

**ИРРИГАЦИЯ ВА СУВ МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ  
ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.41/30.04.2021.Т.131.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИРРИГАЦИЯ ВА СУВ МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ  
ИНСТИТУТИ**

**ЭРНАЗАРОВ АЗИЗБЕК ИЛХОМЖОН ЎҒЛИ**

**ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИ ЭКИНЛАРИНИ ЭГАТЛАБ СУҒОРИШДА  
ТУПРОҚ НАМЛИГИНИ БОШҚАРИШНИНГ ГИДРАВЛИК  
УСУЛЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.09.07-Гидравлика ва муҳандислик гидрологияси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по  
техническим наукам**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on technical  
sciences**

<b>Эрназаров Азизбек Илхомжон ўғли</b> Қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ намлигини бошқаришнинг гидравлик усулларини такомиллаштириш.....	3
<b>Эрназаров Азизбек Илхомжон угли</b> Совершенствование гидравлических методов управления увлажнением почвы при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур.....	19
<b>Ernazarov Azizbek Ilkhomjon ugli</b> Improvement of hydraulic methods for managing of soil moisture during furrow irrigation of agricultural crops.....	35
<b>Эълон қилинган ишлар рўйхати</b> <b>Список опубликованных работ</b> <b>List of published works.....</b>	39

**ИРРИГАЦИЯ ВА СУВ МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ  
ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.41/30.04.2021.Т.131.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИРРИГАЦИЯ ВА СУВ МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ  
ИНСТИТУТИ**

**ЭРНАЗАРОВ АЗИЗБЕК ИЛХОМЖОН ЎҒЛИ**

**ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИ ЭКИНЛАРИНИ ЭГАТЛАБ СУҒОРИШДА  
ТУПРОҚ НАМЛИГИНИ БОШҚАРИШНИНГ ГИДРАВЛИК  
УСУЛЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.09.07-Гидравлика ва муҳандислик гидрологияси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2021**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертация мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси хузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.4.PhD/T1491 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ирригация ва сув муаммолари илмий-тадқиқот институтида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида ([www.ismiti.uz](http://www.ismiti.uz)) ва "ZiyoNet" ахборот-таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** **Хамраев Шавкат Рахимович**  
кишлоқ хўжалиги фанлари номзоди, катта илмий ходим

**Расмий оппонентлар:** **Фатхуллаев Алишер Мирзотиллаевич**  
техника фанлари доктори, доцент

**Латипов Шохбоз Алишер ўғли**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

**Етакчи ташкилот:** **Ўзбекистон Миллий университети**

Диссертация ҳимояси Ирригация ва сув муаммолари илмий-тадқиқот институти хузуридаги Илмий даражалар берувчи DSc. 41/30.04.2021 Т. 131.01 рақамли илмий кенгашнинг «12» 11 2021 йил соат 14<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 100187, Тошкент, Қорасув-4 мавзеси, 11 уй. Тел.: (99) 434-43-28, e-mail: [ismiti@minwater.uz](mailto:ismiti@minwater.uz)).

Диссертация билан Ирригация ва сув муаммолари илмий-тадқиқот институти кутубхонасида танишиш мумкин (1 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100187, Тошкент, Қорасув-4 мавзеси, 11 уй. Тел.: (99) 434-43-28).

Диссертация автореферати 2021 йил «19» 10 куни тарқатилди.  
(2021 йил «19» 10 даги 1 рақамли реестр баённомаси).



**М.Р. Искрамова**

Илмий даражалар берувчи  
и.ф.т.д., профессор

**У.А. Садиев**

Илмий даражалар берувчи  
и.ф.т.д., кенгаш илмий котиби, PhD

**М.Р. Искрамова**

Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш хузуридаги илмий семинар раиси,  
т.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳоннинг қирғоқчилик минтақаларида қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғориш усулини қўллаш етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. “Дунё миқёсида 280,0 млн.гектардан ортиқ суғориладиган майдонларнинг 75 фоизида эгат усулида суғоришни ҳисобга олсак”<sup>1</sup>, эгатлаб суғоришда тупроқ намлигини бошқаришнинг такомиллаштирилган гидравлик усуллари амалиётга жорий этиш муҳим аҳамият касб этади. Шу жиҳатдан қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намликни бошқариш технологияларидан фойдаланиш муҳим аҳамиятга эга.

Жаҳонда тупроқ-грунтнинг турли хоссалари ҳамда суғоришнинг ҳар хил тартибларида эгат бўйича сув оқимининг гидравлик параметрларини ва тупроқ-грунтнинг инфильтрация хусусиятларини тадқиқ қилишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, ер усти ва грунт сувларининг ўзаро туташган оқимларидаги намлик кўчишда ўзаро туташ оқимларнинг соддалаштирилган гидравлик усуллари асосида моделлаштириш, турли ташкил этувчи сув оқимлари ўртасидаги масса алмашинув жараёнини ҳисобга олувчи, ер усти ва сизот сувларининг ўзаро туташган ҳаракатидаги масса кўчиш моделлари ҳамда тупроқ намланиш соҳасини ўзгаришини бошқаришга доир илмий-техника масалаларига алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда сув ресурсларини тежайдиган ресурстежамкор техника ва технологияларни ишлаб чиқиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, бу борада муайян натижаларга эришилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан “... энг аввало, сув ва ресурсларни тежайдиган замонавий агротехнологияларни жорий этиш, унумдорлиги юқори бўлган қишлоқ хўжалиги техникасидан фойдаланиш”<sup>2</sup> бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан, қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳаси ҳолатини бошқаришнинг инновацион технологияларини ишлаб чиқиш ва гидравлик ҳисоблаш усуллари такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 10 июлдаги ПФ-6024-сон “Ўзбекистон Республикаси сув хўжалигини ривожлантиришнинг 2020-2030 йилларга мўлжалланган концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 9 октябрдаги ПҚ-4486-сон “Сув ресурсларини бошқариш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги,

<sup>1</sup><http://www.cawater-info.net> >

<sup>2</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7-февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони.

2019 йил 25 октябрдаги ПҚ-4499-сон “Қишлоқ хўжалигида сув тежовчи технологияларни жорий этишни рағбатлантириш механизмларини кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Диссертация иши бўйича тадқиқотлар фан ва технологиялар ривожланишининг V. “Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф муҳит муҳофазаси” устувор йўналишига мос келади.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Ҳозирги вақтда филтрация масалалари ечимига қаратилган бир қатор тадқиқотлар маълум. Жумладан, Бочевера Ф.М., Денисов Ю.М., Полубаринова-Кочина П.Я., Шестаков В.М. ва бошқа муаллифлар ишларида сизот сувларининг филтрация масалаларини ечиш усуллари такомиллаштирилган. Шу билан бир қаторда, Атавин А.А., Баклановский В.Ф., Воеводин А.Ф., Васильев О.Ф., Кучмент Л.С ва бошқа тадқиқотчилар томонидан Сен-Венан тенгламалари ва унинг турли тадбиқларига асосланган беқарор сув оқими ҳаракати моделлари яхши ўрганилган. Ушбу тадқиқотларда кўрилган усуллар каналларда сув сарфи, филтрация ва бошқа сув йўқотилишларига нисбатан катта бўлган ҳолатларда ўринли бўлади.

Антонцев С.Н., Злотник В.А., Мейрманов А.М., Усенко В.С., Cunningham A.V., Zhang Z. F., Ward A. L., Gee G. W. ва бошқалар каби олимларнинг ишлари очиқ ўзанлар гидравликаси ва филтрация тенгламалари тизимини туташтиришни ҳисобга олган ҳолда ер усти ва ер ости сувларининг ўзаро ҳаракати моделларини ишлаб чиқишга бағишланган. Я. Бэр, О.Ф.Васильев, Д.Заславский, С.Ирмей, Miles J.C., Rushton K.R. ва бошқа муаллифлар ўзан ва филтрациянинг ўзаро боғлиқ жараёнларини ҳисобга олувчи умумий гидродинамик моделларни ишлаб чиқиш йўналишлари бўйича шуғулланишган.

Ҳозирги вақтда, қишлоқ хўжалиги экинларини, айниқса ғўзани суғоришнинг кенг тарқалган усули эгатлаб суғориш ҳисобланади. Қишлоқ хўжалиги экинларини етиштиришда сувни тежайдиган, яъни томчилатиб, ёмғирлатиб, тупроқ остидан ва бошқа усулларга ўтиш билан бир қаторда Ўзбекистон Республикаси ва бошқа пахта хом ашёсини етиштирувчи мамлакатларда ғўзани суғоришда эгатлаб суғориш усуллари ўз имкониятларини сақлаб қолмоқда. Шу билан бир қаторда, WUFMAS таҳлилларига кўра, сув йўқотилишлари, далада эгатлаб суғоришда сув манбасига нисбатан 42%, сув манбаидан 1 га суғориладиган майдондаги солиштирма сув олиш ҳажмига нисбатан 15% ни ташкил этади. Бундай ҳажмдаги беҳуда сув сарфларини шаклланиши, эгатлар бўйича беқарор сув ҳаракати ва эгатлаб суғориш натижасида тупроқ қатламини намланиш динамикаси жараёнларини асослаш бўйича тадқиқотлар етарлича ўтказилмаганлигини кўрсатмоқда.

**Тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация иши Ирригация ва сув муаммолари илмий-тадқиқот институти илмий-тадқиқотлари режасининг ВА-ҚХФ-5-003 “Қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиши жараёнлари динамикаси қонуниятлари” фундаментал лойиҳаси ҳамда ИЗ-2020052525

“Сирдарё вилоятининг табиий офат юз берган суғориладиган майдонларида автоматлаштирилган-рақамли технологияларга асосланган “дала-суғориш технологияси-суғориш тизими” Smart технологиясини ишлаб чиқиш” инновация лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** кишлок хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳаси ҳолати динамикасини бошқаришнинг гидравлик усулларини такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқот вазифалари:**

ер усти ва сизот сувларининг ўзаро туташ оқимларида масса кўчиш масалаларининг гидродинамик таҳлили, беқарор сув ҳаракати масалаларига бағишланган тадқиқотларининг ретроспектив таҳлили;

тадқиқот даласининг мелиоратив ҳолатини ҳамда ностационар ғадир-будурликка эга эгатдаги сув оқимининг гидравлик параметрларини аниқлаш бўйича дала ва лаборатория тадқиқотларини амалга ошириш;

Сен-Венан тенгламалари асосида эгат тубидаги ишқаланиш кучларини ҳисобга олган ҳолда эгат бўйича оқим чуқурлиги динамикасининг гидравлик моделини ишлаб чиқиш;

ностационар тубли эгат бўйича беқарор сув ҳаракатининг стохастик моделини ишлаб чиқиш;

ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намлик динамикасини бошқаришнинг гидравлик моделини ишлаб чиқиш;

ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳаси ҳолатини бошқариш бўйича ускуна ва компьютер дастурини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқот объекти** сифатида гидравлик ўзаро туташ суғориш майдони ва тупроқ-грунт намланиш соҳаси, мелиоратив кузатув қудуқларидаги гидродинамик жараёнлар ҳамда рақамли тензиоетрик ускунани яратиш олинган.

**Тадқиқот предмети** ғўза эгатларидаги беқарор сув оқими ҳаракати, эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасида содир бўлаётган гидродинамик жараёнлар ҳамда суғориладиган майдоннинг мелиоратив ҳолати тўғрисида маълумотларни йиғиш, таҳлил қилиш ва узатувчи тензиоетрик қурилма учун компьютер дастурини ишлаб чиқиш ташкил этади.

**Тадқиқот усуллари.** Беқарор сув ҳаракатини моделлаштириш ва сонли экспериментини амалга ошириш учун экспериментал ва дала кузатувлари, гидравликада умумқабул қилинган усуллар, гидромеханика қонунлари асосида математик ва гидравлик моделларни ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

Сен-Венан тенгламалари асосида эгат тубидаги ишқаланиш кучларини ҳисобга олган ҳолда эгат бўйича оқим чуқурлиги динамикасининг гидравлик модели ишлаб чиқилган;

Сен-Венан тенгламалари ҳамда стохастик назария усуллари асосида ностационар ғадир-будур эгат бўйича беқарор сув ҳаракатининг стохастик модели ишлаб чиқилган;

эгатдаги ишқаланиш кучларини ҳисобга олган ҳолда эгат бўйича оқим тезлиги динамикасининг тенгламаси асосида ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намлик динамикасини бошқаришнинг гидравлик модели ишлаб чиқилган;

қишлоқ хўжалиги экинларини суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намликни ўлчаш, агрометриоратив параметрлар бўйича маълумотларни йиғиш ва масофадан узатиш ускунаси ҳамда компьютер дастури ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

дисперсия параметрларини аниқлашнинг такомиллаштирилган услублари бўйича тадқиқот майдонининг сув-туз баланси ҳисоби амалга оширилган. Бунда, такомиллаштирилган услуб, мавжуд услублар билан бир хил аниқлик даражасига эга бўлган ҳолда ҳисоблаш ишларини соддалаштириш имкониятини беради. Натижаларни таққослаш ҳатолиги 0,3 фоизни ташкил этади.

Қарши метеостанцияси маълумотларидан фойдаланиб Monthly ET<sub>0</sub> Penman-Montecito компьютер дастури асосида тадқиқот даласидаги ўсимлик қатламидан бўлган эвапотранспирация потенциали аниқланган.

Ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳаси ҳолатини бошқариш бўйича ускуна ва компьютер дастури ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ғўза эгатлари бўйлаб беқарор сув ҳаракатининг гидравлик усуллари такомиллаштирилганлиги, эгат тубининг маҳаллий турли ностационарлигини ифодаловчи кубик сплайн функция кўринишидаги шартлар асосида ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намлик динамикасини бошқаришнинг гидравлик модели ишлаб чиқилганлиги, олинган назарий натижаларни дала ва лаборатория тадқиқот натижалари билан таққослаб текширилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ностационар тубга эга эгат бўйлаб сув оқимининг беқарор ҳаракатининг ва ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги инфильтрация оқими параметрлари динамикасини бошқаришнинг гидравлик моделлари такомиллаштирилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти, ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳаси ҳолатини бошқариш бўйича ускуна ва компьютер дастури ишлаб чиқилганлиги ҳамда суғориладиган майдонларни сув-туз балансини ҳисоблаш учун дисперсия параметрларини аниқлашнинг услублари такомиллаштирилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намлик динамикасини бошқаришнинг гидравлик усулларини такомиллаштириш асосида:

эгат тубининг маҳаллий ностационарлигини ифодаловчи кубик сплайн функция кўринишидаги шартлар асосида ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намлик динамикасини бошқаришнинг



гидравлик модели такомиллаштирилган. Ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳаси ҳолатини бошқариш бўйича ишлаб чиқилган ускуна ва компьютер дастури Аму-Қашқадарё ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси фаолиятига тадбиқ этилди (Сув хўжалиги вазирлигининг 2021 йил 24 августдаги 03/27-2447 рақамли маълумотномаси). Натижада, такомиллаштирилган услуб суғориладиган майдонларнинг сув-туз баланси ҳисоби учун дисперсия параметрларини аниқлаш имконини яратади;

Ўсимлик қатламидан бўладиган эвапотранспирация потенциалини аниқлашнинг ишлаб чиқилган компьютер дастури Аму-Қашқадарё ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси фаолиятига тадбиқ этилди (Сув хўжалиги вазирлигининг 2021 йил 24 августдаги 03/27-2447 рақамли маълумотномаси). Ишнинг асосий натижалари 2017-2020 йилларда амалга оширилган ВА-ҚХФ-5-003 “Қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиши жараёнлари динамикаси қонуниятлари” фундаментал лойиҳаси доирасида синалган ва тавсия этилган;

ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳаси ҳолатини бошқариш бўйича ускуна ва компьютер дастури Қуйи-Сирдарё ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси фаолиятига тадбиқ этилди (Сув хўжалиги вазирлигининг 2021 йил 24 августдаги 03/27-2447 рақамли маълумотномаси).

Қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намлик динамикасини бошқаришнинг такомиллаштирилган гидравлик усулларини жорий қилиниши натижасида 5-6 фоизга қадар суғориш суви иқтисод қилинишига эришилди.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари халқаро, республика миқёсидаги анжуманларда ва институт илмий кенгашида муҳокама қилинган ва маъқулланган, шу жумладан 2 та халқаро ва 3 та Республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича 22 та илмий ишлар чоп этилган. Шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрлардаги, жумладан 11 таси Республика ва 1 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация иши кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 114 бетни ташкил қилади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, тадқиқот объекти ва предмети тўғрисида маълумотлар келтириб ўтилган. Бажарилган тадқиқотларнинг Республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалар баён этилган. Олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти

ёритиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Ер усти ва сизот сувларининг ўзаро туташ оқимларида масса кўчиш масалаларига бағишланган тадқиқотларининг ретроспектив таҳлили”** деб номланган биринчи бобида мазкур масалага яқин ишлар таҳлили келтирилган. Очiq ўзан жараёнларининг гидравлик ва имитация моделларини ривожлантиришга О.Ф. Васильев, Н.Е. Вольцингер, Р.В. Пясковский, В.М. Лятхер, М.Т. Гладышев, К.В. Гришанин, И.А. Шеренков, А.Н. Милитеев, Д.Р. Базаров, Дж. Стокер, М. Эббот, Ж. Кюнж каби олимлар катта ҳисса қўшишган.

Алоҳида қайд қилиш керакки, А.Ю. Семенов ва С.С. Маханов ишларида беқарор сув ҳаракати оқимининг тенгламалари учун “манфий бўлмаган” алгоритмларни яратиш бўйича масалалар ўрганилган. Адаптив эгри чизиқли турларда сув омборларидаги ва қўллардаги сув оқимини ҳисоблаш ишлари амалга оширилган.

Бир қатор модель ва алгоритмлар В.В. Беликов ва А.Н. Милитеевлар томонидан ишлаб чиқилган бўлиб, улар томонидан беқарор сув ҳаракатининг бир ва икки ўлчовли моделларини умумлаштирувчи, “ўзан-ўзан туби” икки қатламли оқимларнинг математик моделлари таклиф этилган. Реал шароитларда сув тошқинларини ҳисоблашда ушбу моделларнинг апробацияси, уларнинг юқори самарадорлиги ва катта амалий аҳамиятга эга эканлигини кўрсатди.

Антонцев С.Н., Вольцингер Н.Е., Шестаков В.М., Пашковский И.С., Сойфер А.М. ва бошқалар ишларида ер усти ва сизот сувларининг туташ масалаларида математик моделлар ва сонли усуллар ишлаб чиқилган. Ер усти ва ер ости сувларининг туташ ҳаракатларининг Ричардс, Буссинеск ва Сен-Венан тенгламаларига асосланган математик моделлари яхши ўрганилган.

Ер усти ва ер ости сувларининг туташ ҳаракатлари моделлари Ричардс, Буссинеск ва Сен-Венан тенгламаларига асосланади. Яъни, тупроқ-грунтнинг тўлиқ бўлмаган тўйиниш соҳасидаги вертикал инфилтрацияни ифодалаш учун бир ўлчовли Ричардс тенгламаси, грунт сувлари сатҳи динамикаси учун Буссинеск ва очiq ўзанлардаги беқарор сув ҳаракати учун Сен-Венан тенгламалари қўлланилади.

Тўлиқ ва чала тўйиниш соҳаларида ер ости сувлари ҳаракатининг фазовий моделлари ва очiq ўзанлардаги оқимнинг бир ўлчовли моделлари Антонцев С.Н., Мейрманов А.М. ишларида ўрганилган, улар томонидан сизот сувлари оқими билан ўзаро таъсирда ер усти сувларини шаклланиш жараёнларини баҳолаш ишлари бажарилган. Бироқ, амалиёт шуни кўрсатдики, аниқ ҳисоблаш усуллари мавжуд бўлмаганлиги сабабли тупроқ-грунтлардаги намлик динамикасининг уч ўлчовли тенгламалари кам қўлланилмоқда.

Диссертация доирасида бажарилган таҳлилларга кўра, Ричардс, Буссинеск ва Сен-Венан тенгламалари асосида гидродинамик моделлар ва уларни сонли экспериментларини амалга оширишнинг самарали механизмлари ишлаб чиқилган. Бироқ, ўзаро туташ ностационар тубга эга эгат бўйлаб беқарор сув ҳаракати ҳамда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги инфилтрация оқимлари-

нинг гидравлик моделларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ илмий-техника масалалари етарлича ўрганилмаган.

Диссертациянинг “Тадқиқот даласининг мелиоратив ҳолатини ва ностационар тубга эга эгатдаги сув оқимининг гидравлик параметрларини тадқиқ қилиш” деб номланган иккинчи бобида тадқиқот даласининг тупроқ-мелиоратив шартларини аниқлаш бўйича тадқиқотлар амалга оширилган. Monthly ET<sub>0</sub> Penman-Montecito компьютер дастури ёрдамида ўсимлик қатламидан бўлаётган эвапотранспирация йиғиндиси аниқланган. Ғўза эгатларидаги сув оқимининг гидравлик параметрлари экспериментал йўл орқали топилган. Жумладан, тадқиқот майдонинг сув-туз баланси ҳисоби бажарилган, бошланғич маълумотлар сифатида тензиомерик ускунада бажарилган дала тадқиқотлари натижалари қабул қилинган.

а) Транспирацияни эътиборга олмаган ҳолдаги сув балансини ташкил этувчилари:

-ёғинлар:  $v_n = 170,2$  мм/йилига =  $466,301 \cdot 10^{-4}$  м/сут;

-буғланиш:  $w_p = 232,8$  мм/йилига =  $637,808 \cdot 10^{-4}$  м/сут.

У ҳолда тезлик учун қуйидаги қийматга эга бўлинади:

$$V = w_p/v_n = 1,3678;$$

б) қирқим бўйича тузларни тақсимланиши:

-суғориш сувидаги тузлар концентрацияси:  $C_{\text{суғ.т.к.}} = 2$  г/л;

-сизот сувларидаги тузлар концентрацияси:  $C_{\text{сиз.т.к.}} = 16$  г/л;

-тупроқ юзасидаги тузлар қиймати:  $C(0) = 328$  г/л;

-тупроқ қатламидаги тузларнинг ўртача концентрацияси:  $S(l) = 108$  г/л.

в) сизот сувлари чуқурлиги:  $l = 2,14$  м.

Пекле параметри қиймати:  $Pe = 5,114$

Юқоридаги бошланғич маълумотлар асосида дисперсия ва диффузия коэффициентлари қийматлари қуйидаги формулалар орқали ҳисобланди:

$$\lambda_{\text{мавжуд}} = \frac{w_p l}{2Pe(w_p - v_n)} = \frac{498,1920}{640,2978} = 0,7781\text{м};$$

$$D_a = \lambda(w_p - v_n) = 0,778 \cdot 1,715 \cdot 10^{-4} = 1,3343 \cdot 10^{-4}\text{м}^2/\text{сут}$$

Кейинги ҳисоб-китоблар  $S(l)$  ва  $\omega$  ларнинг маълум қийматларида  $\eta$  ни танлаш усули орқали бажарилди:

$$\bar{S}(l) = \frac{S(l)}{C_{\text{сиз.т.к.}}} = \frac{108}{16} = 6,75; \bar{C}_n = \frac{C_{\text{суғ.т.к.}}}{C_{\text{сиз.т.к.}}} = \frac{2}{16} = 0,125;$$

$$\bar{V} = \frac{w_p}{v_n} = \frac{232,8}{170,2} = 1,3678 > 1$$

$$\omega = \frac{\bar{C}_n}{\bar{V} - 1} = \frac{0,125}{0,3678} = 0,3399; \psi_{\text{экс}} = \frac{\bar{S}(l) + \omega}{1 + \omega} = \frac{6,75 + 0,3399}{1 + 0,3399} = 5,2914$$

$w_p/v_n = 1,3678 > 1$  ни эътиборга олиб,  $\psi_{\text{экс}} = 5,2914$  қиймати,  $f_1(\eta) = (y^\eta - 1)/\eta$  тенглама ва танлаш усули бўйича  $\eta^* = 2,7411$  қиймат топилди, ундан кейин эса  $\lambda_{\text{таклиф.этилган}}$  параметр ва  $D_a$  конвектив диффузия коэффициентлари аниқланди:

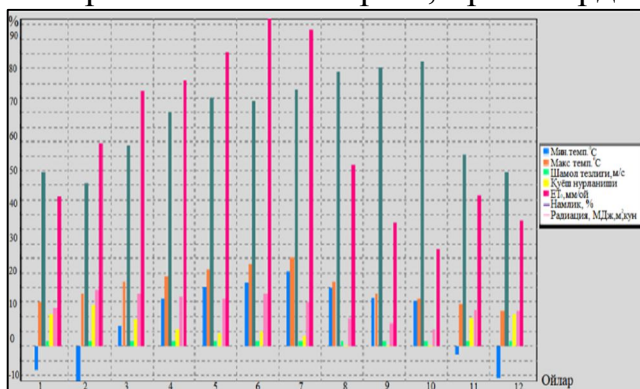
$$\lambda_{\text{таклиф.этилган}} = \frac{l}{\eta} = \frac{2,14}{2,7411} = 0,7807 \text{ м};$$

$$D_a = \lambda(w_p - v_n) = 0,7807 \cdot 1,715 \cdot 10^{-4} = 1,3389 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сут}$$

мавжуд ва таклиф этилган формулалар ёрдамида  $\lambda$  дисперсия параметри қийматларини таққослаш шуни кўрсатдики,  $\lambda_{\text{таклиф.этилган}}$  қийматлари мавжуд ҳисоблаш услуби билан бир хил аниқлик даражасига эга бўлиб,  $\lambda$  ни ҳисоблаш услубини анча соддалаштиради. Ўртача нисбий хатолик қуйидагича:

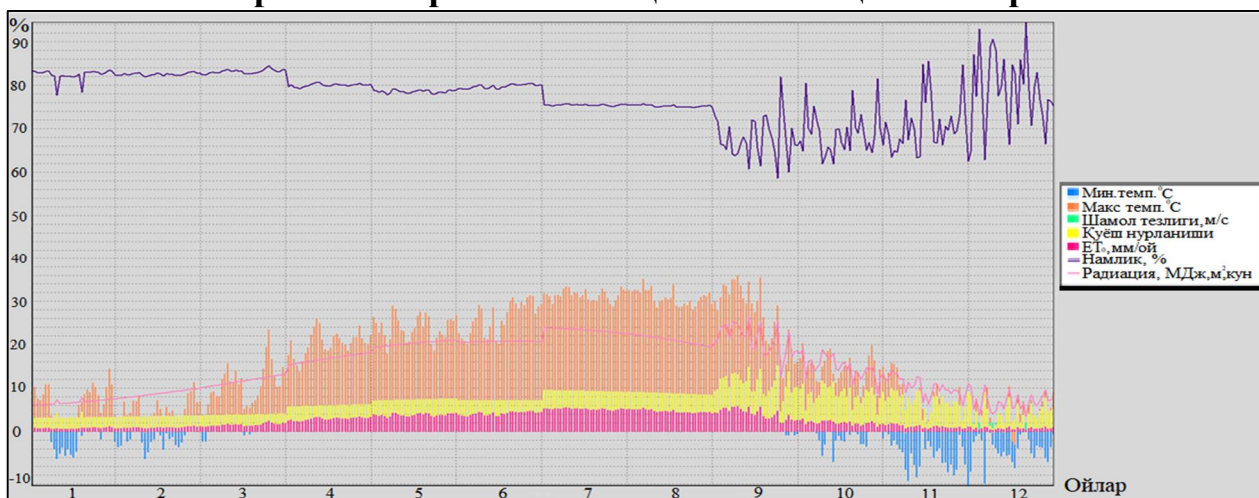
$$\lambda_{\text{мавжуд}} = 0,7781 \text{ м}; \lambda_{\text{таклиф.этилган}} = 0,7807 \text{ м} \Rightarrow \Delta = \left| \frac{0,7781 - 0,7807}{0,7807} \right| \cdot 100\% = 0,33\%$$

Тадқиқот даласидаги ўсимлик қатламидан бўладиган эвапотранспирация йиғиндисини аниқлаш учун тадқиқот объектдан 5,6 км узоқликда жойлашган Қарши метеостанцияси маълумотларидан фойдаланилди. Monthly ETo Penman-Monteith компьютер дастури ва Қарши метеостанцияси маълумотлари асосида потенциал эвапотранспирация параметрлари аниқланди. Ҳаво ҳароратининг min ва max қийматларини дастурга киритиш орқали шамол тезлиги, қуёш радиацияси ҳамда бошқа иқлимий ва агрометеорологик параметрлар аниқланди. Ушбу параметрлар қийматлари асосида потенциал эвапотранспирация ва корректив коэффиенти қийматлари топилди. Эксперимент натижалари 1,2-расмларда келтирилган.



Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind m/s	Sun hours	Rad MJ/m²/day	ETo mm/month
January	-8.4	15.0	60	2.0	10.7	12.9	51.14
February	-12.5	18.0	56	2.0	13.8	19.1	69.42
March	6.9	22.0	69	2.0	9.1	17.9	87.32
April	15.9	24.0	80	2.0	5.8	16.6	91.32
May	20.1	26.0	85	2.0	4.4	16.2	100.70
June	21.6	28.0	84	2.0	5.2	17.9	111.97
July	25.3	30.0	88	2.0	3.5	15.1	108.45
August	19.8	22.0	94	2.0	0.1	9.2	62.08
September	16.4	18.0	95	2.0	0.0	7.6	42.24
October	15.2	16.0	98	2.0	0.0	5.7	33.16
November	-3.1	14.0	85	2.0	9.3	12.3	51.45
December	-11.2	12.0	59	2.0	10.8	12.0	42.84
Average	8.8	20.4	78	2.0	6.1	13.5	852.11

**1-расм. Ҳаво ҳарорати (минимал вамаксимал), намлик, шамол тезлиги, қуёш радиацияси ва 2019 йилда Қарши метеостанциясида кузатишган парланишларнинг потенциал ойлик қийматлари**



**2-расм. Ўсимлик қатламидан бўлган потенциал эвапотранспирация графиги**

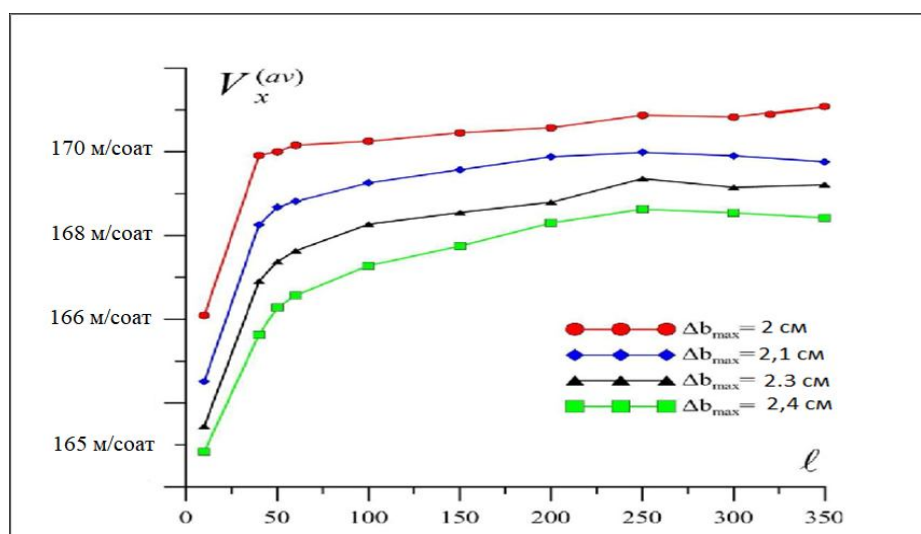
Сув сарфининг турли сценарияларида эгатнинг характеристикалари ва ундаги сув оқимининг асосий гидравлик (сув сарфи, ғадур-будурлик, гидравлик қаршилиқ ва Шези коэффициентлари, Фруд ва Рейнольдс сонлари) параметрларини аниқлаш бўйича экспериментал тадқиқотлар амалга оширилди. Эгатда сув сарфини ўлчаш тартиби тезлик-юза усули бўйича амалга оширилди. Ўлчов ишлари ҳисоблаш створларида Томсон водосливи ёрдамида бажарилди. Ҳар бир створда сув оқимининг ўртача тезлиги, оқим чуқурлиги ва гидравлик нишаблиқ ўлчанди. Эксперимент натижалари 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Тажриба даласида ғўза эгатлари бўйича сув оқимининг гидравлик параметрларини аниқлаш бўйича экспериментал тадқиқотлар натижалари (ўртача арифметик қийматлар)

$l, \text{ м}$	$Q, \text{ л/с}$	$h, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$\chi, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$v, \text{ м/с}$	$n$	$\lambda$	$Fr$	$Re$
100	0,57	0,12	0,017	0,16	0.032	0,046	0,06	0,397	0,0019	2,17

$l$ ,  $\Delta b_{max}$ ,  $n_M$  ларнинг турли қийматларида, эгатнинг ғадур-будурлиги рельефи хусусиятларини аниқлаш учун бир қатор дала тадқиқотлари бажарилди. Эксперимент натижалари эгат туби ғадур-будурлиги параметрлари ҳамда Маннинг коэффициенти ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш имконини берди. Ғадир-будурлик  $n_M$  ни ортиши билан эгатнинг  $b_0(x, y)$  ностационарлиги учун тезликнинг узунлик бўйича ташкил этувчи компонентининг  $U_x^{(av)}(y)$  қийматлари камайиши кузатилди. Шундай қилиб, эгат туби ғадир-будурлиги учун ҳар доим Маннинг коэффициентини мос қийматини танлаш мумкин бўлади. Эгат туби ностационарлигининг  $\Delta b_{max}$  максимал амплитудасини ортиши билан  $n_M$  нинг мос қийматини монотон ўсишига олиб келиб,  $\Delta b_{max}$  параметрни ортиши билан сув оқими ҳаракати секинлашади (3-расм).



3-расм. Эгат узунлиги бўйлаб туб ностационарлигининг  $\Delta b_{max}$  максимал амплитудаларида оқимнинг максимал тезлиги ўртасидаги боғлиқлик графиги

Эгат тубининг кичик масштабли ностационарликлари, сув оқими ҳаракатига энг кичик секинлашиш эффектини ҳосил қилади. Эгат параметрларининг диапазонларида:  $l \leq 100\text{м}$  ва  $\Delta b_{max}$ , Маннинг коэффиценти қийматлари 0,02 дан ошмайди.

Диссертациянинг “Қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги инфильтрация оқими динамикасининг гидравлик модели” деб номланган учинчи бобида ностационар тубга эга эгат бўйлаб сув оқимининг беқарор ҳаракатини моделлаштиришда, эгатнинг тубида вужудга келадиган ишқаланиш кучларини эътиборга олган ҳолда Сен-Венан тенгламалар тизими асосида бир ўлчовли модель қўлланилди:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial(uq)}{\partial x} = -gl \frac{\partial(h+\Lambda(x))}{\partial x} - \frac{\lambda}{2} V_0^2 \quad (2)$$

бу ерда:  $h$  - эгатдаги оқим чуқурлиги,  $q$  - солиштирма сув сарфи,  $u$  - оқимнинг маҳаллий тезлиги,  $g$  - эркин тушиш тезланиши,  $\Lambda(x)$  - эгат туби рельефи функцияси,  $\lambda$  - гидравлик қаршилик коэффиценти,  $V_0$  - эгатдаги сув оқимининг ўртача тезлиги.

Эгат туби рельефи функциясини қуйидаги кўринишда белгилаб олинди:

$$\Lambda(x) = \sin(\alpha) \exp(x) + \exp(\hat{\Lambda}(x)) \quad (3)$$

бу ерда:  $\alpha$  - белгиланган йўналишда нотекис ҳаракатга келтирувчи эгат туби рельефи нишаблигининг ўртача бурчаги,  $\hat{\Lambda}(x)$  - эгат тубининг маҳаллий ностационарлиги.

Эгат тубининг маҳаллий ностационарлигини қуйидаги аналитик кубли сплайн функция кўринишидаги шартлар орқали ифодаланди:

$$\hat{\Lambda}(x) = \Lambda_0 \begin{cases} Fr < 1 \text{ да } 1 - 6Fr^2(1 - Fr) \\ Fr > 1 \text{ да } 2(1 - Fr)^3 \end{cases} \quad (4)$$

Масала шартига асосан (1) ва (2) тенгламаларни интеграллаш учун қуйидаги бошланғич ва чегаравий шартлар тузиб олинди:

$$\left. \frac{\partial q}{\partial t} \right|_{t=0} = -gl \frac{\partial h}{\partial x} \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=L} = Re \frac{g}{V_0} \frac{\partial h}{\partial x} \quad (6)$$

(1), (5) ва (6) ларни эътиборга олган ҳолда (2) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$u \frac{\partial h}{\partial t} - Re \frac{g}{V_0} q \frac{\partial h}{\partial x} = gl \frac{\partial \Lambda(x)}{\partial x} + \frac{\lambda}{2} V_0^2 \quad (7)$$

Детерминирли тенгламалар орқали эгат туби ғадир-будурлиги параметрлари динамикасини башоратлаш мураккаб масала ҳисобланади. Шу сабабли стохастик тизимлар усулларидан фойдаланиш яхши самара беради. Юқоридагиларни эътиборга олган ҳолда (7) тенгламани стохастик ҳадлари қуйидагича белгилаб олинди:

$$f = gl \frac{\partial \Lambda(x)}{\partial x} + \frac{\lambda}{2} V_0^2 \quad (8)$$

У ҳолда

$$u \frac{\partial h}{\partial t} - Re \frac{g}{v_0} q \frac{\partial h}{\partial x} = f \quad (9)$$

(9) тенгламани ечиш учун стохастик тизимлар усулларидан фойдаланилди. Ушбу усулни қулайлиги шундаки, тенглама параметрлари хусусий хосилавий дифференциал тенгламалардаги каби аниқланади.

Қўйидаги операторлар киритилди:  $\frac{\partial h}{\partial t} = L_t h$  ва  $\frac{\partial h}{\partial x} = L_x h$ .

У ҳолда (9) тенглама қўйидаги кўринишга келади:

$$u L_t h - Re \frac{g}{v_0} q L_x h = f \quad (10)$$

Шундай қилиб, Сен-Венан тенгламалар тизими асосида ностационар тубга эга эгат бўйича бекарор сув ҳаракатининг стохастик дифференциал тенгламаси (10) ишлаб чиқилди. Тегишли математик амаллардан кейин (10) тенглама ечимига эга бўлдик:

$$\langle h \rangle = h_1 + Re \cdot \frac{g}{v_0} \cdot u^{-1} \cdot q \cdot \lambda \cdot G(t, \tau) \cdot \exp(\lambda x) \quad (11)$$

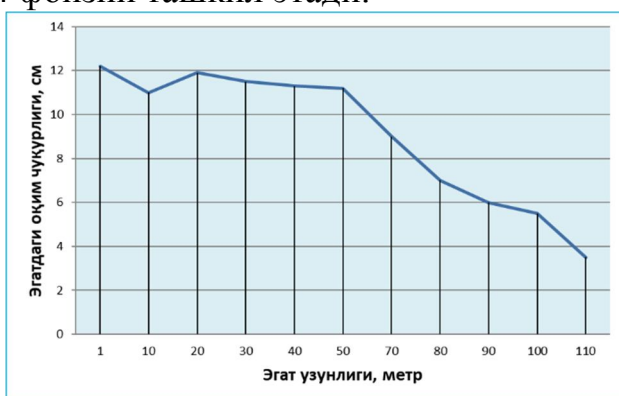
бу ерда:  $G(t, \tau) = \frac{t}{2\pi} [\ln \sqrt{(t - \tau)^2} - \ln \sqrt{(t + \tau)^2}]$  - Грин функцияси.

Натижада, ностационар тубга эга эгат бўйича оқим чуқурлиги қийматларининг математик кутилмаси учун (11) тенглама олинди.

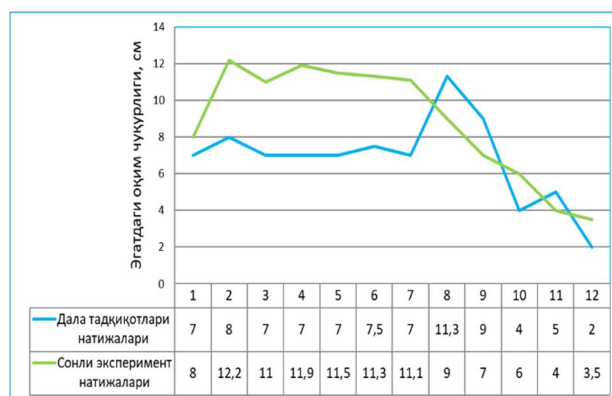
(11) тенгламадан эгат тубида вужудга келадиган ишқаланиш кучларини ҳисобга олган ҳолда эгат бўйлаб сув оқими тезлигини аниқлаш ифодаси топилди:

$$u = Re \frac{g}{[\langle h \rangle - h_1] v_0} \cdot q \cdot \lambda \cdot G(t, \tau) \cdot \exp(\lambda x) \quad (12)$$

Дала тадқиқотлари натижалари асосида (11) тенгламани сонли экспериментлари бажарилди. Сонли эксперимент натижалари 4-расмда, дала ва эксперимент натижаларининг таққослаш графиги 5-расмда келтирилган, хатолик 4 фоизни ташкил этади.



**4-расм. (11) тенгламани сонли эксперимент натижалари графиги**



**5-расм. Дала ва эксперимент натижаларининг таққослаш графиги**

Ғўзани эгатлаб суғориш шароитида ер усти сувлари ҳамда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намлик динамикасининг ўзаро туташган жараёнини моделлаштиришда (13) ва (14) тенгламалар биргаликда ечилади:

$$\langle h \rangle = h_0 + \lambda Re \frac{qg}{u v_0} e^{\lambda x} G(t, x) \quad (13)$$

$$\frac{1}{Pe} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \theta}{\partial \bar{z}} = \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \bar{z}^2} \quad (14)$$

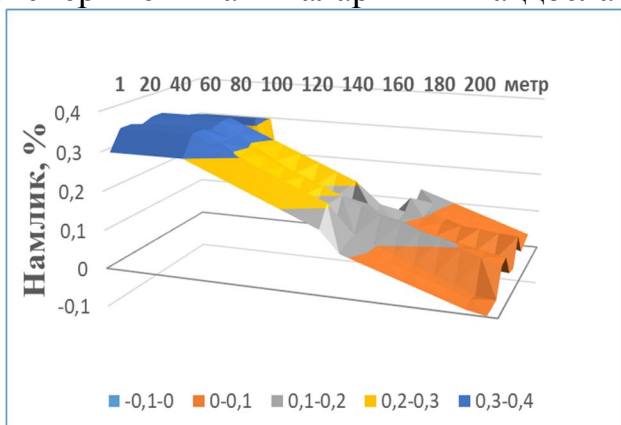


бу ерда:  $Re = \frac{uh}{\nu}$  - Рейнольдс мезони,  $Pe = \frac{uh}{D}$  - Пекле мезони ва  $h$  - бошқарув оператори (13) тенгламадан топилади.

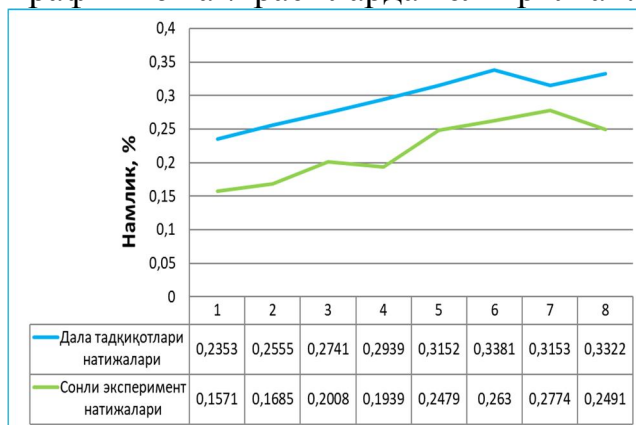
Тегишли математик амаллардан сўнг, ғўзани эгатлаб суғориш билан боғлиқ ҳолда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги масса кўчиш тенграмаси (14) ечими олинди:

$$\theta(\hat{z}, \tau) = \frac{e^{-\gamma\tau}}{\Delta_0} \left\{ \begin{array}{l} \exp\left(\frac{1 + \sqrt{D}}{2} Re \hat{z}\right) \left[ \exp\left(\frac{1 - \sqrt{D}}{2} Re \hat{L}\right) - \exp(-\beta \hat{L}) \right] + \\ \exp\left(\frac{1 - \sqrt{D}}{2} Re \hat{z}\right) \left[ \exp(-\beta \hat{L}) - \exp\left(\frac{1 + \sqrt{D}}{2} Re \hat{L}\right) \right] \end{array} \right\} \quad (15)$$

Тадқиқот объектининг тажриба маълумотлари асосида (15) тенграмани сонли эксперименти амалга оширилди. Сонли эксперимент натижалари ҳамда эксперимент натижаларининг таққослаш графиги 6 ва 7-расмларда келтирилган.



**6-расм. (15) тенграмани сонли эксперимент натижалари**

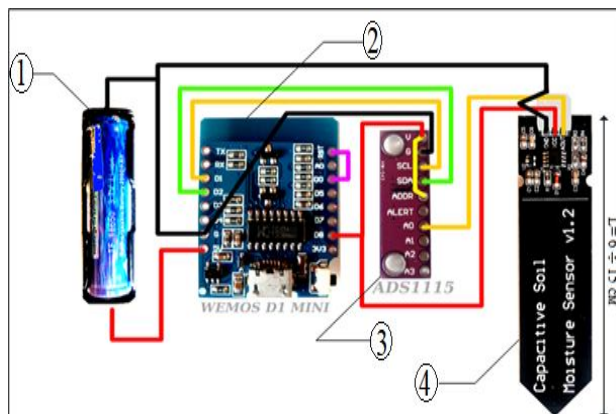


**7-расм. Дала ва сонли эксперимент натижаларининг таққослаш графиги**

Ғўзани эгатлаб суғориш шароитида тупроқ-грунт намланиш соҳасини бошқариш жараёнини рақамлаштириш мақсадида тупроқ-грунт намланиш соҳаси ҳолатини бошқариш бўйича ускуна ва компьютер дастури ишлаб чиқилди (8,9-расмлар).



**8-расм. Ускунанинг умумий кўриниши**



**9-расм. Ускунанинг блок схемаси: 1-батареяка (3.7 V, 3000 MA/соат), 2-микроназоратплатаси ESP8622 E12, 3-транзисторли калит, 4- тупроқ-грунтдаги намликни ўлчайдиган датчик**



Ускуна ESP8622 E12 микросхема асосида қурилган ва Wi-Fi орқали мини-серверга уланади, бу ўз навбатида тупроқ-грунт намлигини ўлчанган қийматлари тўғрисидаги маълумотларни бир кун давомида бир неча бор фермернинг мебель телефонига олдиндан ўрнатилган иловага ёки серверга узатиш имкониятини яратади. Дастурий таъминот (C++) алгоритм тилида ёзилган ва сутка давомида маълумот олиш давомийлиги 2 марта (10,11-расмлар).

10–расм. Серверни бошқариш учун дастурий таъминот

11–расм. Блок-схемани бошқариш учун C++ дастурлаш тилида яратилган дастурий таъминот

## ХУЛОСА

“Қишлоқ хўжалиги экинларини эгатлаб суғоришда тупроқ намлигини бошқаришнинг гидравлик усуллари тақомиллаштириш” мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Тажриба даласининг агромелиоратив параметрларини аниқлаш бўйича экспериментал тадқиқотлар амалга оширилди. Рақамли тензиометрик қурилма ва лаборатория тадқиқотлари орқали ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасида масса кўчишнинг асосий параметрлари аниқланди.

2. Дисперсия параметрларини аниқлашнинг тақомиллаштирилган услублари бўйича тадқиқот майдонининг сув-туз баланси ҳисоби амалга оширилди. Бунда, тақомиллаштирилган услуб, мавжуд услублар билан бир хил аниқлик даражасига эга бўлган ҳолда ҳисоблаш ишларини соддалаштириш имкониятини беради. Натижаларни таққослаш хатолиги 0,3 фоизни ташкил этади.

3. Қарши метеостанцияси маълумотларидан фойдаланиб Monthly ET<sub>o</sub> Penman-Montecito компьютер дастури асосида, тадқиқот даласидаги ўсимлик қатлампидан бўлган эвапотранспирация потенциали аниқланди.

4. Дала тадқиқотлари орқали тадқиқот даласи учун эгатлар характеристикалари ва Маннинг коэффиценти қийматлари топилди. Бунда эгат параметрларининг  $l \leq 100\text{м}$  ва  $\Delta b_{max} \Delta b_{max} = 2,4$  см диапазонларида, Маннинг коэффиценти қийматлари 0,02 дан ошмаслиги аниқланди.

5. Дала тадқиқотлари орқали, турли сув сарфида эгатдаги сув оқимининг асосий гидравлик параметрлари аниқланди: ғадур-будурлик коэффиценти  $n_M=0,06$ , гидравлик қаршилик коэффиценти  $\lambda=0,397$ , Фруд сони  $Fr=0,0019$  ва Рейнольдс сони  $Re=2,17$ .

6. Сен-Венан тенгламалари асосида эгатдаги ишқаланиш кучларини ҳисобга олган ҳолда эгат бўйича оқим чуқурлиги динамикасининг гидравлик модели ишлаб чиқилди.

7. Эгат тубининг маҳаллий турли ғадир-будурлигини ифодаловчи кубик сплайн функция кўринишидаги шартлар асосида ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳасидаги намлик динамикасини бошқаришнинг гидравлик модели ишлаб чиқилди.

8. Ғўзани эгатлаб суғоришда тупроқ-грунт намланиш соҳаси ҳолатини бошқариш бўйича ускуна ва компьютер дастури ишлаб чиқилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.41/30.04.2021.Т.131.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ  
ИНСТИТУТЕ ИРРИГАЦИИ И ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ**

---

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ И  
ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ**

**ЭРНАЗАРОВ АЗИЗБЕК ИЛХОМЖОН УГЛИ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
УПРАВЛЕНИЯ УВЛАЖНЕНИЕМ ПОЧВЫ ПРИ БОРОЗДКОВОМ  
ПОЛИВЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

**05.09.07-Гидравлика и инженерная гидрология**

**АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2021**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2019.4.PhD/T1491.

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте ирригации и водных проблем. Автореферат диссертации написан на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу ([www.iwpi.uz](http://www.iwpi.uz)) и Информационно-образовательном портале «Ziyanet» по адресу ([www.ziyanet.uz](http://www.ziyanet.uz)).

Научный руководитель:	Хайраев Шавкат Рахмонович кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Официальные оппоненты:	Фатхуллов Алтиер Мирзоиллович доктор технических наук, доцент Латинов Шавкат Алтиер угли доктор философии (PhD) по техническим наукам
Ведущая организация:	Национальный университет Узбекистана

Защита диссертации состоится «12» 11 2021 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании научного совета DSc 41/30/04/2021.T.131.01 при Научно-исследовательском институте ирригации и водных проблем (Адрес: 100187, г. Ташкент, Карасун-4, дом 11. Тел.: (991)4344328, e-mail: [info@iwpi.uz](mailto:info@iwpi.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем (регистрационный номер № А ). (Адрес: 100187, г. Ташкент, Карасун-4, дом 11. Тел.: (991)434-43-28).

Автореферат диссертации размещен «19» 10 2021 года.  
(реестр протокол рассылки № 3, от «19» 10 2021 года).



**М.Р. Ниромова**

член научного совета  
кандидатно-ученых  
степеней, д.т.н., профессор

**У.А. Садыр**

член научного совета  
кандидатно-ученых  
степеней, PhD

**М.Р. Ниромова**

член научного совета  
при научном совете по присуждению  
ученых степеней,  
д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** На аридных территориях мира применение поверхностной технологии полива, особенно полив по бороздам, занимает одно из ведущих позиций. «Учитывая, что в мире больше 280,0 млн. гектаров орошаемых земель, и из них 75 процентов орошаются способом полива по бороздам»<sup>1</sup>, возникает необходимость внедрения в практике совершенствованных гидравлических методов управления увлажнением почвы при бороздковом поливе. В этом отношении особо важным считается использование совершенствованных технологии управления увлажнением почвы при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур.

В мире особое внимание уделяется научно-исследовательским работам по исследованию процесса установления гидравлических параметров потока воды по бороздам и инфильтрационным характеристикам почва-грунта при различных режимах орошения и свойств почва-грунтов. При этом, особо важное значение имеет проведения научно-исследовательских работ по моделированию влагопереноса при сопряженном течении поверхностных и грунтовых вод, осуществляющегося на основе упрощенных гидравлических моделей водного потока и массопереноса в зоне увлажнения почвы, учитывающего процесс массообмена между разного рода составляющими водного стока.

В нашей Республике принимаются масштабные меры и достигаются определённые результаты по развитию водосберегающих техники и технологий, позволяющих экономить водные ресурсы при бороздковом орошении сельскохозяйственных культур. В стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан по пяти приоритетным направлениям на 2017-2021 гг. «О дальнейшем развитии мелиоративных и ирригационных объектов для развития национальной экономики»<sup>2</sup> определены важные задачи. При выполнении этих задач, в частности, особую важность имеет усовершенствование гидравлических методов расчета и разработки инновационных технологий управления состоянием зоны увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур.

Исследования, выполненные в рамках настоящей диссертации, в определенной степени служат реализации задач, предусмотренных в «Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Узбекистана» утвержденной Указом Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 07.02.2017 г., «Об утверждении концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020 - 2030» утвержденной Указом Президента Республики Узбекистан УП-6024 от 10.07.2020 г., Постановлении Президента Республики Узбекистан ПП-4486 от 09.10.2019 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления водными ресурсами», Постановлении Президента Республики Узбекистан ПП-4499 от 24.10.2019 г. «О мерах по расширению механизмов стимулирования внедрения водосберегающих технологий

---

<sup>1</sup><http://www.cawater-info.net> »

<sup>2</sup>Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

в сельском хозяйстве», а также в других нормативно-правовых документах, имеющих отношение к данной научной работе.

**Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Исследования в рамках диссертационной работы соответствуют приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики V. «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды».

**Степень изученности проблемы.** В настоящее время решениям проблем фильтрации посвящено множество исследований. В частности, в работах Бочевера Ф.М., Денисова Ю.М., Полубариновой-Кочиной П.Я., Шестакова В.М. и других авторов, усовершенствованы методы решения задач фильтрации грунтовых вод. В свою очередь, Атавиным А.А., Баклановской В.Ф., Воеводиным А.Ф., Васильевым О.Ф., Кучментовым Л.С. и другими исследователями изучены модели неустановившегося движения потока воды, основанные на уравнениях Сен-Венана и различных их приближениях. Рассмотренные в этих работах подходы оправданы в случаях, когда расходы по каналам велики по сравнению с фильтрационным питанием или потерями.

Известными учеными, такими как Антонцевым С.Н., Злотником В.А., Мейрмановым А.М., Усенко В.С., Cunningam A.B., Zhang Z. F., Ward A. L., Gee G. W. и другими посвящены работы по созданию математических моделей совместного течения поверхностных и подземных вод, с учетом сопряжения систем уравнений фильтрации и уравнений гидравлики для поверхностных вод. Я. Бэрром, О.Ф.Васильевым, Д.Заславским, С.Ирмейим, Miles J.C., Rushton K.R. и другими авторами рассматривались аспекты исследований по созданию общей гидродинамической модели, учитывающей взаимосвязанность русловых и фильтрационных процессов.

В настоящее время, самым распространенным способом полива сельскохозяйственных культур, особенно хлопчатника, остается полив по бороздам. Независимо от рекомендаций по переходу к другим, более водосберегающим, а именно капельным, дождеванию, подпочвенному и др., способам полива сельскохозяйственных культур, особенно хлопчатника, полив по бороздам не исчерпал своего потенциала, как основного способа полива хлопчатника в Республике Узбекистан и в других хлопкосеющих странах. Вместе с этим, по оценкам WUFMAS, потери воды на поле при поливе по бороздам составляют 42 % относительно водозабора к поливному участку и 15% от объема удельного водозабора на 1 га орошаемой площади из водоисточника. Образованию такого объема непроизводительных потерь также свидетельствует о том, что не достаточно исследованы процессы неустановившегося движения воды по бороздам и динамика увлажнения почвенного слоя в результате полива по бороздам.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими планами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в рамках тематического плана НИР НИИИВП 2017-2020 гг. по теме ВА-ҚХФ-5-003 «Закономерности динамики процессов увлажнения почво-грунта при бороздковом поливе

сельскохозяйственных культур», а также, в рамках тематического плана НИР НИИИВП 2021-2022 гг. по теме ИЗ-2020052525 «Разработка Smart технологии «поле-технология орошения-оросительная система», основанная на автоматизированных цифровых технологиях на орошаемых территориях Сырдарьинской области, подверженных природным факторам».

**Целью исследований** является совершенствование гидравлических методов управления динамикой состояния зоны увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур.

**Задачи исследований:**

ретроспективный аналитический обзор, посвященный проблемам исследований неустановившегося движение воды, гидродинамического анализа задач массопереноса, взаимодействующими течениями поверхностных и грунтовых вод;

проведение натурных и лабораторных исследований по установлению мелиоративного состояния экспериментального участка, а также гидравлических параметров потока воды по борозде с нестационарным дном;

разработка гидравлической модели динамики глубины потока воды по борозде с учетом силы придонного трения на основе системы уравнений Сен-Венана;

разработка стохастической модели неустановившегося движения воды по борозде с нестационарным дном;

разработка гидравлической модели управления динамикой влаги в зоне увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе хлопчатника;

разработка прибора и компьютерной программы по управлению состоянием зоны увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе хлопчатника.

**Объектом исследования** приняты гидравлически взаимосвязанные орошаемое поле и зона увлажнения почва-грунта, мелиоративные скважины наблюдения, а также создание цифрового тензиометрического прибора.

**Предметом исследований** являются неустановившиеся движение воды по бороздам хлопчатника, гидродинамические процессы, происходящие при поверхностном поливе в зоне увлажнения почва-грунта, а также компьютерная программа тензиометрического прибора для сбора, анализа и дистанционной передачи данных о мелиоративном состоянии орошаемой территории.

**Методы исследований** включают: экспериментальные, методы полевых наблюдений, общепринятые методы в гидравлике, составление математических и гидравлических моделей на основе законов гидромеханики, моделирование неустановившегося движения воды и численное их решение.

**Научная новизна исследований** заключается в следующем:

на основе системы уравнений Сен-Венана разработана гидравлическая модель динамики глубины потока воды по борозде с учетом силы придонного трения;

разработано стохастическое уравнение неустойчившегося движения воды по борозде с нестационарным дном на основе системы уравнений Сен-Венана и теории стохастических методов;

на основе уравнения скорости течения воды в борозде с учетом силы придонного трения дна, разработана гидравлическая модель управления динамикой влаги в зоне увлажнения почва-грунта при бороздовом поливе хлопчатника;

разработаны прибор и компьютерная программа для измерения, сбора и дистанционной передачи данных о влажности почва-грунта при орошении сельскохозяйственных культур.

**Практическая значимость результатов исследования** состоит в следующем:

произведён расчет водно-солевого баланса исследуемой территории по усовершенствованной методике определения параметров дисперсии. При этом, усовершенствованная методика позволяет упростить расчет с одинаковой порядковой точностью с существующей методикой. Погрешность сопоставления результатов составляет 0,3%.

на основе компьютерной программы Monthly ET<sub>0</sub>Penman-Montecito с использованием данных Каршинской метеостанции установлена потенциальная эвапотранспирация из растительного слоя экспериментального участка.

разработаны прибор и компьютерная программа по управлению состоянием зоны увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе хлопчатника.

**Достоверность результатов исследований.** Достоверность результатов исследований обоснована усовершенствованием гидравлических методов неустойчившегося движение воды по борозде хлопчатника, разработкой гидравлических моделей управления динамикой параметров инфильтрационного потока в зоне увлажнения при бороздковом поливе хлопчатника на основе условий локальной шероховатости дна борозды в виде функций кубического сплайна, сопоставлением с решением гидравлической модели, сравнением результатов натуральных и лабораторных исследований, а также внедрением результатов исследований в практику.

**Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке усовершенствованных гидравлических моделей неустойчившегося движения потока воды по борозде с нестационарным дном и управлении динамикой параметров инфильтрационного потока в зоне увлажнения почва-грунта при бороздовом поливе хлопчатника.

Практическая значимость работы заключается в разработке прибора и компьютерной программы управления состоянием зоны увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе хлопчатника. А также, усовершенствование методики определения параметров дисперсии для расчета водно-солевого баланса орошаемой территории.



**Внедрение результатов исследований.** На основе совершенствования гидравлических методов управления увлажнением почвы при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур:

усовершенствована гидравлическая модель управления динамикой параметров инфильтрационного потока в зоне увлажнения при бороздковом поливе хлопчатника на основе условий локальной шероховатости дна борозды в виде функций кубического сплайна. Разработанный прибор и компьютерная программа для управления состоянием зоны увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе хлопчатника внедрены в деятельность Аму-Кашкадарьинского бассейнового управления ирригационных систем (Справка Министерства водного хозяйства № 03/27-2447 от 24 августа 2021 года). В результате, усовершенствованная методика позволяет определять параметры дисперсии для расчета водно-солевого баланса орошаемой территории;

разработанная компьютерная программа по установлению потенциальной эвапотранспирации из растительного слоя внедрены в деятельность Аму-Кашкадарьинского бассейнового управления ирригационных систем (Справка Министерства водного хозяйства № 03/27-2447 от 24 августа 2021 года). Основные результаты работы апробированы и рекомендованы в рамках проекта ВА-ҚХФ-5-003 «Закономерности динамики процессов увлажнения почво-грунта при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур», реализованного в 2017-2020 гг.

разработанный прибор и компьютерная программа для управления состоянием зоны увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе хлопчатника внедрены в деятельность Нижне-Сырдарьинского бассейнового управления ирригационных систем (Справка Министерства водного хозяйства № 03/27-2447 от 24 августа 2021 года). По результатам внедрения усовершенствованных гидравлических методов управления динамикой инфильтрационного потока в зоне увлажнения при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур, достигнута экономия оросительной воды не менее 5-6%.

**Апробация результатов исследований.** Результаты исследований доложены и одобрены на международных, республиканских и ВУЗовских конференциях, в том числе обсуждены на 2 международных и 3 республиканских научно-технических конференциях.

**Опубликованность результатов исследований.** По теме диссертации опубликованы 22 научные работы. Из них: 11 - в республиканских и 1 - в зарубежном журнале, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторской диссертации.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, выводов, списка использованной литературы, приложений. Работа изложена на 114 страницах текста.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**В введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации на основе исследований, проведенных в Узбекистане и мире, приведены цель и задачи, объект и предмет исследований, соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практические результаты исследований, обосновывается достоверность полученных результатов исследований, внедрение результатов исследований в практику, апробация работы, список опубликованных работ, представлены данные по структуре и объему диссертации.

**В первой главе диссертации “Ретроспективный аналитический обзор, посвященный проблемам исследований, задач массопереноса взаимодействующими течениями поверхностных и грунтовых вод”,** представлен обзор выполненных работ. В развитие гидравлических и имитационных моделей русловых процессов большой вклад внесли такие ученые, как О.Ф. Васильев, Н.Е. Вольцингер, Р.В.Пясковский, В.М. Лятхер, М.Т. Гладышев, К.В. Гришанин, И.А. Шеренков, А.Н. Милитеев, Д.Р. Базаров, Дж. Стокер, М. Эббот, Ж. Кюнж.

Следует отметить, что в работах А.Ю. Семенова и С.С. Маханова изучены вопросы по созданию «неотрицательных» численных алгоритмов для уравнений неустановившегося движения потока воды. А также, осуществлен расчет течений воды в водохранилищах и озерах на адаптивных криволинейных сетках.

Ряд моделей и алгоритмов был разработан В.В. Беликовым и А.Н. Милитеевым, ими же предложена математическая модель двухслойного руслового-пойменного потока, обобщающая одномерную и двухмерную модели неустановившегося движение воды. Апробация этой модели при расчете паводковых течений на реальных условиях выявила ее высокую эффективность и большую практическую ценность.

В работах Антонцева С.Н., Вольцингера Н.Е., Шестакова В.М., Пашковского И.С., Соيفер А.М. и других авторов, разработаны математические модели и численные методы в задачах взаимосвязи безнапорных подземных и поверхностных вод. Хорошо изучены математические модели совместного движения поверхностных и подземных вод, основанных на уравнениях Ричардса, Буссинеска и Сен-Венана. Создание гидродинамической модели взаимосвязанных поверхностных и грунтовых вод основываются на уравнениях Ричардса, Буссинеска и Сен-Венана. То есть, для описания движения вертикальной инфильтрационной воды в зоне неполного насыщения почва-грунтов применяется одномерная модель Ричардса, изменение уровня грунтовых вод уравнением Буссинеска, а неустановившееся движение воды в открытых руслах описывается уравнением Сен-Венана.

Пространственная модель движения подземных вод в зонах неполного, полного насыщения и одномерная модель течения в открытом русле рассматривалась в работах Антонцева С.Н., Мейрманова А.М., где произведена оценка процессов формирования поверхностного стока во взаимодействии с

грунтовым стоком. Однако, как показала практика, трехмерные уравнения динамики влаги в почва-грунтах малоприменимы для практических задач по причине отсутствия более устойчивых методов численной реализации.

Анализ работ, проведенный в рамках диссертации, показал, что разработаны гидродинамические модели на основе уравнений Ричардса, Буссинеска и Сен-Венана, а также эффективные механизмы численных экспериментов этих моделей. Однако, недостаточно изучены научно-технические задачи, связанные с гидравлическим моделированием взаимодействующих течений неустановившегося движения потока воды по борозде с нестационарным дном и между инфильтрационным потоком в зоне увлажнения, почва-грунта.

**Во второй главе под названием «Исследование мелиоративного состояния экспериментального участка и гидравлических параметров потока воды по бороздам с нестационарным дном»,** проведены исследования по установлению почвенно-мелиоративных условий экспериментального участка. С использованием компьютерной программы Monthly ET<sub>0</sub> Penman-Montecito, определена сумма эвапотранспирации из растительного слоя. Экспериментальным путем определены гидравлические параметры потока воды в борозде хлопчатника. В частности, произведен расчет водно-солевого баланса исследуемой территории, в качестве исходных данных взяты данные полевых опытов с использованием тензометрического прибора.

а) Составляющие водного баланса при отсутствии транспирации:

- осадки:  $v_n = 170,2 \text{ мм/год} = 466,301 \cdot 10^{-4} \text{ м/сут};$
- испарение:  $w_p = 232,8 \text{ мм/год} = 637,808 \cdot 10^{-4} \text{ м/сут};$

Тогда, для скорости имеется:

$$V = w_p/v_n = 1,3678;$$

б) распределение солей по профилю:

- концентрация солей в поливной воде:  $C_{\text{п}} = 2 \text{ г/л};$
- концентрация солей в грунтовых водах:  $C_{\text{гр}} = 16 \text{ г/л};$
- концентрация солей на поверхности почвы:  $C(0) = 328 \text{ г/л};$
- средняя величина солей в слое почвы:  $S(l) = 108 \text{ г/л}.$

в) глубина грунтовых вод:  $l = 2,14 \text{ м}.$

значение параметра Пекле:  $Pe = 5,114$

Получив вышеперечисленные исходные данные, вычислено значение коэффициента дисперсии и диффузии по формулам:

$$\lambda_{\text{сушест}} = \frac{w_p l}{2Pe(w_p - v_n)} = \frac{498,1920}{640,2978} = 0,7781 \text{ м};$$

$$D_a = \lambda(w_p - v_n) = 0,778 \cdot 1,715 \cdot 10^{-4} = 1,3343 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сут}$$

Дальнейший расчет выполнялся методом подбора  $\eta$  при известных значениях  $S(l)$  и  $\omega$ . Имея вышеперечисленные исходные данные, получим:

$$\bar{S}(l) = \frac{S(l)}{C_{\text{гр}}} = \frac{108}{16} = 6,75; \quad \bar{C}_n = \frac{C_n}{C_{\text{гр}}} = \frac{2}{16} = 0,125;$$

$$\bar{V} = \frac{w_p}{v_n} = \frac{232,8}{170,2} = 1,3678 > 1$$

$$\omega = \frac{\bar{C}_n}{\bar{V} - 1} = \frac{0,125}{0,3678} = 0,3399; \psi_{\text{экс}} = \frac{\bar{S}(1) + \omega}{1 + \omega} = \frac{6,75 + 0,3399}{1 + 0,3399} = 5,2914$$

Так как:  $w_p/v_n = 1,3678 > 1$ , тогда по значению  $\psi_{\text{экс}} = 5,2914$ , по уравнению  $f_1(\eta) = (y^\eta - 1)/\eta$ , методом подбора находилось значение  $\eta^* = 2,7411$ , а затем определялась величина параметра  $\lambda_{\text{предлож}}$  и коэффициент конвективной диффузии  $D_a$ :

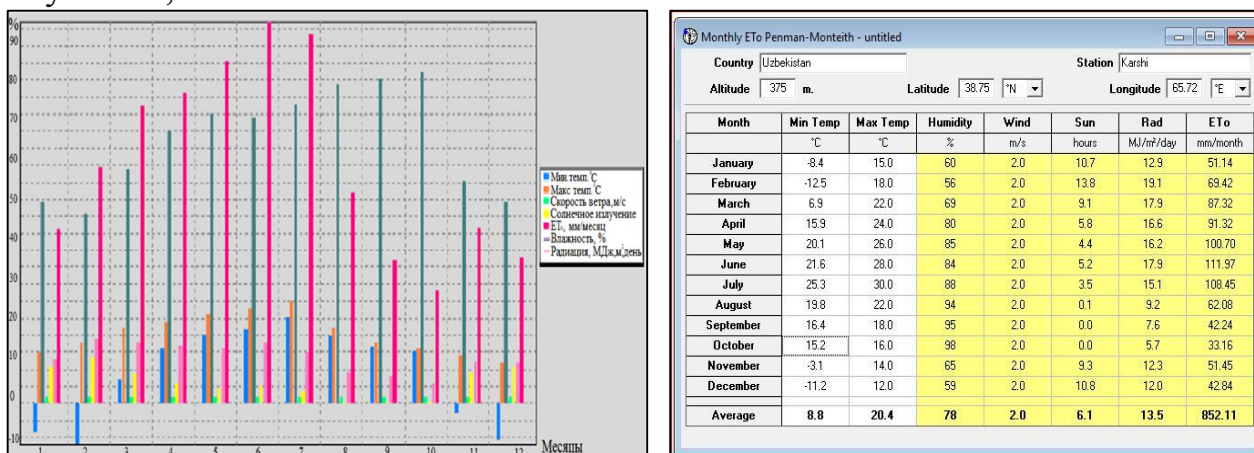
$$\lambda_{\text{предлож}} = \frac{l}{\eta} = \frac{2,14}{2,7411} = 0,7807 \text{ м};$$

$$D_a = \lambda(w_p - v_n) = 0,7807 \cdot 1,715 \cdot 10^{-4} = 1,3389 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сут}$$

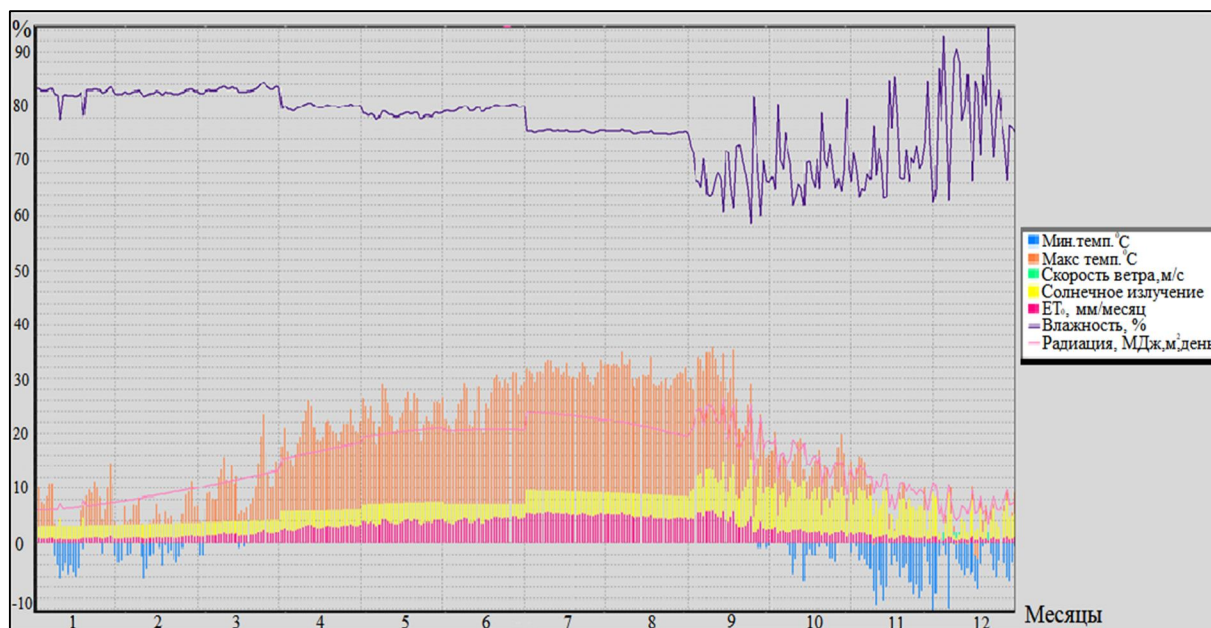
Сравнения значения параметров дисперсии  $\lambda$ , рассчитанных по существующим и предложенным формулам показало, что полученные значения  $\lambda_{\text{предлож}}$  являются одинакового порядка точности с существующей методикой, и они намного упрощают методику расчета  $\lambda$ . Средняя относительная ошибка составляет:

$$\lambda_{\text{сущест}} = 0,7781 \text{ м}; \lambda_{\text{предлож}} = 0,7807 \text{ м} \Rightarrow \Delta = \left| \frac{0,7781 - 0,7807}{0,7807} \right| \cdot 100\% = 0,33\%$$

Для того, чтобы определить сумму эвапотранспирации из растительной поверхности опытного участка использованы данные Каршинской метеостанции, которая находится в 5,6 км от объекта исследований. На основе компьютерной программы Monthly ET<sub>0</sub>Penman-Montecito и данных Каршинской метеостанции определены параметры потенциальной эвапотранспирации. С вводом в программу min и max значений температуры воздуха, автоматически определяются данные о скорости ветра, солнечной радиации, а также другие климатические и агрометеорологические параметры. На основе значений этих параметров определяется потенциальная эвапотранспирация и значение корректирующего коэффициента. Результаты эксперимента приведены на рисунках 1,2.



**Рис. 1. Температура воздуха (минимальная и максимальная), влажность, скорость ветра, солнечная радиация и месячные значения потенциального испарения, наблюдаемые на метеостанции Карши за 2019 год**



**Рис.2. Потенциальная эвапотранспирация из растительного слоя**

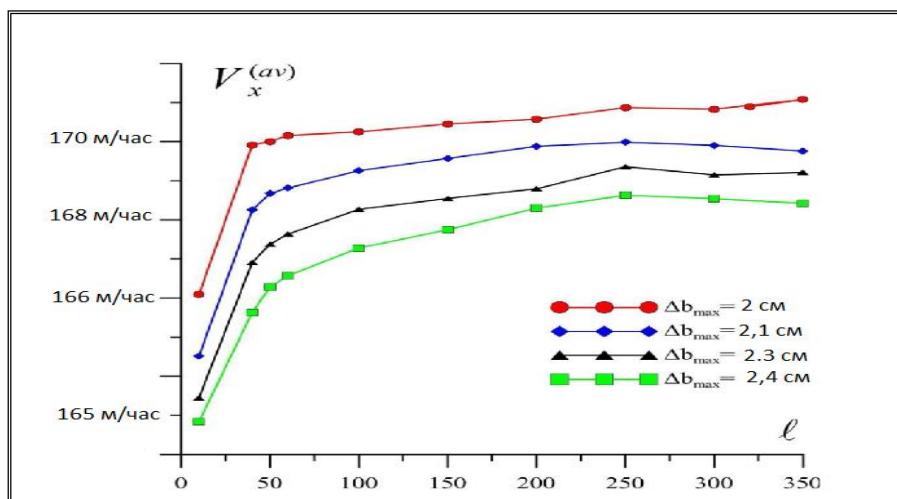
Проведены экспериментальные исследования по установлению основных гидравлических параметров потока воды и характеристик борозды при различных расходах (расход воды, коэффициенты шероховатости, гидравлических сопротивлений и Шези, числа Фруда и Рейнольдса). Порядок измерения расхода борозды осуществлен по методике выполнения измерений расхода воды методом скорость-площадь. Замеры производились в створах, с помощью водослива Томсона. Для каждого створа замерялись скорость движения воды, глубина потока и гидравлический уклон. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Результаты экспериментальных исследований по установлению гидравлических параметров потока воды по бороздам хлопчатника на опытном участке (среднее арифметические значения)**

$l, \text{ м}$	$Q, \text{ л/с}$	$h, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$\chi, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$v, \text{ м/с}$	$n$	$\lambda$	$Fr$	$Re$
100	0,57	0,12	0,017	0,16	0.032	0,046	0,06	0,397	0,0019	2,17

Для установления характеристик шероховатости рельефа дна борозды при различных значениях:  $l$ ,  $\Delta b_{max}$ ,  $n_M$ , проведен ряд натурных экспериментов. Результаты эксперимента позволили установить связь между параметрами шероховатости дна борозды и коэффициентом Маннинга. С увеличением шероховатости  $n_M$  для нестационарной борозды  $b_0(x, y)$  уменьшаются максимальные значения продольных профилей скорости  $U_x^{(av)}(y)$ . Таким образом, для шероховатого дна борозды почти всегда можно подобрать соответствующее значение коэффициента Маннинга. Увеличение максимальной амплитуды нестационарности дна борозды  $\Delta b_{max}$  приводит к монотонному росту соответствующего значения  $n_M$ , поток воды движется медленнее с увеличением параметра  $\Delta b_{max}$  (рис. 3).



**Рис. 3. График зависимости максимальной скорости потока на максимальных амплитудах нестационарности дна  $\Delta b_{max}$  по длине борозды**  
 Мелкомасштабные нестационарности дна оказывают наименьше тормозящий эффект на поток воды. Для диапазона параметров борозды  $l \leq 100$  м, и  $\Delta b_{max}$  значения коэффициента Маннинга не превышают 0.02.

В третьей главе диссертации «Гидравлическая модель динамики параметров инфильтрационного потока в зоне увлажнения почва-грунта при бороздовом поливе сельскохозяйственных культур» при моделировании неустановившегося движения потока воды по борозде с нестационарным дном, применена одномерная модель на основе системы уравнений Сен-Венана с учетом силы придонного трения борозды:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial(uq)}{\partial x} = -gl \frac{\partial(h+\Lambda(x))}{\partial x} - \frac{\lambda}{2} V_0^2 \quad (2)$$

где:  $h$  - глубина потока воды в борозде,  $q$  - удельный расход воды,  $u$  - местная скорость потока,  $g$  - ускорение свободного падения,  $\Lambda(x)$  - функция рельефа дна борозды,  $\lambda$  - коэффициент гидравлического сопротивления,  $V_0$  - средняя скорость течения воды по борозде.

Функцию рельефа дна представили в виде:

$$\Lambda(x) = \sin(\alpha) \exp(x) + \exp(\hat{\Lambda}(x)) \quad (3)$$

где:  $\alpha$  - средний угол наклона рельефа дна борозды, ведущий к неравномерному течению в заданном направлении,  $\hat{\Lambda}(x)$  - локальные нестационарности дна борозды.

Локальную нестационарность дна задали в виде условий аналитических функций кубического сплайна:

$$\hat{\Lambda}(x) = \Lambda_0 \begin{cases} 1 - 6Fr^2(1 - Fr), \text{ при } Fr < 1 \\ 2(1 - Fr)^3 \text{ при } Fr > 1 \end{cases} \quad (4)$$

Для интегрирования уравнений (1) и (2) исходя из поставленной задачи, приняты нижеследующие начальные и граничные условия:



$$\left. \frac{\partial q}{\partial t} \right|_{t=0} = -gl \frac{\partial h}{\partial x} \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=L} = Re \frac{g}{V_0} \frac{\partial h}{\partial x} \quad (6)$$

Учитывая (1), (5) и (6) уравнение (2) примет вид:

$$u \frac{\partial h}{\partial t} - Re \frac{g}{V_0} q \frac{\partial h}{\partial x} = gl \frac{\partial \Lambda(x)}{\partial x} + \frac{\lambda}{2} V_0^2 \quad (7)$$

Динамику параметров шероховатости дна борозды с детерминированными уравнениями трудно прогнозировать. В связи с этим использовали метод стохастических систем. Учитывая вышеизложенные стохастические члены уравнения (7), обозначили в виде:

$$f = gl \frac{\partial \Lambda(x)}{\partial x} + \frac{\lambda}{2} V_0^2 \quad (8)$$

Тогда

$$u \frac{\partial h}{\partial t} - Re \frac{g}{V_0} q \frac{\partial h}{\partial x} = f \quad (9)$$

Для решения уравнения (9) использовали статистический метод стохастических систем. Удобство данного метода заключается в том, что параметры уравнения находятся так же, как и в случае детерминированных дифференциальных уравнений в частных производных.

Введены следующие операторы:  $\frac{\partial h}{\partial t} = L_t h$  и  $\frac{\partial h}{\partial x} = L_x h$ .

Тогда уравнение (9) примет вид:

$$u L_t h - Re \frac{g}{V_0} q L_x h = f \quad (10)$$

Таким образом, на основе систем уравнения Сен-Венана разработано стохастическое дифференциальное уравнение (10) неустановившегося движения воды в борозде с нестационарным дном. После соответствующих математических операций получили:

$$\langle h \rangle = h_1 + Re \cdot \frac{g}{V_0} \cdot u^{-1} \cdot q \cdot \lambda \cdot G(t, \tau) \cdot \exp(\lambda x) \quad (11)$$

где:  $G(t, \tau) = \frac{t}{2\pi} [\ln \sqrt{(t - \tau)^2} - \ln \sqrt{(t + \tau)^2}]$  - функция Грина.

В результате, получено уравнение (11) для математического ожидания значений глубины потока воды по борозде с нестационарным дном.

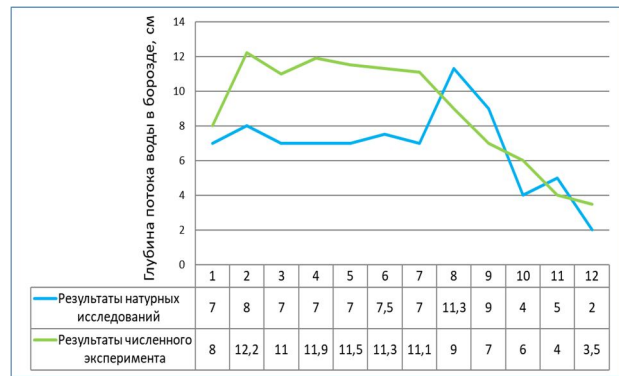
Из (11) находится уравнение для определения скорости течения воды в борозде с учетом силы придонного трения дна:

$$u = Re \frac{g}{[\langle h \rangle - h_1] V_0} \cdot q \cdot \lambda \cdot G(t, \tau) \cdot \exp(\lambda x) \quad (12)$$

Проведем численный эксперимент уравнения (11) с использованием данных натуральных экспериментов. Результаты численного эксперимента показаны на рис. 4, а график сопоставления результатов, численного и натурального экспериментов на рис. 5, погрешность составляет 4%.



**Рис. 4. Результаты численного эксперимента уравнения (11)**



**Рис. 5. Сопоставление результатов натуральных и численных экспериментов**

Далее, при моделировании процесса взаимосвязи поверхностных вод между динамикой влаги в зоне увлажнения почва-грунта в условиях бороздкового полива хлопчатника, совместно решили уравнения (13) и (14):

$$\langle h \rangle = h_0 + \lambda Re \frac{qg}{uV_0} e^{\lambda x} G(t, x) \quad (13)$$

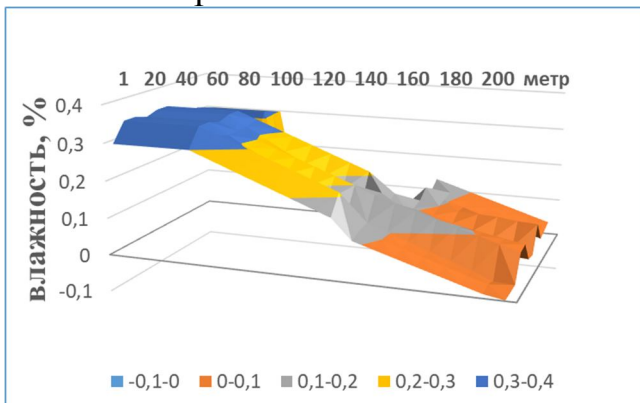
$$\frac{1}{Pe} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \theta}{\partial \bar{z}} = \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \bar{z}^2} \quad (14)$$

где:  $Re = \frac{uh}{\nu}$  - критерий Рейнольдса,  $Pe = \frac{uh}{D}$  - критерий Пекле,  $h$  - является оператором управления, который определяется из уравнения (13).

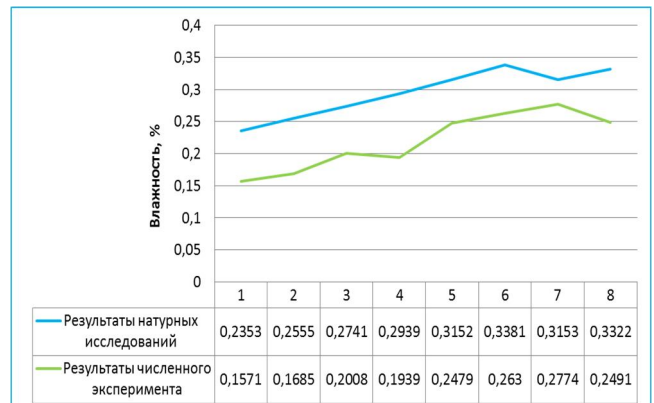
После соответствующих математических операции получили решение уравнения (14) массопереноса в зоне увлажнения почва-грунта, обусловленного бороздковым поливом хлопчатника:

$$\theta(\hat{z}, \tau) = \frac{e^{-\gamma \tau}}{\Delta_0} \left\{ \begin{array}{l} \exp\left(\frac{1 + \sqrt{D}}{2} Re \hat{z}\right) \left[ \exp\left(\frac{1 - \sqrt{D}}{2} Re \hat{L}\right) - \exp(-\beta \hat{L}) \right] + \\ \exp\left(\frac{1 - \sqrt{D}}{2} Re \hat{z}\right) \left[ \exp(\beta \hat{L}) - \exp\left(\frac{1 + \sqrt{D}}{2} Re \hat{L}\right) \right] \end{array} \right\} \quad (15)$$

Используя натурные данные объекта исследований, проведен численный эксперимент уравнения (15). Результаты численного эксперимента, а также график сопоставления результатов численного и натурального экспериментов показаны на рис. 6 и 7.



**Рис. 6. Результаты численного эксперимента уравнения (15)**



**Рис. 7. Сопоставление результатов натуральных и численных экспериментов**



В целях цифровизации процесса управления зоны увлажнения почва-грунта в условиях бороздкового полива хлопчатника разработаны прибор и компьютерная программа по управлению состоянием зоны увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе хлопчатника (рис. 8,9).



Рис. 8. Общий вид прибора

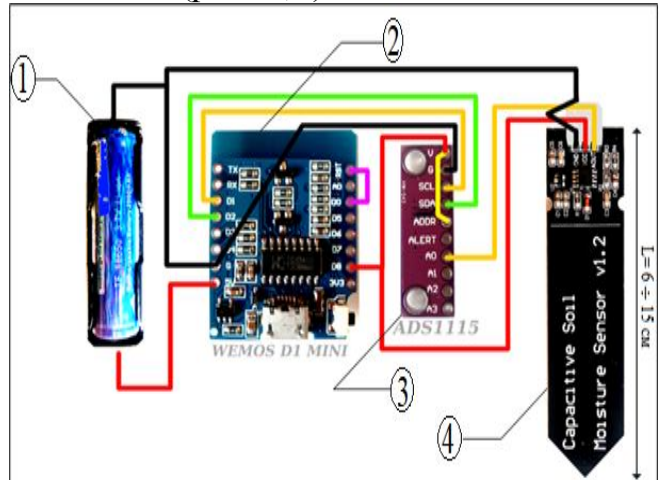


Рис. 9. Блок схема прибора. 1 - батарейка (3.7 V, 3000 МА/час), 2 - микроконтроллер ESP8622 E12, 3- транзисторный ключ, 4- датчик для измерения влажности почва-грунта

Прибор смонтирован на основе микросхемы ESP8622 E12 и подключается к мини-серверу посредством Wi-Fi, что позволяет отправлять информацию о значениях измеренной влажности почва-грунта на сервер или на предварительно установленное приложение для мобильного телефона фермера, несколько раз в день. Программное обеспечение написано алгоритмическим языком (С++) и скорость получения данных 2 раза в сутки (рис.10,11).

```

server {
    listen 80;
    server_name localhost;

    location / {
        root /usr/share/nginx/html;
        index index.html index.htm;
    }

    error_page 500 502 503 504 /50x.html;
}

upstream backend {
    server backend1:80;
}

server {
    listen 80;
    server_name localhost;

    location / {
        proxy_pass http://backend;
    }
}
    
```

Рис.10. Программное обеспечение для управления сервером

```

#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1115.h>

#define SSID "ESP8266"
#define PASS "123456"

WiFiClient client;
Adafruit_ADS1115 ads1115 = Adafruit_ADS1115();

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  WiFi.begin(SSID, PASS);
  while (!WiFi.isConnected()) {
    Serial.println("WiFi not connected, retrying...");
    delay(5000);
  }
  Serial.println("WiFi connected");
}

void loop() {
  float voltage = ads1115.getVoltage();
  Serial.println(voltage);
  client.write("GET / HTTP/1.1\r\n\r\n");
  while (!client.available()) {
    delay(10);
  }
  String response = client.readString();
  Serial.println(response);
}
    
```

Рис. 11. Программное обеспечение для управления блок схемой, созданной на основе языка программирования С++

## ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) на тему: «**Совершенствование гидравлических методов управления увлажнением почвы при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур**» представлены следующие выводы:

1. Проведены экспериментальные исследования по определению агрометрических параметров опытного участка. Цифровым тензиометрическим прибором и лабораторными исследованиями установлены основные параметры массопереноса в зоне увлажнения почва-грунта при бороздковом поливе хлопчатника.

2. Проведён расчет водно-солевого баланса исследуемой территории по усовершенствованной методике определения параметров дисперсии. При этом, она позволяет упростить расчет с одинаковым порядком точности с существующей методикой. Погрешность сопоставления результатов составляет 0,3 %.

3. На основе компьютерной программы Monthly ET0 Penman-Montecito с использованием климатических и агрометрических данных Каршинской метеостанции установлена потенциальная эвапотранспирация из растительного слоя экспериментального участка.

4. Натурными исследованиями установлены значение коэффициента Маннинга и характеристики борозды для экспериментального участка. При этом, для диапазона параметров борозды  $l \leq 100\text{м}$ , и  $\Delta b_{max}=2,4$  см, значения коэффициента Маннинга не превышали 0.02.

5. Натурными исследованиями установлены основные гидравлические параметры потока воды в бороздах при различных расходах воды: коэффициент шероховатости  $n_M=0,06$ , гидравлическое сопротивление  $\lambda=0,397$ , числа Фруда  $Fr=0,0019$  и Рейнольдса  $Re=2,17$ .

6. На основе систем уравнений Сен-Венана разработана гидравлическая модель динамики глубины потока воды в борозде с учетом силы придонного трения.

7. На основе условий локальной нестационарности дна борозды в виде функций кубического сплайна разработана гидравлическая модель управления динамикой параметров инфильтрационного потока в зоне увлажнения при поливе по бороздковому хлопчатника.

8. Разработаны прибор и компьютерная программа управления состоянием зоны увлажнения почва-грунта при поливе по бороздковому хлопчатника

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES  
DSC.41/30.04.2021.T.131.01 AT THE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE  
OF IRRIGATION AND WATER PROBLEMS**

---

**SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF IRRIGATION AND WATER  
PROBLEMS**

**ERNAZAROV AZIZBEK ILKHOMJON UGLI**

**IMPROVEMENT OF HYDRAULIC METHODS FOR MANAGING OF SOIL  
MOISTURE DURING FURROW IRRIGATION OF AGRICULTURAL  
CROPS**

**05.09.07-Hydraulics and engineering hydrology**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON  
TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2021**

The theme of doctoral dissertation (PhD) on technical science was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan with number B2019.4.PhD/T1491.

The doctoral dissertation has been prepared at the Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on website ([www.igimil.uz](http://www.igimil.uz)) and information-educational portal ZiyaNet at the address ([www.ziyanet.uz](http://www.ziyanet.uz)).

<b>Scientific advisor:</b>	<b>Khmirayev Shavkat Rakhimovich</b> Candidate of agricultural sciences, senior scientific researcher
<b>Official opponents:</b>	<b>Fatkhullaev Alisher Mirzotillaevich</b> doctor of technical sciences, docent
	<b>Latipov Shakhnoz Alisher Ugli</b> PhD on technical sciences
<b>Leading organization:</b>	<b>National university of Uzbekistan</b>

The defense of the thesis will be held «12» 11, 2021 at 8<sup>00</sup> hours at the meeting of the Scientific Council DSc.41/50.04.2021.T.111.01 at the Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems. (Address: 100187, Tashkent, Qorovov 4, 11. Tel: (99) 434-43-28. e-mail: [igimil@mirmwater.uz](mailto:igimil@mirmwater.uz)).

The doctoral dissertation can be found at the Information Resource Centers of the Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems (registered with № 8 ) at the address: 100009, Tashkent, Qorovov 4, 11. Tel: (99) 434-43-28;

Abstract of dissertation was sent «19» «10» 2021.  
(register of the distribution protocol № 3 from «19» «10» 2021);



**M.R. Ibrahimova**

member of the scientific council awarding  
the scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

**U.A. Sadiev**

member of the scientific council awarding  
the scientific degrees, PhD on technical sciences

**M.R. Ibrahimova**

member of the academic seminar under the  
aegis of the Scientific Council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research** is improvement of hydraulic methods for controlling the dynamics of the state of the soil moisture zone during furrow irrigation of agricultural crops.

**The objects of research** are hydraulically interconnected irrigated field and a soil moistening zone, observation melioration wells, as well as the creation of a digital tensiometric device.

**The scientific novelty** of the research are:

based on the Saint-Venant equation system, a hydraulic model of the dynamics of the depth of water flow along the furrow is developed taking into account the bottom friction force;

a stochastic equation for unsteady water movement along a furrow with an unsteady bottom has been developed on the basis of the Saint-Venant equation system and on the theory stochastic methods;

on the basis of the equation of the water flow rate in the furrow, taking into account the bottom friction force of the bottom a hydraulic model has been developed for controlling the dynamics of soil moistening zone during furrow irrigation of cotton;

a device and a computer program have been developed for measuring, collecting and remotely transmitting the state of the soil moistening zone during furrow irrigation of agricultural crops.

**Implementation of research results.**

Based on the improvement of hydraulic methods for managing of soil moisture during furrow irrigation of agricultural crops:

The hydraulic model for controlling the dynamics of the parameters of the infiltration flow in the moistening zone during furrow irrigation of cotton is improved based on the conditions of the local roughness of the furrow bottom in the form of functions of a cubic spline. A device and a computer program for controlling the state of the soil moisture zone during furrow irrigation of cotton have been developed and implemented in the Amu-Kashkadarya Basin Irrigation System Administration under the Ministry of Water Resources (Certificate of the Ministry of Water Resources No. 03/27-2447 dated August 24, 2021). As a result, the improved methodology makes it possible to determine the dispersion parameters for calculating the water-salt balance of the irrigated area;

A computer program developed to detect potential evapotranspiration from the vegetation layer has been implemented in the Amu-Kashkadarya Basin Irrigation System Administration under the Ministry of Water Resources (Certificate of the Ministry of Water Resources No. 03/27-2447 dated August 24, 2021). The main results of the work were tested and recommended within the framework of the BA-ҚХФ-5-003 project "Regularities of the dynamics of soil moistening processes during furrow irrigation of agricultural crops", realized in 2017-2020.

The developed device and computer program for controlling the state of the soil moistening zone during furrow irrigation of cotton has been implemented in the Lower Syrdarya Basin Irrigation System Administration under the Ministry of Water Resources (Certificate of the Ministry of Water Resources No. 03/27-2447 dated

August 24, 2021). According to the results of the implementation of improved hydraulic methods for controlling the dynamics of the infiltration flow in the soil moisture zone during furrow irrigation of agricultural crops has been achieved an irrigation water saving not less than 5-6%.

**The volume and structure of the dissertation:** Dissertation consist of introduction part, three chapters, summary, list of references and annexes. The volume of dissertation is 114 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Эрназаров А.И., Хамраев Ш.Р., Chen Xi, Махмудов И.Э., Jilili Abuduwaili, Махмудов Э.Ж., Кузиев Р.К., Садиев У.А., Муродов Н.К., Долидудко А.И. «Исследование агрометеорологических параметров территорий бассейна реки Амударья в условиях изменения климата в Центральной Азии» //Монография. Ташкент: издательство Янги аср авлоди, 2019, 208 С.
2. Эрназаров А.И., Авлакулов М., Долидудко А.И. «Закономерности увлажнения почво-грунтов при бороздковом поливе хлопчатника» //Монография, Ташкент: издательство ФАН, 2019, 167 С.
3. Эрназаров А.И., Махмудов И.Э., Долидудко А.И. «Закономерности динамики процессов увлажнения почво-грунта при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур» //Монография, Ташкент: издательство Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи, 2020, 134 С.
4. Эрназаров А.И., Мурадов Н.К. Оценка водного режима почво-грунта в связи с его регулированием при фильтрации воды из ирригационного канала// Агро илм журнали №1(45)сон, Тошкент 2017, С 68-69. (05.00.00; №3).
5. Эрназаров А.И., Мурадов Н.К. Моделирование процесса влагопереноса в гидроморфных средах, обусловленного изменением уровня грунтовых вод// Агро илм журнали №2(46)сон, Тошкент 2017, С 68-69. (05.00.00; №3).
6. Эрназаров А.И., Садиев У.А., Бегматов И., Махмудова Д.Э. Особенности режима увлажнения почво-грунта при бороздковом поливе сельскохозяйственных культур// Агро илм журнали №1(57)сон, Тошкент 2019, С 74-75. (05.00.00; №3).
7. Эрназаров А.И., Садиев У.А., Бегматов И., Махмудова Д.Э. Гидравлическая зависимость для вертикального и горизонтального вертикального перемещения фронта зоны опреснения вдоль ирригационного канала// Агро илм журнали №2(58)сон, Тошкент 2019, С 86-87.(05.00.00; №3).
8. Эрназаров А.И., Садиев У.А., Петров А. Тошкент магистрал каналининг фильтрация солиштирма сув сарфини хисоблаш усуллари// Агро илм журнали №6(63)сон, Тошкент 2019, С 86-87. (05.00.00; №3).
9. Эрназаров А.И., Махмудов И.Э., Садиев У.А., Долидудко А. Разработка модели неустановившегося движения воды по борозде// Агро илм журнали №4(67)сон, Тошкент 2020, С 85-87. (05.00.00; №3).
10. Эрназаров А.И., Махмудов И.Э., Садиев У.А., Долидудко А. Развитие теории и методов определения депрессионной кривой при неустановившихся безнапорных фильтрационных течениях// Ўзбекистон Республикаси Қишлоқ ва Сув Хўжалиги журнали №8сон, Тошкент 2020, С 39-40. (05.00.00; №8).
11. Эрназаров А.И., Махмудов И.Э., Садиев У.А., Долидудко А. Модель водно-солевого баланса территории нового орошения Каршинской степи// Агро илм журнали №5(68)сон, Тошкент 2020, С 81-83. (05.00.00; №3).

12. Эрназаров А.И., Махмудов И.Э., Садиев У.А., Долидудко А. Решение задачи о течении фильтрационного потока аналитическими и численными методами// Агро илм журнали №6(69)сон, Тошкент 2020, С 67-69. (05.00.00; №3).

13. Ernazarov A.I., Makhmudov I.E., Kazakov E., Gulomov O. Natural Studies of Velocity Field of the Water Flow for the Big Namangan Channel// International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 7, Issue 8, 2020, Pp 14640-14644. (05.00.00; №8).

14. Эрназаров А.И., Уразкелдиев А.Б., Ражабов А., Каршиев Р. Томчилатиб суғоришда суғориш тармоғининг оптимал гидромодулини аниқлаш// Ирригация ва Мелиорация журнали, № 1(23). Тошкент 2021, Б 24-28. (05.00.00; №22).

15. Эрназаров А.И., Уразкелдиев А.Б., Ражабов А., Каршиев Р. Томчилатиб суғориш технологияси асосида суғоришда тупроқ-грунт намланиши соҳасида намлик динамикасининг математик модели// Агро илм журнали 2(72)сон, Тошкент 2021, Б 68-69. (05.00.00; №3).

### **II бўлим (II часть; II part)**

16. Эрназаров А.И., Махмудов И.Э., Мурадов Н.К. Гидравлическая зависимость определения границ зоны опреснения вдоль ирригационных каналов в условиях неустановившегося движения// Пути повышения эффективности орошаемого земледелия из материалов Научно-практической конференции, Новочеркасск 2016 С 51-55.

17. Эрназаров А.И. Баланс инфильтрационной влаги вдоль ирригационного канала// “Қишлоқ ва Сув Хўжалигининг Замонавий Муаммолари” мавзусидаги аъъанавий XVII – ёш олимлар, магистрантлар ва иқтидорли талабаларнинг илмий-амалий анжумани, Тошкент 2018 йил, Б 169-171.

18. Эрназаров А.И., Махмудов И.Э., Ражабов А., Гуломов О. Сув ресурсларини бошқариш тизимини такомиллаштириш ва уни рақамли технологиялар асосида автоматлаштириш// “Ўзбекистонда Сув Ресурсларидан Самарали Фойдаланишнинг Муаммолари ва Ечимлари” мавзусида республика миқёсидаги илмий-амалий анжумани материаллари тўплами, Карши 2021 йил, Б 239-243.

19. Эрназаров А.И., Махмудов И.Э., Ражабов А., Гуломов О. Йирик ирригация каналларида сув оқими харакатининг тезликлар майдонини экспериментал тадқиқ қилиш// “Ўзбекистонда Сув Ресурсларидан Самарали Фойдаланишнинг Муаммолари ва Ечимлари” мавзусида республика миқёсидаги илмий-амалий анжумани материаллари тўплами, Карши 2021 йил, Б 178-182.

20. Ernazarov A., Kazakov E., Gulomov O. Natural Studies of Velocity Field of the Water Flow for the Big Namangan Channel International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 7, Issue 8 – 2021, Pp 14640-14644.

21. Эрназаров А.И., Уразкелдиев А.Б., Каршиев Р. Томчилатиб суғоришда тупроқ намланиш контурининг параметрларини экспериментал аниқлаш// “Гидрометеорология, иқлим ўзгариши ва атроф-муҳит мониторинги: долзарб муаммолар ва уларни ҳал қилиш йўллари” халқаро илмий-амалий конференция Тошкент 2021, Б 232-236.



22. Ernazarov A., Urazkeldiyev A., Rajabov A., Karshiev R. Hydraulic calculation of reliability and safety parameters of the irrigation network and its hydraulic facilities// In E3S Web of Conferences (Vol. 264, 04087). April 2021.

Автореферат “IRRIGATSIYA VA MELIORATSIYA” илмий журнали тахриятида тахрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме) тилларидаги матнларини мослиги текширилди (5.10.2021 й.)

Босишга рухсат этилди: 19.10.2021 йил.  
Бичими 60x45 1/8 «Times New Roman»  
Гарнитурада рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табоғи 2,75. Адади 100. Буюртма № 69.  
ТТЕСИ босмахонасида чоп этилди.  
Тошкент шаҳри, Шохжапон кўчаси, 5 уй.



