среды; сокращение наводнений для защиты людей и имущества; снижение спроса на общественные системы ливневой канализации; поддержку здоровых ручьев и рек; и создание более здоровых, более устойчивых сообществ. Когда управление ливневыми водами осуществляется на достаточно хорошем уровне,

ручьи, реки и озера становятся чище, риски наводнений и затраты из-за возможного ущерба снижаются, а качество жизни населения повышается [1].

Современные методы управления ливневыми водами имитируют природные системы, захватывая и используя дождевую воду вблизи того места, где она падает. Новые методы, часто называемые садовой инфраструктурой, рассматривают сток не как сточную воду, а как актив. Зеленая инфраструктура опирается на растения, почву и микробиологическое действие почвенных организмов, способствующих инфильтрации, испарению и фильтрации ливневых вод. Он уменьшает негативное воздействие ливневого стока, имитируя функции природных экосистем [2].

Материалы и методы. В городе Алматы ливневые стоки и талые воды управляются через арычные системы. Но в период сезонных ливней можно заметить, что нижняя часть города часто затапливается ливневой водой, что доказывает низкую эффективность систем в управлении ливневыми водами. Поэтому возрастает необходимость внедрения систем управления ливневыми водами, основываясь на опыте стран Америки и Европы.

Одним из перспективных технологии являются пористые тротуары, которые широко применяются в настоящий день в США. Системы пористых дорожных покрытий состоят из проницаемых дорожных покрытий или других стабилизированных поверхностей, которые позволяют ливневому стоку проникать через поверхность в грунт [3].

Пористые покрытия бывают разных форм. В отличие от типичных асфальтовых или бетонных тротуаров, пористые тротуары позволяют стоку просачиваться через поверхность тротуара, что уменьшает его количество. Пористые тротуары классифицируются как инфильтрационная практика, поскольку они позволяют стоку проникать в нижележащую почву [4].

Ограничения пористых тротуаров аналогичны другим методам инфильтрации и обычно связаны с проблемами технического обслуживания и засорения. Пористые тротуары обычно содержат небольшие пустоты, которые могут быть забиты отложениями. Частое поверхностное вакуумирование или промывка обычно требуется для того, чтобы пористые тротуары были очищены от отложений и других загрязнений, что позволяет быстро проникать поверхностному стоку. Качество воды и очистка стока пористыми дорожными покрытиями аналогична другим методам инфильтрации [5]. Само пористое покрытие обеспечивает незначительное фактическое удаление, в то время как инфильтрация стока в приемные грунтовые воды может удалить значительное количество загрязняющих веществ [6].

Проницаемое дорожное покрытие является альтернативой традиционному бетону и асфальту в проектировании проезжей части и дорожного покрытия, которое выполняет функцию во благо обществу, минимизирует негативное воздействие на окружающую среду. Проницаемое дорожное покрытие-одна из самых быстрорастущих технологий в области устойчивого дорожного строительства.

Хотя эта технология использовалась в различных формах уже около пятидесяти лет, проницаемое дорожное покрытие в том виде, в каком оно есть сегодня, было разработано в середине – конце 2000-х годов. Использование проницаемого дорожного покрытия требует большего планирования. Тем не менее, проницаемое дорожное покрытие остается реалистичной и устойчивой альтернативой традиционному проектированию в дизайне проезжей части [6]. Оно является шагом вперед на пути к устойчивым дорогам в городских условиях, но имеют меньшие конструктивные возможности по сравнению с традиционным дорожным покрытием. Это означает, что оно не может полностью заменить существующие материалы. На сегодняшний день не доказано, что проницаемое дорожное покрытие выдерживает требования зон с большим объемом движения. Однако проницаемое дорожное покрытие может быть использовано в дополнение к традиционному дорожному покрытию в районах с меньшим спросом. Пешеходные дорожки, автостоянки, аллеи и обочины дорог могут быть подходящими местами для установки проницаемых покрытий. В целом, как говорилось выше, использование проницаемого дорожного покрытия требует большего планирования и обходится дороже, чем традиционное дорожное покрытие, а также требует большего технического обслуживания, чем традиционные дороги, что еще больше повышает затраты. Эти недостатки компенсируются экологическими и гидравлическими преимуществами [7].

Результаты и обсуждение. В качестве квадратного участка для расчета расходов ливневых стоков был выбран квадрат между ул.Абая – Жарокова – Сатпаева - Гагарина. Рельеф участка спокойный. Имеется общий естественный уклон, резких перепадов высот нет. Ливневые стоки по рельефу, при сильной грозе часть отводятся на дренажные сооружения, часть стекает вниз по асфальту.



Рисунок 1 – Квадрат участка для расчета ливневых стоков

Условно-чистый сток с непроницаемого покрова

Расход ливневых стоков определен исходя из среднесуточного количества осадков для данной местности в зависимости от площади твердого покрытия, равной 2408,6 м² (0,24086 га) и коэффициента стока по СНиП 2.04.03-85. Годовой объем ливневых стоков определяем по формуле:

$$W = 2.5 \times h \times F \times q (\text{м}^3 / \text{год}),$$

где h – количество осадков за год в г. Алматы (СНиП 2.01.01-82);
 q – коэффициент стока; F – площадь стока.

$$W = 2.5 \times 629 \times 0.24086 \times 0.3 = 113.6 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Калькулятор стандартов проектирования с минимальным воздействием (MIDS) best management practice (BMP) был разработан для оказания помощи в определении соответствия целям эффективности биоинженерных сооружений стандартам BMP (Best Management Practice) MIDS калькулятор. BMP MIDS – это инструмент, используемый для определения объема ливневого стока и возможностей снижения выбросов загрязняющих веществ различных биоинженерных сооружений с низким воздействием [4].

Годовой объем ливневого стока, нагрузки загрязняющих веществ для ТСС, растворенного фосфора и твердых частиц фосфора рассчитываются в соответствии с методом сокращения стока, разработанным Центром защиты водосборов и Чесапикской ливневой сетью, который основан на простом методе сокращения стока. Вычисляет годовой объем ливневых стоков (R) в кубических метрах на основе следующего:

$$R = D_r \times A \times 3630$$

где D_r – годовая глубина стоков; A – общая площадь водосбора; 3630 – коэффициент пересчета для преобразования конечного результата в кубические метры.

R – для квадратного участка Абая-Гагарина-Сатпаева-Жарокова составил 1,23 куб. метров\год.

Общая площадь водосбора (a) является входным параметром, предоставляемым пользователем. Годовой сток рассчитывается по следующей формуле:

$$D_r = P \times P_j \times R_v,$$

где P – общая годовая глубина осадков; P_j – доля годовых осадков, которые производят стоки; R_v – коэффициент стока.

Для данного участка средний коэффициент стока рассчитывается на основе площадей землепользования и используется для расчета глубины стока. Таким образом, уменьшение расхода расчетной модели сооружения в условиях города Алматы составляет $R=1,23$ кубометра.

Тип почвенного покрова на данном участке существенно влияет на объем стока. Невозмущенные природные зоны такие, как леса и кустарники, имеют высокий потенциал инфильтрации, в то время как непроницаемые поверхности, такие как автостоянки и крыши, не будут проникать в сток [8].

Расчет кредитов для проницаемого дорожного покрытия

Кредит относится к количеству ливневых вод или сокращению выбросов загрязняющих веществ, достигнутому либо с помощью индивидуальной передовой практики управления (ВМР), либо в совокупности с несколькими ВМР.

Объемный кредит (V) для проницаемых систем дорожного покрытия с нижним дренажем в кубических метрах определяется:

$$V = V_{\text{inf}_b} + V_u$$

Объем инфильтрации (V_{inf}) в кубических метрах определяется:

$$V_{\text{inf}_b} = A_B DDT I_R / 12$$

где A_B – площадь поверхности в квадратных метрах; DDT – это время просадки воды, хранящейся ниже нижнего уровня, в часах; I_R – это расчетная скорость инфильтрации подстилающей почвы в миллиметрах в час.

Таким образом, условное сокращение выбросов, то есть объем инфильтрации при использовании проницаемой системы дорожного покрытия составляет $243,6 \text{ м}^3$. Если подземный водовод поднят над дном ВНР (то есть над границей раздела между резервуаром/суббазой и нижележащим грунтовым земляным полотном), вода, хранящаяся ниже подземного водовода, будет проникать внутрь [9]. Объем инфильтрации (V_U) в кубических футах определяется:

$$V_u = D_u \times n(A_U + A_B) / 2$$

где D_u – глубина слоя резервуара под нижним дном, в метрах; A_B – площадь поверхности нижней части, в квадратных метрах; A_U – площадь поверхности в нижней части слоя резервуара/суббазы в квадратных метрах; n – пористость слоя резервуара/суббазы в кубических метрах (рис. 2). Соответственно объемный кредит для проницаемых систем дорожного покрытия с нижним дренажем составляет $V=389,4 \text{ м}^3$.

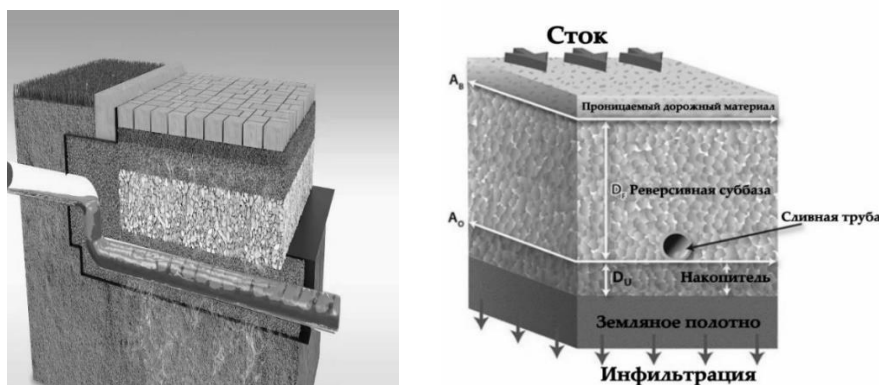


Рисунок 2 – Схема проницаемой системы дорожного покрытия с нижним дренажем

На рисунке 2 наглядно изображена схема проницаемой системы дорожного покрытия с нижним дренажем. Вода, просачивающаяся через дорожное покрытие, либо захватывается нижним дренажем, либо хранится ниже нижнего дренажа в резервуаре/суббазе, где она просачивается в нижележащий грунт земляного полотна в течение определенного времени просадки, обычно 48 часов.

Экономическая оценка НДТ-Пористых дорожных покрытий

Таблица 1 – Затраты на установку проницаемого дорожного покрытия

Тип покрытия	Ограничения/Применение	Средняя стоимость материала/м ²	Средний срок службы (лет)
Пористый асфальт	Низкая грузоподъемность	\$1.20	17,5
Проницаемый бетон	От малых до больших проектов	\$6,90	25-30

Таблица 2 – Сравнительный анализ стоимости ПДП и стандартного асфальта

	Периодичность в 25 лет	Проницаемое дорожное покрытие	Периодичность в 25 лет	Стандартный асфальт
1. Установка	1	~166 350\$	1	~109 000\$
2. Задержание	1	~15 000\$	0	-
3. Вакуумная разветрка	25	~4 00\$	0	-
4. Восстановление проницаемости	5	~1750\$	0	-
5. Обновление базы	1	~8100\$	0	-
6. Герметизация трещин	0	-	25	~250\$
7. Уплотнительное покрытие	0	-	5	~20 000\$
8. Удаление	0	-	1	~3 125\$
9. Латание	0	-	5	~100\$
10. Замена поверхности	0	-	1	~32000\$
	Стоимость за 1 кв.метр	~14,08\$	Стоимость за 1 кв.метр	~17,05\$

В ходе расчетов выявлены высокие первоначальные затраты проницаемых тротуаров по сравнению с обычным асфальтом. Но в дальнейшем проницаемое дорожное покрытие не требует высоких затрат на ремонты и прочее.

Высокая первоначальная стоимость, связанная с проницаемыми поверхностями, обусловлена конструкцией и инфраструктурой, необходимыми для надлежащего проникновения поверхностных вод в нижележащий грунт.

Заключение. Проведенные расчеты выполнялись по методике BMP MIDS Calculator. Полученные результаты показывают, что в сравнении с другими наилучшими доступными технологиями в сфере управления ливневыми водами проницаемые системы дорожного покрытия достаточно эффективно сокращают сток и снижают выбросы загрязняющих веществ. И так же итоги по экономическим показателям показывают, что данная технология является выгодным решением. Такие дорожные покрытия могут быть установлены на тротуары, парковки, велосипедных дорожках.

Проницаемые тротуары позволяют ливневому стоку просачиваться через поверхностные пустоты в нижележащий каменный резервуар для временного хранения и/или инфильтрации. Наиболее часто используемыми проницаемыми дорожными покрытиями являются проницаемый бетон, пористый асфальт и проницаемые блокирующие бетонные асфальтоукладчики (PISCP)[10]. В то время как детали конструкции различаются, все проницаемые тротуары имеют одинаковую структуру, состоящую из поверхностного слоя тротуара, подстилающего слоя каменного заполнителя резервуара, дополнительных грунтовых вод и геотекстиля поверх несжатого грунтового земляного полотна.

С гидрологической точки зрения проницаемое дорожное покрытие обычно предназначено для управления выпадением осадков непосредственно на проницаемую поверхность дорожного покрытия. Проницаемые поверхности тротуаров могут принимать сток, вносимый соседними непроницаемыми областями, такими как полосы движения или крыши [11]. Емкость нижележащего резервуара ограничивает площадь вклада. Обкатка с прилегающих растительных участков, как правило, не рекомендуется, а если и происходит, то должна быть стабилизирована и не генерировать осадок, так как его транспортировка ускоряет засорение проницаемой поверхности дорожного покрытия. Данная технология может быть использована в определенных частях города Алматы и снизить количество стоков при ливневой погоде, что поможет в решении проблем связанных с затоплением нижней части города при экстремальных погодных условиях.

Литература / References:

1. *Bobbi A. Stormwater Management: what stormwater management is and why it is important// New Guide of University of Nebraska. – 2014. – No.2238. – P. 1-2.*
2. *National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Storm Water Management Model User's Manual. – 2015. – Vol.5.1. – P.3.*
3. *Office of Pesticide Programs U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C. // Guidance on Cumulative Risk Assessment of Pesticide Chemicals That Have a Common Mechanism of Toxicity. – 2002. – P. 24.*
4. *Minnesota Pollution Control Agency // Minnesota Stormwater Manual. – 2020. – P. 6.*
5. *Borst, M. Green Infrastructure Research: Permeable Pavement at EPA'S Edison Environmental Center // US EPA Office of Research and Development USA. – 2016. – P. 15.*
6. *Review of environmental performance of permeable pavement systems: state of the knowledge Jennifer A. P. Drake, Andrea Bradford and Jiri Marsalek. – 2013. – P. 8.*
7. *Luke Zanoni The Benefits of Using Porous Asphalt Pavement in Comparison with Other Forms of Pervious Pavements. – 2019. – P. 6-7.*
8. *North Carolina Division of Water Quality // Stormwater Best Management Practices Manual. – 2007. – P. 26.*
9. *Brown, Chris; Angus Chu; Bert van Duin; Caterina Valeo//Characteristics of Sediment Removal in Two Types of Permeable Pavement Water Qual. Res. J. Can. – 2009. – Vol. 44. – No. 1. – P. 59-70.*
10. *Bohman A., Glaas E. and Karlson M. Integrating Sustainable Stormwater Management in Urban Planning: Ways Forward towards Institutional Change and Collaborative Action. – 2019. – P.4.*
11. *Peter T. Weiss, John S. Gulliver, Andrew J. Erickson The cost and effectiveness of stormwater management practices. – 2005. – P. 3-4.*

М.Ғ. Мусаханова^{1*}, Б. Х. Тусупова¹, Л.С. Курбанова¹

**АҚШ ТӘЖІРИБЕСІ НЕГІЗІНДЕ АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНДА
ЖАҢБЫР СУЛАРЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЕНГІЗУ**

¹әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

*Corresponding author: mussakhanova.medina@mail.ru

Информация об авторах:

Мусаханова Медина Ғаниқызы – география және экологиялық ғылымдар факультетінің магистранты, әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

<https://orcid.org/0000-0001-5078-2352>, email: mussakhanova.medina@mail.ru

Тусупова Баян Халеловна – техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-7246-0685>, email: tussupova@yandex.ru

Курбанова Лаура Сериковна – техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-7537-649X>, email: kurbanova.2005@mail.ru

Аңдатпа. Бұл мақалада АҚШ-тың (Миннесота) жаңбыр суларын басқару тәжірибесі негізінде өтетін жол жабыны жүйесінің нәсер ағынын азайту тиімділігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Мақаланың мақсаты Алматы қаласы үшін жаңбыр суларын басқаруды енгізу процесінде неғұрлым қолайлы технологияны анықтау болып табылады. Бұл мақалада BMP MIDS Calculator құралын қолдана отырып, әдеби деректерді шолу әдістері және жаңбыр суы ағынын есептеу әдістері қолданылады.

Түйін сөздер: жаңбыр суын басқару жүйесі, нәсерлі ағын, қолжетімді ең жақсы технологиялар, кеуекті жабындар, BMP MIDS калькуляторы.

M.G. Mussakhanova^{1*}, B.H. Tusupova¹, L.S. Kurbanova¹

¹ al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: mussakhanova.medina@mail.ru

Information about authors:

Mussakhanova Medina Ganikyzy - 2nd year Master's student of the Faculty of Geography and Environmental Management, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-5078-2352>, email: mussakhanova.medina@mail.ru

Tusupova Bayan Halelovna - Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-7246-0685>, email: tussupova@yandex.ru

Kurbanova Laura Serikovna - Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-7537-649X>, email: kurbanova.2005@mail.ru

**IMPLEMENTATION OF THE STORMWATER
MANAGEMENT SYSTEM IN ALMATY BASED ON THE EXPERIENCE
OF THE UNITED STATES**

Abstract. This article presents the results of a study of the effectiveness of reducing storm runoff of a permeable pavement system based on the experience of the United States (Minnesota) in storm water management. The purpose of this article is to identify the most appropriate technology in the process of implementing storm water management for the city of Almaty. This article uses the methods of reviewing the literature data and calculations on stormwater runoff using the BMP MIDS Calculator tool.

Keywords: stormwater management system, storm runoff, best available technologies, porous pavements, BMP MIDS calculator.