DOI: 10.65322/j.srd.05192026.45

IKKI HALQALI GIDROCHANGYUTARNING PURKASH QAMROVI VA HAVODAGI PM2.5 HAMDA PM10 KO‘RSATKICHLARI PASAYISHINING TAJRIBAVIY TAHLILI
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОХВАТА РАСПЫЛЕНИЯ ДВУХКОЛЬЦЕВОГО ГИДРОПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ И СНИЖЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ PM2.5 И PM10 В ВОЗДУХЕ
EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SPRAY COVERAGE OF A DUAL RING HYDRO DUST COLLECTOR AND REDUCTIONS IN AIRBORNE PM2.5 AND PM10 INDICATORS

Jumaboev X., *tadqiqotchi-stajyor.*
Arifjanov A., *t.f.d., professor.*
Samiyev L., *t.f.d., professor.*
Gidravlika va gidroinformatika kafedrasi,
«Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti» Milliy tadqiqot universiteti

Annotatsiya. *Laboratoriya gidrochangyutarining fazoviy purkash qamrovi va ishga tushirilishidan oldingi hamda keyingi zarracha ko‘rsatkichlari tahlil qilindi. Tajriba TSI AirAssure havo sifati monitori va mahalliy datchiklar yordamida 10 marta takrorlandi; har bir takror taxminan 5–10 daqiqa davom etdi. Qurilma 800 W ventilyator va ikki konturga birlashtirilgan 24 ta forsunkadan iborat. Qayd etilgan eng katta purkash zonasi uzunligi 16,0 m, eni 3,20 m va balandligi 4,50 m ni tashkil etdi. Baholashda PM2.5 va PM10 havo sifati indekslari (AQI) hamda PM10 massaviy konsentratsiyasining mutlaq va nisbiy o‘zgarishlari hisoblandi. PM2.5 AQI 63 dan 33 ga, PM10 AQI 15 dan 6 ga, PM10 konsentratsiyasi esa 29 dan 16 µg/m³ ga kamaygan. Mutlaq kamayishlar mos ravishda 30 indeks birligi, 9 indeks birligi va 13 µg/m³; nisbiy kamayishlar 47,6%, 60,0% va 44,8% bo‘lgan. AQI o‘zgarishi bilan massaviy konsentratsiya o‘zgarishi alohida talqin qilindi. Purkash zonasining uzunlik–en nisbati 5,00, chegaralovchi to‘rtburchak yuzasi esa 51,2 m² deb hisoblandi. Natijalar mazkur kuzatuv sharoitini tavsiflaydi. Geometrik qamrov, indeks o‘zgarishi va konsentratsiya kamayishi mustaqil ko‘rsatkichlar sifatida baholandi. A+B rejimidagi alohida hajm–vaqt o‘lchovida nasos chiqishidagi bosim 2,2 bar bo‘lganda bakdagi suv hajmi 600 s davomida 9,76 l ga kamaygan; o‘rtacha umumiy sarf 0,976 l/daq bo‘lgan.*

Аннотация. *Проанализированы пространственные размеры зоны распыления и показатели взвешенных частиц до и после включения лабораторного гидропылеуловителя, использованного в опытах. Эксперимент повторён 10 раз с использованием монитора качества воздуха TSI AirAssure и локальных датчиков; продолжительность каждого повторения составляла примерно 5–10 минут. Устройство включает вентилятор мощностью 800 Вт и 24 форсунки, объединённых в два контура. Максимальные зарегистрированные размеры зоны распыления составили 16,0 м по длине, 3,20 м по ширине и 4,50 м по высоте. Рассчитаны абсолютные и относительные изменения индексов качества воздуха (AQI) для PM2.5 и PM10, а также массовой концентрации PM10. AQI для PM2.5 снизился с 63 до 33, AQI для PM10 — с 15 до 6, концентрация PM10 — с 29 до 16 мкг/м³. Абсолютное снижение составило соответственно 30 единиц индекса, 9 единиц индекса и 13 мкг/м³; относительное снижение — 47,6%, 60,0% и 44,8%. Изменение AQI рассматривается отдельно от изменения массовой концентрации. Отношение длины зоны распыления к ширине равно 5,00; площадь ограничивающего прямоугольника составляет 51,2 м². Результаты характеризуют условия приведённого наблюдения. Геометрический охват, изменение индексов и снижение концентрации оценивались как*

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.45

самостоятельные показатели. При отдельном измерении в режиме совместной работы колец и показании манометра на выходе насоса 2,2 бар объём воды в баке уменьшился на 9,76 л за 600 с; средний общий расход составил 0,976 л/мин.

***Abstract**. The spatial spray coverage and particulate-matter indicators recorded before and after activation of a laboratory hydro-dust collector used in the experiments are analyzed. The experiment was repeated 10 times using a TSI AirAssure air quality monitor and local sensors; each repeat lasted approximately 5–10 minutes. The device comprises an 800 W fan and 24 nozzles arranged in two circuits. The maximum recorded spray dimensions were 16.0 m in length, 3.20 m in width, and 4.50 m in height. Absolute and relative changes were calculated for the PM2.5 and PM10 air quality indices (AQI) and the PM10 mass concentration. PM2.5 AQI decreased from 63 to 33, PM10 AQI from 15 to 6, and PM10 concentration from 29 to 16 µg/m³. The corresponding absolute reductions were 30 index units, 9 index units, and 13 µg/m³; the relative reductions were 47.6%, 60.0%, and 44.8%. AQI changes are interpreted separately from mass-concentration changes. The spray-zone length-to-width ratio was 5.00, while the area of the bounding rectangle was 51.2 m². The results characterize the reported observation conditions. Geometric coverage, index changes and concentration reductions were assessed as separate indicators. In a separate volumetric measurement with both rings operating and the pump-outlet gauge indicating 2.2 bar, tank volume decreased by 9.76 L over 600 s, giving an average total flow of 0.976 L/min.*

***Kalit so‘zlar:** gidrochangyutar; purkash qamrovi; PM2.5; PM10; havo sifati indeksi; massaviy konsentratsiya; ekologik monitoring.*

***Ключевые слова:** гидропылеуловитель; зона распыления; PM2.5; PM10; индекс качества воздуха; массовая концентрация; экологический мониторинг.*

***Keywords:** hydro-dust collector; spray coverage; PM2.5; PM10; air quality index; mass concentration; environmental monitoring.*

Kirish. Qurilish maydonlari, yuklash hududlari va materiallarni qayta ishlash jarayonlarida hosil bo‘ladigan chang havo sifatiga ta’sir qiladi. PM2.5 va PM10 zarrachalari havo sifatini baholashda alohida kuzatiladi [1]. Suv purkash usulini baholash uchun tomchilar yetib boradigan masofa bilan birga havodagi zarrachalar o‘zgarishini ham o‘lchash kerak.

Massaviy konsentratsiya havodagi zarrachalar miqdorini µg/m³ da ifodalaydi. AQI esa konsentratsiya asosida tegishli shkala bo‘yicha hisoblanadigan indeksdir [1, 2]. Shu sababli bu ishda konsentratsiya va AQI o‘zgarishlari alohida hisoblandi.

Lee va hammualliflar temir rudasi uyumida yomg‘irlatgich va suv tumani generatorini taqqoslagan [3]. Yen va hammualliflar ohaktosh uyumida namlash hamda changni tutish ko‘rsatkichlarini tajriba va sun’iy neyron tarmoq asosida tahlil qilgan [4]. Qurilish faoliyati bo‘yicha Ham va hammualliflarning ishida yomg‘irlatish tizimi yordamida zarrachalar miqdorini kamaytirish baholangan [5]. Ushbu yondashuvlar purkash sharoiti va o‘lchov ko‘rsatkichlarini aniq ajratish zarurligini ko‘rsatadi.

Tadqiqotning maqsadi ikki halqali laboratoriya gidrochangyutarining fazoviy purkash qamrovini va qurilma ishga tushirilishidan oldingi hamda keyingi zarracha ko‘rsatkichlarini baholashdan iborat. Uzunlik, en va balandlik bo‘yicha purkash chegaralari tavsiflandi. PM10 massaviy konsentratsiyasi hamda PM2.5 va PM10 indekslari uchun mutlaq va nisbiy o‘zgarishlar alohida hisoblandi.

Tadqiqot obyekti va baholash usuli

Tajribalarda ikki yopiq halqali laboratoriya gidrochangyutaridan foydalanildi. Har bir halqada 12 tadan, jami 24 ta forsunka mavjud. Halqa shlanglari uzunligi 0,560 va 0,685 m, tashqi diametri 8 mm va devor qalinligi 1,5 mm bo‘lib, ichki diametri 5 mm ni tashkil etadi. Umumiy ta’minot shlangining uzunligi 1,80 m, tashqi diametri 12 mm, devor qalinligi 1,5 mm va ichki diametri 9 mm. Ventilyator quvvati 800 W. Suv forsunkalarda mayda tomchilarga ajralib,

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.45

ventilyator hosil qilgan havo oqimi bilan tarqaladi. Konturlar mustaqil klapanlar orqali alohida yoki birgalikda boshqariladi.

Zarrachalar TSI AirAssure turkumidagi monitor va mahalliy datchiklar yordamida kuzatildi [6]. Tajriba 10 marta takrorlandi; har bir takror taxminan 5–10 daqiqa davom etdi. Tahlilda qayd etilgan PM10 massaviy konsentratsiyasi, PM2.5 AQI va PM10 AQI ning boshlang‘ich hamda yakuniy qiymatlari solishtirildi. AQI qiymatlari indeks sifatida, massaviy konsentratsiya esa μg/m³ birlikda baholandi; indekslardan konsentratsiyaga teskari hisoblash bajarilmadi.

Suv sarfi ikkala halqa birgalikda ishlaganda alohida o‘lchandi. Nasos chiqishidagi manometr 2,2 bar ko‘rsatdi, bakdagi suv 10 minutda 9,76 l ga kamaydi. Shu vaqtda bakka suv qo‘shilmadi va purkalgan suv qaytmadi. Umumiy sarf $Q = \Delta V/\Delta t = 0{,}976$ l/min bo‘ldi. Ushbu suv sarfi o‘lchovi PM kuzatuvlaridan alohida qayd etilgan.

Purkash zonasi L, B va H o‘lchamlari bilan tavsiflandi. Zarrachalar ko‘rsatkichlari bo‘yicha mutlaq farq va boshlang‘ich qiymatga nisbatan o‘zgarish quyidagicha hisoblandi:

$$\Delta X = X_0 - X_1; \quad R_X = \frac{X_0 - X_1}{X_0} \times 100\% \qquad (1)$$

X_0 va X_1 — qurilma ishga tushirilishidan oldingi va keyingi qiymatlar. Konsentratsiya uchun ΔX μg/m³ da, AQI uchun esa indeks birliklarida beriladi. R qiymati boshlang‘ich ko‘rsatkichga nisbatan kamayishni bildiradi. AQI kamayishi zarrachalar massasining tutish ulushini bermaydi.

2-jadvaldagi boshlang‘ich va yakuniy qiymatlar bo‘yicha mutlaq va nisbiy kamayishlar hisoblandi. Jadvalda o‘rtacha qiymat, standart og‘ish yoki ishonch oralig‘i keltirilmagan; natijalar qayd etilgan oldingi–keyingi ko‘rsatkichlarning tavsifiy taqqoslanishi sifatida talqin qilindi.

Natijalar

3.1. Purkash zonasining fazoviy tavsifi

Qayd etilgan eng katta purkash qamrovi uzunligi 16,0 m, eni 3,20 m va balandligi 4,50 m bo‘ldi. Bu o‘lchamlar purkash zonasining tashqi chegaralarini tavsiflaydi, zona ichidagi tomchilar zichligining bir tekisligini esa ifodalamaydi.

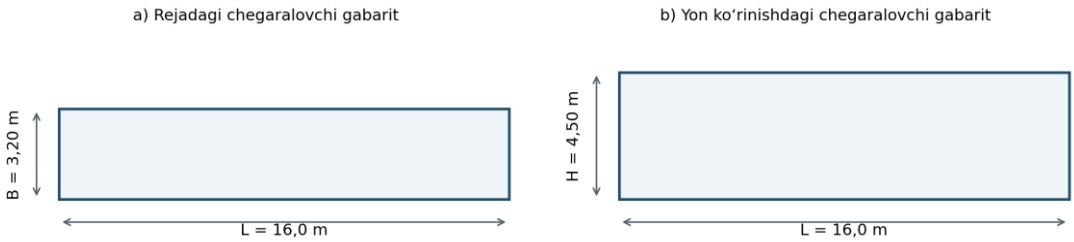
1-jadval

Purkash zonasining o‘lchamlari va ulardan hisoblangan geometrik ko‘rsatkichlar

Kattalik	Qayd etilgan qiymat	Talqin
Uzunlik L	16,0 m	Bo‘ylama qamrov
En B	3,20 m	Ko‘ndalang qamrov
Balandlik H	4,50 m	Vertikal qamrov
L/B	5,00	Geometrik uzunlik–en nisbati
L × B	51,2 m²	Chegaralovchi to‘rtburchakning hisobiy yuzasi

Uzunlik–en nisbati L/B = 5,00 bo‘lib, purkash zonasining bo‘ylama yo‘nalishda cho‘zilganini ko‘rsatadi. Eng katta uzunlik va en asosida hisoblangan L × B = 51,2 m² qiymat chegaralovchi to‘rtburchak yuzasidir. Ushbu geometrik ko‘rsatkich samarali chang tutish yuzasiga tenglashtirilmaydi, chunki purkash va zarracha taqsimoti zona bo‘ylab farqlanishi mumkin.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.45



1-rasm. Purkash zonasining uzunligi, eni va balandligi bo‘yicha chegaralovchi sxema

3.2. Zarracha ko‘rsatkichlarining mutlaq va nisbiy o‘zgarishi

2-jadval

Qurilma ishlashidan oldingi va keyingi zarracha ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Oldin	Keyin	Mutlaq kamayish	Nisbiy kamayish
PM2.5 AQI	63	33	30 indeks birligi	47,6%
PM10 AQI	15	6	9 indeks birligi	60,0%
PM10 konsentratsiyasi	29 µg/m³	16 µg/m³	13 µg/m³	44,8%

PM10 konsentratsiyasining nisbiy kamayishi quyidagicha hisoblandi:

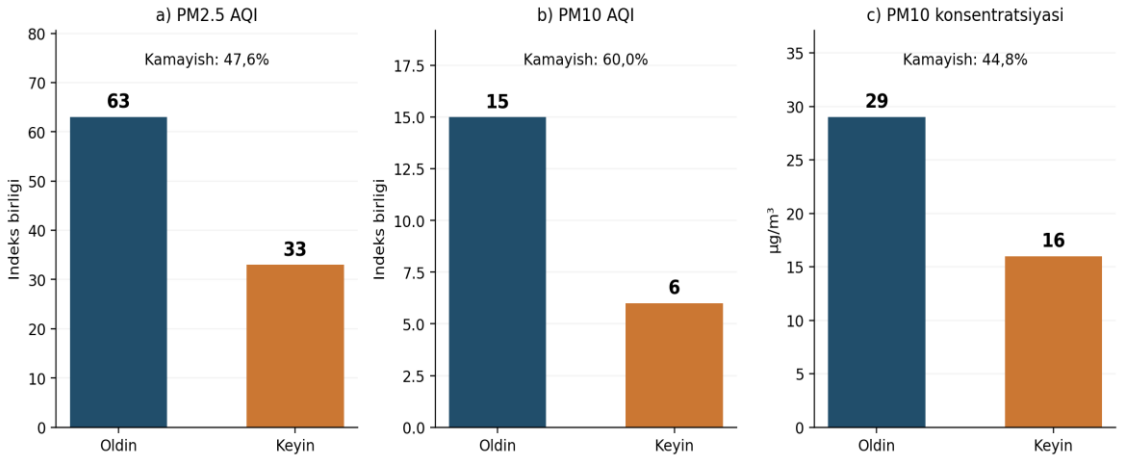
$$R_C = \frac{29 - 16}{29} \times 100\% = 44{,}8276\% \approx 44{,}8\% \quad (2)$$

Yakuniy PM10 konsentratsiyasi boshlang‘ich qiymatning 16/29 ≈ 0,552, ya’ni 55,2% ini tashkil etdi. Hisoblangan 44,8% kamayish kuzatuv nuqtasidagi oldingi–keyingi konsentratsiya farqidir. Oldingi–keyingi konsentratsiya kamayishi kirish–chiqish massaviy balansi orqali aniqlanadigan chang tutish samaradorligiga tenglashtirilmaydi.

AQI o‘zgarishlari alohida hisoblandi:

$$R_{AQI,PM2.5} = \frac{63 - 33}{63} \times 100\% \approx 47{,}6\% \quad (3)$$

$$R_{AQI,PM10} = \frac{15 - 6}{15} \times 100\% = 60{,}0\% \quad (4)$$



2-rasm. Qurilma ishlashidan oldingi va keyingi PM ko‘rsatkichlari: a) PM2.5 AQI; b) PM10 AQI; c) PM10 massaviy konsentratsiyasi

Natijalar muhokamasi

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.45

PM10 konsentratsiyasining pasayishi tomchilar bilan zarrachalarning to‘qnashishi, birikishi va cho‘kishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Tabiiy cho‘kish, havo almashinuvi va chang manbasining o‘zgarishi ham kuzatuv natijasiga ta’sir qiladi. Oldingi–keyingi taqqoslash bu ta’sirlarni alohida ajratmaydi; shu sababli qayd etilgan kamayish mazkur sinov sharoitidagi umumiy o‘zgarish sifatida baholandi.

PM10 massaviy konsentratsiyasi 13 µg/m³ ga, ya’ni 44,8% ga kamaydi; PM10 AQI kamayishi 60,0% ni tashkil etdi. Ikki ko‘rsatkichning foizlari turli kattaliklarga nisbatan hisoblangan: biri zarracha massasining hajmiy konsentratsiyasiga, ikkinchisi indeks qiymatiga tegishli. PM2.5 uchun qayd etilgan AQI o‘zgarishi 47,6% bo‘ldi.

Yomg‘irlatgich, suv tumani va tunnel tuman pardalari bo‘yicha ishlarda turli chang manbalari hamda purkash rejimlari qo‘llanilgan [3, 4, 5, 7, 8]. Shu sababli ulardagi foizlarni ushbu tadqiqot natijalari bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri solishtirish yetarli emas. Taqqoslashda boshlang‘ich konsentratsiya, havo oqimi, suv sarfi va sinov davomiyligini ham hisobga olish kerak.

Purkash zonasining 16,0 m gacha bo‘lgan uzunligi qurilmaning bo‘ylama qamrovini tavsiflaydi. En va balandlik bo‘yicha chegaralar esa suv tomchilarining fazoviy tarqalishini baholashga xizmat qiladi. Qamrov o‘lchamlarini zarracha ko‘rsatkichlari bilan birgalikda ko‘rib chiqish qurilmaning geometrik va ekologik natijalarini ajratib talqin qilish imkonini beradi.

Amaliy qo‘llanish va tadqiqotni rivojlantirish

Amaliy foydalanishda purkash qamrovi, suv iste’moli va zarracha konsentratsiyasi birgalikda baholanadi. Tadqiqotning keyingi bosqichi A, B va A+B rejimlarida bosim–sarf bog‘lanishini, turli kuzatuv nuqtalaridagi PM ko‘rsatkichlarini hamda takrorlar orasidagi tarqoqlikni aniqlashdan iborat. Mos nazorat sinovlari tabiiy cho‘kish va havo almashinuvi ta’sirini ajratishga xizmat qiladi.

Sinovlar davomiyligi 5–10 daqiqa oralig‘ida bo‘lganligi sababli keltirilgan natijalar kamayish tezligi sifatida emas, boshlang‘ich va yakuniy holatlar orasidagi farq sifatida ifodalandi. Takrorlar bo‘yicha vaqt qatorlari va mos nazorat sinovlari ushbu bahoning keyingi bosqichini tashkil etadi.

Hajm–vaqt o‘lchovida umumiy suv sarfi 0,976 l/min bo‘ldi. Bu ko‘rsatkich ikkala halqaning birgalikdagi suv iste’molini tavsiflaydi. Suv sarfi alohida sinovda o‘lchanganligi sababli PM konsentratsiyasi kamayishi suv hajmiga nisbatan normallashtirilmadi.

Xulosalar

1. Qayd etilgan eng katta purkash zonasi 16,0 m × 3,20 m × 4,50 m bo‘ldi. Uzunlik–en nisbati 5,00, chegaralovchi to‘rtburchak yuzasi 51,2 m² ni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar purkash qamrovining geometrik tavsifidir.

2. PM10 konsentratsiyasi 29 dan 16 µg/m³ ga kamaygan; mutlaq o‘zgarish 13 µg/m³, nisbiy o‘zgarish 44,8% ni tashkil etdi.

3. PM2.5 AQI va PM10 AQI mos ravishda 47,6% va 60,0% kamaygan. Bu foizlar indeks o‘zgarishini tavsiflaydi va massaviy tutish samaradorligiga tenglashtirilmaydi.

4. Tajriba TSI AirAssure va mahalliy datchiklar yordamida 10 marta takrorlandi; har bir takror taxminan 5–10 daqiqa davom etdi. Keltirilgan taqqoslash tavsifiy xususiyatga ega bo‘lib, statistik umumlashtirish yoki tabiiy cho‘kish ta’sirini ajratish natijasi sifatida talqin qilinmaydi.

5. Ikkala halqa birgalikda ishlaganda 2,2 bar bosimda 600 s davomida 9,76 l suv sarflandi. Hajm–vaqt usulida aniqlangan o‘rtacha umumiy sarf 0,976 l/min bo‘ldi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1 World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228/ (murojaat sanasi: 07.10.2026).

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.45

2 US Environmental Protection Agency. Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI). May 2026. https://www.airnow.gov/publications/air-quality-index/technical-assistance-document-for-reporting-the-daily-aqi/ (murojaat sanasi: 07.10.2026).

3 Lee YY, Yuan CS, Yen PH, Mutuku JK, Huang CE, Wu CC, et al. Suppression Efficiency for Dust from an Iron Ore Pile Using a Conventional Sprinkler and a Water Mist Generator. Aerosol Air Qual Res. 2022;22:210320. doi:10.4209/aaqr.210320.

4 Yen PH, Mutuku JK, Yuan CS, Chen WH, Wu CC, Li CS. Evaluation of wetting measures and capture efficiencies of fugitive dust emitted from a limestone pile: Experiments and artificial neural network. Process Saf Environ Prot. 2023;172:579–587. doi:10.1016/j.psep.2023.02.015.

5 Ham YB, Cheriyan D, Kim HU, Han JG, Kim YH, Priyanka PRJ, et al. Particulate matter reduction efficiency analysis of sprinkler system as targeted control measures for construction activity. Heliyon. 2024;10(7):e27765. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e27765.

6 TSI Incorporated. AirAssure and TSI Link Solutions: manufacturer technical information. https://tsi.com/getmedia/10e87d67-26c8-4b7d-8823-b1f047659fb4/Air-Assure-Tables_Website_Solutions_3 (murojaat sanasi: 07.10.2026).

7 Chen J, Zhi Y. Experimental study on the dust control performance of rotating fog curtain under the perturbation of long-pressure and short-pumping ventilation. Sci Rep. 2024;14:29844. doi:10.1038/s41598-024-81560-2.

8 Jing D, Kan Q, Dai M, Ma J, Bao C, Du P, et al. Research on an ultrafine water mist partition multistage dust suppression system in underground excavation tunnel. Sci Rep. 2025;15:14784. doi:10.1038/s41598-025-99689-z.