

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.07.01
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

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

СЕЙТОВ АЙБЕК ЖУМАБАЕВИЧ

**ИСТЕЪМОЛЧИЛАРГА СУВНИ ДИСКРЕТ ЕТКАЗИБ БЕРИШ
ШАРОИТИДА ИРРИГАЦИЯ ТИЗИМИ КАНАЛЛАРИДА СУВ
ТАҚСИМЛАШНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРИШ**

05.01.02-Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш

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

Тошкент-2018

УЎК: 517.977.5+631.672.4

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

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

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

Сейтов Айбек Жумабаевич

Истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими
каналларида сув тақсимлашни оптимал бошқариш.....3

Сейтов Айбек Жумабаевич

Оптимальное управление распределением воды в каналах ирригационных
систем в условиях дискретности водоподачи потребителям19

Seytov Aybek Jumabaevich

Оптимальное управление распределением воды в каналах ирригационных
систем в условиях дискретности водоподачи потребителям35

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works39

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.07.01
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

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

СЕЙТОВ АЙБЕК ЖУМАБАЕВИЧ

**ИСТЕЪМОЛЧИЛАРГА СУВНИ ДИСКРЕТ ЕТКАЗИБ БЕРИШ
ШАРОИТИДА ИРРИГАЦИЯ ТИЗИМИ КАНАЛЛАРИДА СУВ
ТАҚСИМЛАШНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРИШ**

05.01.02-Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш

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

Тошкент-2018

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертация мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1.PhD/Г137 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш мухандислари институти қошидаги ирригация ва сув муаммолари илмий-тадқиқот институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tuit.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Рахимов Шавкат Хударгенович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Сафаров Ташпулат
техника фанлари доктори, профессор

Худайкулов Совет Ишанкулович
техника фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот:

**Ўзбекистон Республикаси Фанлар
академияси Механика ва иншоотлар
сейсмик мустаҳкамлиги институти**

Диссертациянинг ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 й. «___»_____да соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақам билан рўйхатга олинган) (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871)238-65-44).

Диссертация автореферати 2018 йил «___» _____ да тарқатилди.
(2018 йил «___» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси).

Р.Х. Ҳамдамов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Ф.М. Нуралиев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш котиб, т.ф.д., доцент

М.А. Раҳматуллаев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий
семинар раиси, т.ф.д., профессор

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий-амалий ва ахборот таҳлилий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сув ресурсларини иқтисод қилган ҳолда истеъмолчиларга етказиб беришни оптимал бошқариш масаласини ҳал қилишга, берилган мезонлар асосида уларнинг иш режимларини замонавий ахборот тизимлари билан бошқариш орқали эришишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада, жаҳоннинг бир қатор мамлакатларида, жумладан АҚШ, Франция, Испания, Хитой, Украина, Россия Федерацияси, Қирғизистон ва Ўзбекистонда сув ресурсларини иқтисод қилган ҳолда истеъмолчиларга етказиб беришда оптимал бошқаришнинг математик моделларини яратиш, уларнинг сифат мезонлари ва усулларини, оптимал бошқаришни таъминловчи зарурий шартни ишлаб чиқиш ва сув тақсимлашда замонавий ахборот тизимларидан фойдаланиб сув хўжалиги объектларининг иш режимларини назорат қилиш, ҳисоб олиб бориш орқали оптимал бошқариш масалаларини ечиш усулларини ишлаб чиқишга катта эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда сув ресурсларини истеъмолчиларга етказиб беришда сув хўжалиги объектлари, дарёлар, магистрал каналлар, ирригация тизими каналлари ва сув омборларининг иш режимларини замонавий ахборот тизимлари орқали оптимал бошқариш кўрсаткичларини математик моделларини яратиш, сифат мезонлари ҳамда усулларини ишлаб чиқиш ва уларни такомиллаштиришга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, жумладан оптимал бошқариш усуллари, сифат мезонлари, математик моделлар ва алгоритмларга асосланган сувни иқтисод қилган ҳолда истеъмолчиларга дискрет етказиб бериш шароитида сув хўжалиги объектларида сув тақсимлашни градиент проекцияси орқали оптимал бошқаришнинг усулларини ишлаб чиқишни илмий асослаш зарур масалалардан бири ҳисобланади.

Республикамизда ҳозирги пайтда истеъмолчиларга сув ресурсларини етказиб бериш муаммоси ечиш талаб қилинган муаммолардан бири бўлиб, унинг долзарблиги ирригация тизимлари каналларида сув ресурсларини иқтисод қилган ҳолда истеъмолчиларга етказиб бериш жараёнини оптимал бошқариш, берилган сифат мезонларига асосланиб, ишончлилигини ошириш ва аниқ вақтда аниқ истеъмолчини сув билан таъминлаш бўйича чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...иқтисодиёт, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимида ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш, ... мелиоратив ва ирригация объектлари тармоғини ривожлантириш»¹ вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан ирригация тизими каналлари сув ресурсларини дискрет тақсимлашда назорат қилиш, ҳисоб олиб боришни

Нашриёт лицензияси АИ № 266, 15.07.2015-й.
07.12.2018-йилда босишга рухсат этилди.
Қоғоз бичими 60 × 84^{1/16}. «Times New Roman» гарнитураси.
Кегли 12. Шартли босма табоғи 2,75. Адади 100 нусха.
Буюртма рақами 28. Баҳоси шартнома асосида.

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси
«Фан» нашриёт давлат корхонасида нашрга тайёрланди.
100047, Тошкент ш., Яхё Ғуломов кўчаси, 70-уй.

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси
«Фан» нашриёти давлат корхонаси босмахонасида чоп этилди.
10047, Тошкент ш., Яхё Ғуломов кўчаси, 70-уй

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

оптимал бошқаришнинг модел ва алгоритмларини яратиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ва 2018 йил 19 февралдаги ПФ-5349-сон «Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармонлари, 2015 йил 29 декабрдаги ПҚ-2460-сон «2016-2020 йиллар даврида қишлоқ хўжалигини янада ислоҳ қилиш ва ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу тадқиқот муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ҳозирги кунда сув хўжалиги ҳар хил объектларини математик моделлаштириш ва оптимал бошқариш масаласи бўйича жаҳоннинг бир нечта мамлакатларида тадқиқотлар олиб борилган ҳамда етарли даражада назарий ва амалий натижалар олинган. Жумладан хорижий олимлар, E. Stenley Lee, A. Mirchi, D. Watkins, K. Madani, Y. P. Li, G. H. Huang, S. L. Nie, Y. Zhou, B. Dubey, A. Patro, А.Г.Бутковский, Т.К.Серазетдинов, О.Ф.Васильев, П.И.Коваленко, Э.Э.Маковский, В.П.Куротченко, В.А.Рожнов, Т.А.Исабеков, М.М.Камилов, Т.Ф.Бекмурадов, Р.Х.Ҳамдамов, Ш.Х.Фозилов, М.А.Рахматуллаев, Н.Равшанов, И.К.Хужаев ва бошқалар ўз ишларида келтирилган.

Сув хўжалиги объектлар дарёлар, магистрал каналлар, ирригация тизими каналларида сувнинг нотекис ҳаракатини математик ва сонли моделлаштириш ҳамда уларда сувни тақсимлашни оптимал бошқариш масалалари E. Stenley Lee, A. Mirchi, D. Watkins, K. Madani, Y. P. Li, G. H. Huang, S. L. Nie, Y. Zhou, B. Dubey, A. Patro, А.Г.Бутковский, Т.К.Серазетдинов, О.Ф.Васильев, П.И.Коваленко, Э.Э.Маковский, В.П.Куротченко, В.А.Рожнов, Т.А.Исабеков, М.М.Камилов, Т.Ф.Бекмурадов, Р.Х.Ҳамдамов, Ш.Х.Фозилов, М.А.Рахматуллаев, Н.Равшанов, И.К.Хужаев ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган.

Ҳозирги кунда сув хўжалиги объектларида истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида сув тақсимлашнинг математик ҳамда сонли моделлари, сифат мезонлари, зарурий шартлари, оптимал бошқариш усуллари ва алгоритмлари ҳамда компьютер моделларни яратиш муаммолари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ирригация ва сув муаммолари илмий

1. Рахимов Ш.Х., Бегимов И., Гаффаров Х.Ш., Сейтов А.Ж. Теория оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям. Монография. Изд-во ООО «Белгим», Ташкент, 2017 с. 169.

2. Рахимов Ш.Х., Гаффаров Х.Ш., Сейтов А.Ж.. Алгоритмы оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям, //Мелиорация и водное хозяйство РФ, 2016, №6, С. 6-10. (05.00.00; №51)

3. Рахимов Ш.Х., Сейтов А.Ж., Математические модели каскада насосных станций Каршинского магистрального канала. Проблемы информатики и энергетики. Ташкент, 2017 №5, с.13-20. (05.00.00; №5)

4. Рахимов Ш.Х., Сейтов А.Ж., Математические модели водоподачи куюмазарской насосной станции с водохранилищем сезонного регулирования. Проблемы информатики и энергетики. Ташкент, 2017 №6, с.22-28. (05.00.00; №5)

5. Рахимов Ш.Х., Гаффаров Х.Ш., Сейтов А.Ж. Prerequisites for optimal distribution of water in irrigation canal systems// Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, №9–10, Vienna. 2017 С.50-58

6. Рахимов Ш.Х., Гаффаров Х.Ш., Сейтов А.Ж. Математические модели каналов ирригационных систем учитывающие дискретность водоподачи //II Международная научно-практическая конференция –Тараз, 2016 С.239-245.

7. Рахимов Ш.Х., Гаффаров Х.Ш., Сейтов А.Ж. Математическая модель оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем //Международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода и жизни» – Алматы, 2016 С.148-153

8. Рахимов Ш.Х., Сейтов А.Ж., Жумамуратов Д.К., Рахимова Ф.Ш. Управление переходными процессами на участке канала между двумя гидротехническими сооружениями, где имеют заборы воды. Международной научно-практической конференции «Инновация в производстве и подготовке технических кадров» –Актобе, 2016 С.105-107

9. Рахимов Ш.Х., Сейтов А.Ж., Имомов Ш.Н., Шербаев М.Р., Алгебраический подход к моделированию и оптимизации процессов водоподачи на крупных насосных станциях. Международной научно-практической конференции –Ташкент, 2017.

10. Рахимов Ш.Х., Сейтов А.Ж., Айдарова А.Б., Комплекс программ расчета задач оптимального водораспределения в магистральном канале. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Ташкент, 2018. № DGU 05615, 11.09.2018г.

Water Resources of the Republic of Uzbekistan on the implementation of the algorithm obtained using the projection method of the optimal control of water distribution using the Saint-Venant full system of differential equations describing the unsteady water movement in canals (Conclusion of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan No. 02/25-1232 of August 8, 2018). As a result of scientific research, the developed numerical algorithm, in terms of water supply discretion to consumers, makes it possible to reduce water losses by 7-10%, improve irrigation efficiency by 5% and improve the quality of crop production.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references and applications. The volume of the dissertation is 107 pages.

тадқиқот институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг №КХФ-5-017-«Истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизимларида оптимал сув тақсимлаш назариясини ишлаб чиқиш» (2012-2016) мавзусидаги лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади математик моделлаштириш, оптимал бошқариш усуллари ёрдамида истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида оптимал сув тақсимлаш жараёнини бошқаришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида оптимал сув тақсимлашни бошқаришнинг сифат мезонларини ва математик моделини ишлаб чиқиш;

истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида оптимал сувни тақсимлашнинг зарурий шартини ишлаб чиқиш;

истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сувни оптимал тақсимлашнинг зарурий шартини асосида оптимал бошқаришнинг усулларини ишлаб чиқиш;

Жанубий Мирзачўл магистрал каналининг сув тақсимооти бўйича оптимал бошқариш масаласининг ечишнинг алгоритми ва дастурий таъминотини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида оптимал сув тақсимлашни бошқариш жараёни олинган.

Тадқиқотнинг предмети истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сув тақсимлашни оптимал бошқариш моделлари, усуллари ва алгоритмлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида математик ва сонли моделлаштириш усуллари, оптимал бошқариш ва тарқатма параметрли системаларни алгоритмлаштириш ҳамда тизимли таҳлилнинг тамойилларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги куйидагилардан иборат:

истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларидаги сувнинг нотекис ҳаракатини ифодаловчи Сен-Венаннинг хусусий ҳосилали дифференциал тенгламалар системасини такомиллаштириш асосида оптимал сув тақсимлашни бошқаришнинг математик моделлари, сифат мезонлари ишлаб чиқилган;

каналдаги сувни истеъмолчиларга етказиб беришда сув сарфининг дискретлигини таъминлашда Диракнинг дельта-функциясини такомиллаштириш асосида ирригация тизими каналларида оптимал сувни тақсимлашнинг зарурий шартини ишлаб чиқилган;

ирригация тизими каналларида истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида оптимал сувни тақсимлашнинг зарурий шартини асосида оптимал бошқаришнинг усуллари ишлаб чиқилган;

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

каналларда сувни тақсимлашни дискретлигини таъминлаган ҳолда оптимал бошқариш масаласини чекли айирмалар усули асосида ечишнинг алгоритмлари яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизим каналларида сув тақсимлашнинг оптимал бошқариш сонли алгоритмлари асосида сувнинг нотекис ҳаракатини ифодаловчи Сен-Венаннинг хусусий хосилали дифференциал тенгламалар системасининг такомиллаштирилган математик моделлари сонли ечиш, сифат мезонлари белгилаш масалаларини ечишга мўлжалланган дастур ишлаб чиқилган;

сув хўжалиги объектлари дарёлар, магистрал каналлар ва ирригация тизим каналларида истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб беришда шароитида Диракнинг дельта-функциясини такомиллаштириб, сув тақсимлашни оптимал бошқариш учун дастурий восита ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ўтказилган назарий ва экспериментал тадқиқотларга асосланган, ҳар хил вариантдаги сонли экспериментлар билан табиий шароитда Жанубий Мирзачўл магистрал канали эксплуатация бошқармаси ва «Паркент – Карасув» ирригация тизими Паркент магистрал каналларидан олинган маълумотлар билан солиштирилганлиги ҳамда уларнинг объект хусусиятларига мослиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ишлаб чиқилган истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизим каналларида сув тақсимлашни оптимал бошқаришнинг математик ва сонли моделлари, сув тақсимотининг сифат мезонлари, сонли усуллар асосида самарали ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилганлиги ҳамда уларга асосланган алгоритмик-дастурий воситалар яратилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти эришилган сув тақсимотининг аниқлиги, каналларнинг техник ва интеллектуал қуролланганлигини ошириши, истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида сув ресурсларини йўқотишларни камайтириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизим каналларида сув тақсимлашни оптимал бошқариш бўйича олинган натижалар асосида:

сувнинг нотекис ҳаракатини ифодаловчи Сен-Венаннинг хусусий хосилали дифференциал тенгламалар системасини такомиллаштирилган математик моделлари ҳамда дастурий восита Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлиги тасарруфидаги «Жанубий Мирзачўл магистрал канали эксплуатация бошқармаси» объектларига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигининг 2018 йил 8 августдаги 02/25-1232-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида ирригация тизими каналларида сув тақсимлашни оптимал бошқаришда сув

The aim of the study is to manage the process of optimal distribution of water in the conditions of the discreteness of water supply to consumers, using the methods of optimal control and mathematical modeling.

The object of research work is the process of optimal control of the distribution of water in the canals of irrigation systems under the conditions of the discontinuity of water supply to consumers.

The scientific novelty of the research work is as follows:

quality criteria and mathematical models were developed for optimal control of water distribution, improvement of Saint-Venant partial differential equations describing unsteady water movement in irrigation canals under conditions of water supply discontinuity to consumers;

the necessary conditions for the optimal distribution of water in the canals of irrigation systems, the improvement of the Dirac delta function, under the conditions of the water supply to consumers are developed;

a gradient projection method has been developed based on the necessary conditions for the optimal distribution of water in the canals of irrigation systems under conditions of water supply discontinuity to consumers, improvement of the gradient projection method;

an algorithm and software were created based on the finite-difference method of the optimal control problem while maintaining discreteness in the distribution of water in the channels.

Implementation of research results. Based of the obtained results related to the optimal control of water distribution in the canals of irrigation systems under the conditions of the discreteness of water supply to consumers:

a conclusion was obtained from the management of the operation of the South Golodnostepsky main canal of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan on the implementation of mathematical models and software obtained on the son of the advanced Saint-Venant partial differential equations describing unsteady flow of water (Conclusion of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan No. 02/25-1232 of August 8, 2018). The results of scientific research make it possible, with optimal management of water distribution in the canals of irrigation systems, by reducing the loss of water resources by 5-7% make it possible to increase the efficiency of irrigation and crop quality of crops;

a conclusion was obtained from the management of the Syr Darya-Zarafshan irrigation system of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan on the implementation of the algorithm and software for the optimal management of water delivery in canals, obtained on the basis of the Dirac delta function, which provides water supply to consumers (Conclusion of the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan No. 02/25-1232 of August 8, 2018). As a result of scientific research, the developed software increases the efficiency of operating modes of hydraulic structures by 10-12%;

a conclusion was obtained from the Parkent–Karasu irrigation system of the basin management of the Chirchik-Akhangaran irrigation system of the Ministry of

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences is registered in the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under the number B2017.1.PhD / T137

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.PhD / T137

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

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Russian, Uzbek, English (summary)) on website www.tuit.uz and the website of «ZiyoNet» the information and educational portal www.ziynet.uz.

Scientific adviser:	Rakhimov Shavkat Khudargenovich doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	Safarov Tashpulat doctor of technical sciences, professor
	Xudaykhulov Savet Ishankhulovich doctor of technical sciences, docent
Lead organization:	Academy sciences of the Republic of Uzbekistan institute of mechanics and stability of structures

The defense at dissertation will take place on «___» _____ 2018. at _____ on the meeting of the Scientific Council №. DSc.27.06.2017.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel: (99871) 238-64-43, fax: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation could be reviewed at the Information Resource Center of the Tashkent University of Information Technologies at (is registered under No. _____). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Phone: (99871) 238-65-44).

The abstract of dissertation is distributed on «___» _____ 2018 y.
(Protocol at the register No. ___ on «___» _____ 2018 y.).

R.Kh. Khamdamov
Chairman of the Scientific council
awarding of scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

F.M.Nuraliyev
Scientific secretary of the scientific council
awarding of scientific degrees,
doctor of technical sciences, docent

M.A.Rakhmatullaev
Chairman of the academic seminar under
the scientific council awarding of scientific
degrees, doctor of technical sciences, professor

ресурсларини йўқолишлари 5-7% гача камайтириш ҳисобига экин майдонларининг вақтида суғориш самарадорлигини ҳамда олинадиган ҳосил сифатини ошириш имконини берган;

Диракнинг дельта-функцияси асосида дискрет сув тақсимлаш сифат мезонлари, каналларда сувни етказиб беришни оптимал бошқариш алгоритми ва дастурий воситаси Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирилиги тасарруфидаги «Сирдарё-Зарафшон» ирригация тизими ҳавза бошқармаси каналларига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигининг 2018 йил 8 августдаги 02/25-1232-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида ишлаб чиқилган дастурий таъминот каналларнинг сув чиқарувчи гидротехник иншоотларининг ишлари самарадорлигини 10-12%га ошириш имконини берган;

сувнинг нотекис ҳаракатини ифодаловчи Сен-Венаннинг тўлик дифференциал тенгламалар системаси математик моделини оптимал бошқаришнинг масаласини градиент проекцияси усули ёрдамида ечишнинг алгоритмлари “Чирчиқ-Охангарон” ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси тасарруфидаги «Паркент – Карасув» ирригация тизими Паркент магистрал каналига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигининг 2018 йил 8 августдаги 02/25-1232-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида ишлаб чиқилган ҳисоблаш алгоритми истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими сув ресурсларида йўқотишларни 7-10%гача камайтириш ҳамда экин майдонларини суғоришнинг самарадорлигини 5%гача ва олинадиган ҳосилнинг сифатини яхшилаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 4 та халқаро илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқот мавзуси бўйича жами 10 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 1 та монография ҳамда Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлар 4 та мақола, 2 таси хорижий, 2 таси республика журналларида чоп этилган ҳамда 1 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситалар қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 107 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устивор йўналишларига мослиги кўрсатилган. Тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган ҳамда тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги

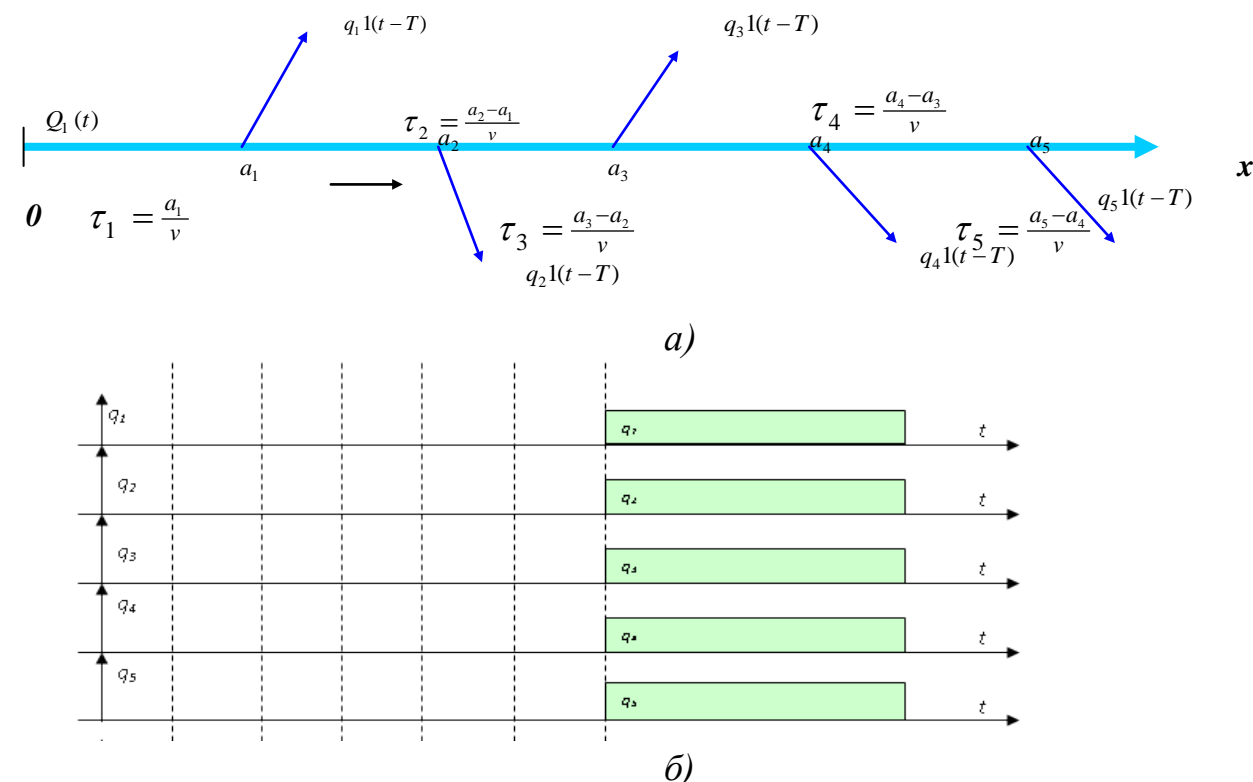
асослаб берилган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертация ишининг «Истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сув тақсимлашнинг математик моделлари ва сифат мезонларини ишлаб чиқиш» деб номланган биринчи боби учта параграфдан иборат. Унда диссертация иши бўйича тадқиқотнинг қисқа аналитик таҳлили, ирригация тизими каналларининг математик моделлари натижалари обзори келтирилган.

Сув хўжалиги объектлари катта фазовий кенгликка эга бўлиб, технологик ва техник параметрлар мажмуаси ҳисобланади, фақатгина математик моделлаштиришнинг усуллари ёрдамида сув хўжалиги объектларининг эксплуатация даврида миқдорий ва сифат мезонлари характеристикаларини аниқлаш мумкин.

Ҳозирги кунда сув хўжалиги объектларининг динамикасини моделлаштиришнинг ягона тизимли усули мавжуд эмас, фақатгина алоҳида объектларнинг ҳар хил мураккаблик даражасидаги математик моделлари мавжуд. Шунинг учун сув хўжалиги объектларида сувни етказиб бериш ва сув тақсимлаш жараёнларини керакли даражадаги аниқлик билан кўрсатувчи математик моделини танлаш муаммо бўлиб келмоқда.

Ирригация тизимлари каналларини бошқариш моделларини уч хил турлари мавжуд: статик моделлар, аниқ параметрли динамик моделлар ва тақсимланган параметрли динамик моделлар. Ушбу моделлар ўзаро кирувчи параметрлари, қиймати, бошланғиш маълумотлари ва натижаларининг деталлашиш даражаси билан фарқланади.



Расм. 2. Каналда сувни дискрет етказиб бериш

SEYTOV AYBEK JUMABAEVICH

OPTIMAL CONTROL OF WATER DISTRIBUTION IN CANALS OF
IRRIGATION SYSTEMS UNDER CONDITION OF CONSUMER WATER
CONNECTION DISTRIBUTION

05.01.02-« System analysis, management and information processing

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

Tashkent 2018

распределения воды в участках самотечных каналов, для боковых их водозаборов.

3. Разработаны математические модели оптимального распределения воды в каналах ирригационных систем на основе полной модели неустановившегося движения воды на участке канала.

4. Разработаны способы получения необходимых условий оптимальности распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водопдачи потребителям на основе принципа максимума для системы с распределенными параметрами.

5. Разработан метод оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водопдачи, основанные на полученного необходимых условиях оптимальности для полной модели неустановившегося движения воды в каналах

6. Разработаны алгоритм программный комплекс расчета задач оптимального водораспределения в Южном Голодностепском магистральном канале в условиях дискретности водопдачи потребителям, обеспечивающие оптимальное распределение воды потребителям на участках канала, ограниченного гидротехническими сооружениями.

7. Проведены расчеты отдельных задач оптимального водораспределения в условиях дискретности водопдачи потребителям на участках Южного Голодностепского магистральном канале, результаты которых показывают, что увеличенный расход в начале канала позволяет повысить уровень воды в участках канала. Повышение уровня воды на участках по длине канала колеблется от 1,4 м до 1,9 м, что обеспечит водопдачу потребителям.

8. Результаты диссертационной работы в виде программного комплекса внедрены в Управлениях эксплуатации Южного Голодностепского канала и канала «Ташкент» ирриационной системы «Паркент-Карасув», которые обеспечат оптимальное распределение воды потребителям этих каналов.

Сувдан фойдаланувчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизимлари каналларининг математик моделлари ишлаб чиқилди. Беш сув олувчи нуқталари бор каналнинг қисмини кўриб чиқамиз (расм 2., а) и б)). Сув беришнинг дискретлигини ҳисобга олувчи сув тақсимлаш масаласини ҳар бир сув олиш нуқтаси учун T вақтида q_i сув ҳажмини таъминлаш, яъни ушбу канал қисмида минимал тарзда сув тўлқинланишидаги сув истеъмолининг кетма-кет ўзгариши масаласи сифатида кўриб чиқамиз.

Биз томонимиздан канал қисмида Сен-Венан дифференциал тенгламалар системаси орқали ифодаланувчи, энергиянинг сақланиш қонунлари шаклида ёзилган сув оқимининг нотекис ҳаракатининг тўлиқ модели ишлаб чиқилди.

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q, \\ \frac{1}{g\omega} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + 2v \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \left[1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right] \frac{\partial z}{\partial x} = \\ = \left[i + \frac{1}{B} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=const} \right] \left(\frac{v}{c} \right)^2 - \frac{Q|Q|}{K^2}, \quad (1)$$

Бу ерда $v = \frac{Q}{\omega}$, $c = \sqrt{\frac{g\omega}{B}}$, $Q = Q(x, t)$ – сув истеъмоли; $z = z(x, t)$ – бўш майдон ординатаси; g – гравитацион доимий; i – дарё ости нишаблиги; $B = B(z)$ – кесим майдонидаги оқимнинг кенглиги; $\omega = \omega(z)$ – оқимнинг кесим майдони;

$c = c(z)$ – кичик тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги; $K = K(z)$ – сув сарфи модули.

Оқимни белгиловчи функциялар сифатида сарф $Q(x, t)$ ва бўш сиртки майдоннинг ординатаси $z(x, t)$ олинди. Мустақил ўзгарувчилар бу узунлама координата x ва вақт t .

Каналнинг ости ординатаси $z_0(x)$ ва вертикал канал остидан z масофадаги тескари кесининг кенглиги $B(x, t)$ билан берилади.

Шунда: оқим чуқурлиги: $h(x, t) = z(x, t) - z_0(x)$; оқимнинг тескари кесим майдони: $\omega(x, h) = \int_0^h B(x, z) dz$; оқимнинг ўртача тезлиги: $v = Q/\omega$; кичик тўлқинлар тарқалиш тезлиги: $c = \sqrt{g\omega/B}$; дарё ости қиялиги $i = -dz_0/dx$.

(1) тенгламаларнинг характеристик формаси қуйдаги кўринишга эга

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + (v \pm c) \frac{\partial Q}{\partial x} - B(v \mp c) \left[\frac{\partial z}{\partial t} + (v \pm c) \frac{\partial z}{\partial x} \right] = \\ = \left(\varphi - \frac{Q|Q|}{K^2} \right) g\omega - (v \mp c)q. \quad (2)$$

Бу ерда $\varphi = \left[i + \frac{1}{B} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=const} \right] \left(\frac{v}{c} \right)^2$

Бошланғич шартлар ушбу кўринишда бериледи

$$z(x,0) = z_0(x), \quad Q(x,0) = Q_0(x), \quad (3)$$

Бу ерда: $Q_0(x)$, $z_0(x)$ -маълум функциялар.

$x_1=0$ и $x_2=l$ нукталарида чегаравий шартлари куйидаги кўринишда ёзилади

$$Q(0,t) = u_1(t), \quad Q(l,t) = u_2(t) \quad (4)$$

Каналнинг сув олиш пунктларида сув сарфи, тенгламанинг ўнг қисми (2) сув тақсимланишининг дискретлиги шароитида куйидаги кўринишга эга

$$q(x,t) = -\sum_{i=1}^5 q_i \delta(x - a_i) l(t - T). \quad (5)$$

Тенгламанинг аналитик ечими (2) бошланғич ва сўнгги шартларда мавжуд эмас, сабаби сув оқимининг гидравлик параметрлари тескари кесининг шаклига боғлиқ чизикли бўлмаган функция ҳисобланади.

Ён сув олиш нукталари ифодасидан (5) кўриниб турибдики, истеъмолчиларга ступенчатий функция шаклида вақтда дискрет сув етказиб беришни таъминланади. Ступенчатий функцияларда сувни оқилон тақсимлаш масаласини ечиш учун истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сув тақсимлашнинг сифат мезонларини ва чекловлар тизимини ишлаб чиқиш зарур.

Каналнинг қисмини бошқариш сифат мезонлари тармоқланган параметрларга эга тизим сифатида интеграллашган функционаллар йиғиндиси кўринишида ёзилади

$$I = \int_0^T \int_0^L F_1(x,t, Q(x,t), u(x,t)) dx dt + \int_0^T F_2(t, Q(0,t), u_1(t)) dt + \int_0^T F_3(t, Q(L,t), u_2(t)) dt + \int_0^L F_4(x, Q(x,T)) dx, \quad (6)$$

Бу ерда F_i , $i=1, \dots, 4$ –ўз аргументларига эга берилган узлуксиз функциялар, бунда биринчи қисми тармоқланган бошқарув таъсирлар учун мезонлар, иккинчи ва учинчи – чегаравий бошқарувлар, тўртинчи эса – бошқарув жараёнининг якуний ҳолатлари.

Канал қисмида аниқланмаган оқимнинг тўлиқ модели учун ирригацион тизимларнинг каналларида сувни оқилон тақсимлаш масаласи қўйилган. Масаланинг асосий мақсади ён сув олиш пунктларида сув сарфининг ва канал бошида сув сарфини бошқариш орқали канал қисмидаги сув баландлигининг ўзгаришини камайтириш.

Q ($\text{м}^3/\text{с}$)

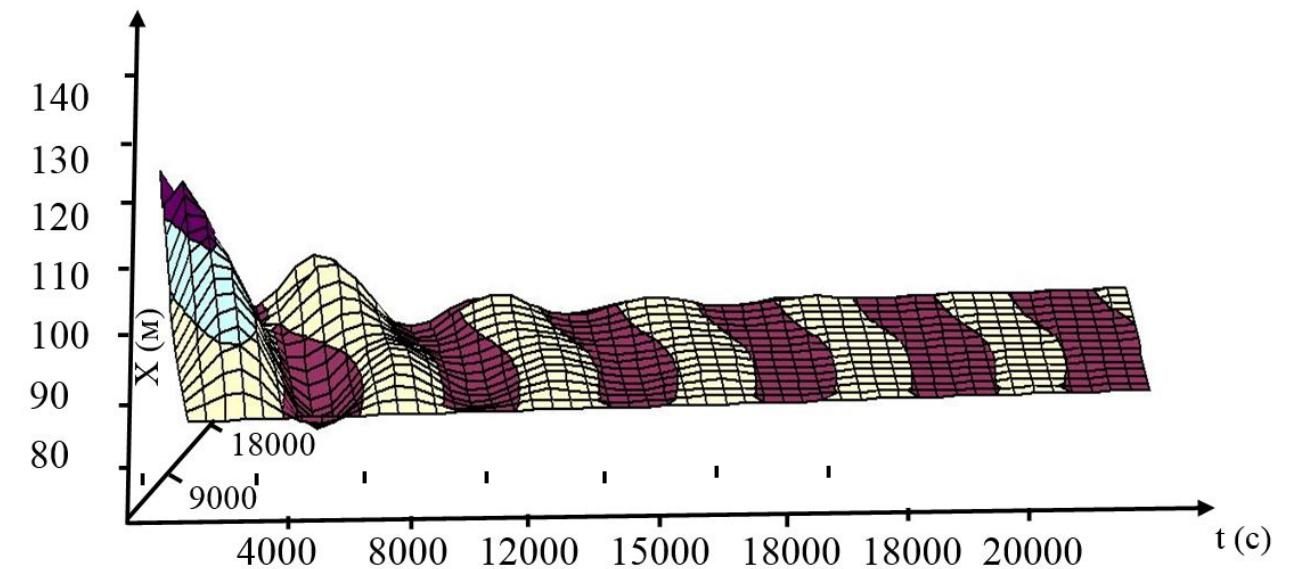


Рис.5. Изменение расхода воды по времени и длине участка Южного Голодностепского магистрального канала

Из рисунков видно, что, после открытия затворов увеличенный расход в начале участка канала позволяет повысить уровень воды по длине указанного участка ЮГМК. В течение $t = 20\ 823$ с (34,7 мин.) уровень воды в конце участка увеличивается на 1,9 м.

Сравнение результатов численных экспериментов и натуральных исследований, проведенных в этот участок ЮГМК показывает, что параметры расхода и уровня воды в них отличаются незначительно, их погрешность составляет не более 5-10%.

Это подтверждает, что разработанный нами алгоритм работоспособен и может быть использован для расчёта оптимального управления распределением воды в участках различных самотечных каналов ирригационных систем отрасли водного хозяйства республики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По теме диссертационного исследования «Оптимальное управление распределением воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям» представлены следующие основные выводы:

1. Разработаны математические модели течения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям во времени в виде ступенчатой функции, полученной на основе полной системы дифференциальных уравнений Сен-Венана, описывающих неустановившееся движение воды в русле канала.

2. Определены критерии качества распределения воды в каналах, условия дискретности водоподачи потребителям и ограничения на процесс

Для вычисления матрицы G необходимо вычислить обратную к матрице A матрицу A^{-1} . Одним из эффективных способов вычисления G_{ij} элемента матрицы G, является матричная прогонка, учитывающая трехдиагональную структуру системы уравнений (29).

Далее указанная процедура повторяется при другом значении j. Таким образом, вычисленная матрица G запоминается.

Таким образом получен единый алгоритм для моделирования участков канала с помощью полной системы дифференциальных уравнений неустановившегося движения воды в канале.

Зная $Z_{0n}, z_{0n}, u_1^k, u_2^k$ и q_n^k и, решая уравнение на основе вышеизложенного алгоритма, можно определить изменения Z_n^{k+1}, Q_n^{k+1} во времени и по длине на участках ЮГМК.

С помощью полученного алгоритма разработана программы расчёта задач водораспределения в ЮГМК в условиях дискретности водоподачи потребителям на одном из современных языков программирования Delphi.

Расчёты отдельных задач оптимального управления задач распределением воды в ЮГМК в условиях дискретности водоподачи потребителям проведены с использованием данного разработанного программного комплекса.

Z (м)

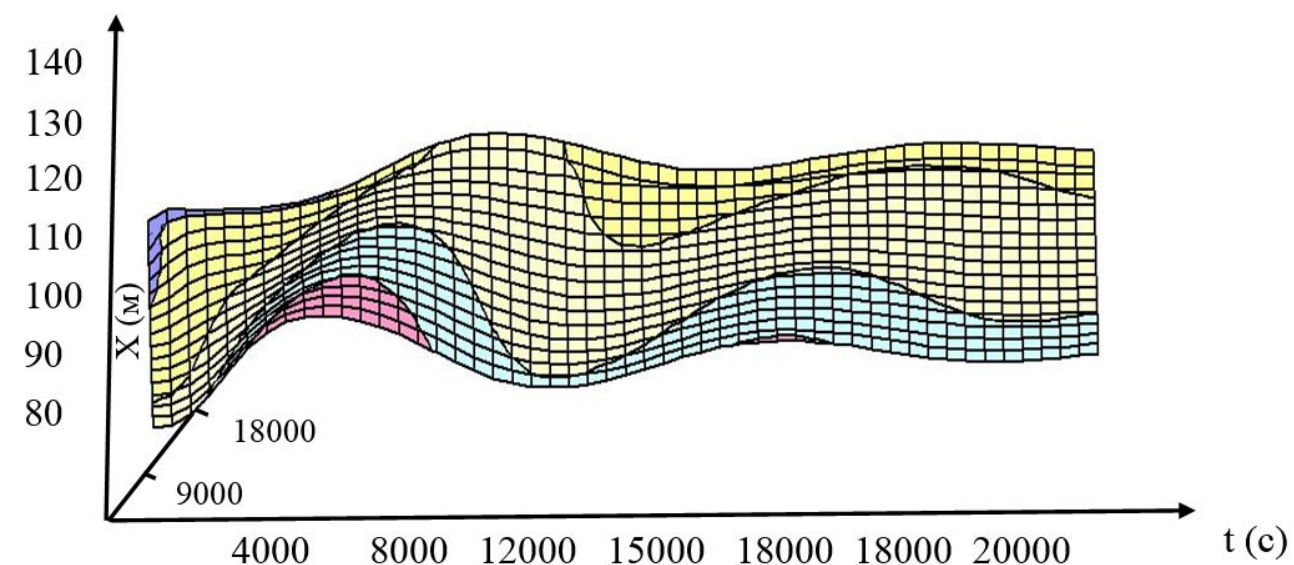


Рис.4. Изменение уровней воды по времени и длине участка Южного Голодностепского магистрального канала

$$I = \left(\int_0^T \int_0^l [z(x,t) - z^*]^2 dx dt + \sum_{j=1}^N \int_0^T (q_j(t) - q_j^*)^2 dt \right) \rightarrow \min \quad (7)$$

$$\Omega = \{R^N \mid Q_{\min} \leq Q(x,t) \leq Q_{\max}\}$$

Қўйидаги шартларда

$$\begin{cases} B(x,t) \frac{\partial z(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = q(x,t), \\ \frac{1}{g\omega(x,t)} \left(\frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} + 2v(x,t) \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} \right) + \left[1 - \left(\frac{v(x,t)}{c(x,t)} \right)^2 \right] \frac{\partial z(x,t)}{\partial x} = \\ = \left[i + \frac{1}{B(x,t)} \left(\frac{\partial \omega(x,t)}{\partial x} \right)_{h=const} \right] \left(\frac{v(x,t)}{c(x,t)} \right)^2 - \frac{Q(x,t)|Q(x,t)|}{K(x,t)^2}, \\ q(x,t) = -\sum_{i=1}^5 q_i \delta(x - a_i) l(t - T), \\ v(x,t) = \frac{Q(x,t)}{\omega(x,t)}, \quad c = \sqrt{\frac{g\omega}{B}}, \quad K(x,t) = \omega(x,t)C(x,t)\sqrt{R(x,t)i} \\ C(x,t) = \frac{1}{n} R(x,t)^y, \quad y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1), \\ Q(x,0) = Q_0(x), \quad \omega(x,0) = \omega_0(x), \\ x \geq 0, \quad t \geq 0, \quad v > 0. \end{cases} \quad (8)$$

Бошқарувчи таъсир

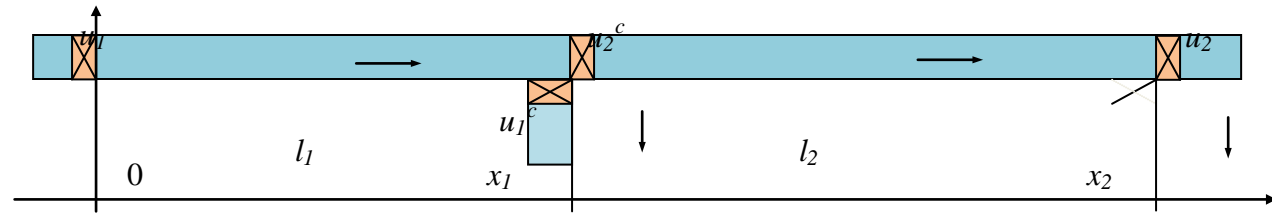
$$Q(0,t) = Q_1(t), \quad Q(l,t) = Q_2(t), \quad (9)$$

Канал қисмининг иш тартибига чекловлар қўйидаги кўринишда бўлади

$$\begin{cases} z_i^{\min} \leq z_i(x,t) \leq z_i^{\max}, \\ Q_i^{\min} \leq Q_i(x,t) \leq Q_i^{\max}. \end{cases} \quad (10)$$

(8) шароитдаги Минимизация масаласи (7), (9) бошқарув таъсирида ва (10) чекловлар шароитида тармоқланган параметрли квазилинеар тизимларни бошқариш масаласидир. Канал қисмида сув оқимининг ноаниқ ҳаракатининг тўлиқ модели сув оқимининг барча асосий гидравлик хусусиятларини ҳисобга олади.

Диссертацияси ишининг «Ирригация тизими каналларида сув тақсимотининг оптималлик зарурий шартини ишлаб чиқиш» деб номланган иккинчи бобида уларни ишлаб чиқишнинг натижалари кўрсатилган. Бир бири билан гидротехник қўрилма билан боғланган икки қисмли канал қўриб чиқилган. (расм.3.).



Расм. 3. Канал схемаси

Канал қисмларининг математик модели сифатида Сен-Венаннинг тўлиқ дифференциал тенгламалар системаси ишлаб чиқилган. Бошланғич ва чегаравий шартлар аниқланган (расм.3.) $x_1=0$, $x_2= l_1$, нуқталарида бирлашиш шартлари $x_1= l_1$ нуқтасида.

Сув тақисмланишининг оптимал бошқаруви масаласи кўйдаги кўринишда шаклланади: $[0, T]$ вақт масофасида $u_{1*} \leq u_1(t) \leq u_1^*$, $u_{2*} \leq u_2(t) \leq u_2^*$, $u_{1*}^c \leq u_1^c(t) \leq u_1^{c*}$, $u_{2*}^c \leq u_2^c(t) \leq u_2^{c*}$ шаклидаги сув сарфининг интеграллашган ўзгаришини камайтирувчи гидротехник қурилмалардан ўтувчи сув бошқарувларни белгилаш талаб этилади.

Оптималлик мезони кўйдагича ёзилади

$$I = k_1 \int_0^T G_c^1 [z_1(l_1, t), u_1^c(t)] dt + k_2 \int_0^T G_c^2 [z_2(l_2, t), u_2^c(t)] dt \quad (11)$$

$u_{10}(t), u_{20}(t), u_{10}^c(t), u_{20}^c(t)$. Эхтимолли дастурий бошқарувларининг кўплиги маълум дейлик. $\delta u_1(t), \delta u_2(t), \delta u_1^c(t), \delta u_2^c(t)$ шаклидаги дастурий бошқарувларнинг оптималликка таъсири таҳлил қилинган.

Оптимал траектория атрофида (11) ни Тейлор даражали каторига ёйиб, катордаги биринчи даражадан юқори коэффициентларни олиб ташлаб, тенгламани кўйдаги кўринишда оламиз

$$\frac{\partial \delta z_i}{\partial t} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial z_i} \right)_0 \delta z_i + \left(\frac{\partial f_i^1}{\partial Q_i} \right)_0 \frac{\partial \delta Q_i}{\partial x_i} + \left(\frac{\partial f_i^1}{\partial q_i^1} \right)_0 \delta q_i, \quad (12)$$

$$\frac{\partial \delta Q_i}{\partial t} = \left(\frac{\partial f_i^2}{\partial z_i} \right)_0 \delta z_i + \left(\frac{\partial f_i^2}{\partial Q_i} \right)_0 \delta Q_i + \left(\frac{\partial f_i^2}{\partial z_i'} \right)_0 \frac{\partial \delta z_i}{\partial x_i} + \left(\frac{\partial f_i^2}{\partial Q_i'} \right)_0 \frac{\partial \delta Q_i}{\partial x_i}, \quad (13)$$

Бу ерда (12), (13) $(\cdot)_0$ симболи тегишли ўзгарувчи оптимал траекторияда ўлчанганини билдиради.

Худди шундай (11) оптималлик мезони учун кўйдагиларни кўраимиз

$$\delta I = \int_0^T \left\{ \left(\frac{\partial G_c^1}{\partial z_1(l_1, t)} \right)_0 \delta z_1(l_1, t) + \left(\frac{\partial G_c^1}{\partial u_1^c(t)} \right)_0 \delta u_1^c(t) \right\} - \int_0^T \left\{ \left(\frac{\partial G_c^2}{\partial z_2(l_2, t)} \right)_0 \delta z_2(l_2, t) + \left(\frac{\partial G_c^2}{\partial u_2^c(t)} \right)_0 \delta u_2^c(t) \right\} dt \quad (14)$$

окрестности предыдущего шага по времени, тогда в дискретном виде получим

$$Z_{i0}^{k+1} = Z_{i0}^k + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial u_1} \right)_0^k (u_1^{k+1} - u_1^k) + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial z_{\theta 0}} \right)_0^k (z_{\theta 0}^{k+1} - z_{\theta 0}^k) + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial z} \right)_0^k (z_{i0}^{k+1} - z_{i0}^k), \quad (23)$$

$$Z_{iN}^{k+1} = Z_{iN}^k + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial u_2} \right)_0^k (u_2^{k+1} - u_2^k) + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial z} \right)_0^k (z_{iN}^{k+1} - z_{iN}^k) + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial z_{\theta 0}} \right)_0^k (z_{\theta 0}^{k+1} - z_{\theta 0}^k)$$

означают производные функции расхода воды гидротехнического сооружения, расположенного в начале и в конце участка канала относительно аргументов $u_1, z_{\theta 0}$ и z_{i0} .

Граничные условия (4) преобразуем к виду

$$Q_{0i}^{k+1} + \alpha_{0i}^k z_{0i}^{k+1} = \beta_{0i}^{k+1}, \quad (24)$$

$$Q_{Ni}^{k+1} + \alpha_{Ni}^{k+1} z_{Ni}^{k+1} = \beta_{Ni}^{k+1},$$

Далее, с помощью системы разностных уравнений (24) и граничных условий (4), получим разностные граничные условия

$$P_0^k Z_0^{k+1} + R_0^k Z_1^{k+1} = w_0^k, \quad (25)$$

$$R_N^k Z_{N-1}^{k+1} - P_N^k Z_N^{k+1} = w_N^k$$

Здесь для начального створа участка канала в качестве коэффициентов первого уравнения для граничных условий взяты коэффициенты первого уравнения, а для конечного створа взяты коэффициенты второго уравнения в системе уравнений характеристической формы неустановившегося движения воды.

Уравнения (25) представляют собой замкнутую трехдиагональную систему уравнений. Они записываются следующим образом

$$P_0^k Z_0^{k+1} + R_0^k Z_1^{k+1} = w_0^k,$$

$$P_n^k \cdot Z_{n-1}^{k+1} + R_n^k \cdot Z_n^{k+1} - P_n^k \cdot Z_{n+1}^{k+1} = w_n^k, \quad n = 1, \dots, n-1, \quad k = 0, 1, \dots, \quad (26)$$

$$P_N^k Z_{N-1}^{k+1} - R_N^k Z_N^{k+1} = w_N^k,$$

Эту систему уравнений можно записать и в общем виде

$$\sum_{j=0}^N A_{ij}^k \cdot Z_j^{k+1} = \omega_i^k, \quad i = 0, \dots, n, \quad k = 0, 1, \dots \quad (27)$$

здесь A_{ij} – элемент матрицы A , являющийся матрицей размерностью 2×2 .

$$Z_i^{k+1} = \sum_{j=0}^N G_{ij}^k \cdot \omega_j^k, \quad i = 0, \dots, N, \quad k = 0, 1, \dots$$

где G_{ij} – элемент матрицы G , обратной к матрице A .

Формулу (27) можно записать в виде

$$Z_{ni}^{k+1} = \sum_{j=0}^N \sum_{m=1}^2 G_{nmij}^k \cdot \omega_{mj}^k, \quad n = 1, 2, \quad i = 0, \dots, n, \quad k = 0, 1, \dots, \quad (28)$$

здесь Z_{ni}^{k+1} и w_{mj}^k , $n, m = 1, 2$; $i, j = 1, \dots, n$ при фиксированном k являются прямоугольными матрицами размерностью $2 \times n$.

Выражение (28) удобно написать в тензорной форме

$$Q_{ni}^{k+1} = G_{nmij}^k \cdot w_{mj}^k, \quad n = 1, 2, \quad i = 0, \dots, N, \quad k = 0, 1, \dots, \quad (29)$$

т.е. опущен знак суммы и суммирование производится по парным индексам.

$$u_2^{m+1}(t) = \begin{cases} u_{2\min} & \text{при } u_2^m(t) - \alpha_m \delta u_2^m(t) < u_{2\min}, \\ u_2^m(t) - \alpha_m \delta u_2^m(t) & \text{при } u_{2\min} \leq u_2^m(t) - \alpha_m \delta u_2^m(t) \leq u_{2\max}, \\ u_{2\max} & \text{при } u_2^m(t) - \alpha_m \delta u_2^m(t) > u_{2\max}. \end{cases} \quad (18)$$

$$u_1^{cm+1}(t) = \begin{cases} u_{1c\min} & \text{при } u_1^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_1^{cm}(t) < u_{1c\min}, \\ u_1^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_1^{cm}(t) & \text{при } u_{1c\min} \leq u_1^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_1^{cm}(t) \leq u_{1c\max}, \\ u_{1c\max} & \text{при } u_1^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_1^{cm}(t) > u_{1c\max}. \end{cases} \quad (19)$$

$$u_2^{cm+1}(t) = \begin{cases} u_{2c\min} & \text{при } u_2^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_2^{cm}(t) < u_{2c\min}, \\ u_2^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_2^{cm}(t) & \text{при } u_{2c\min} \leq u_2^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_2^{cm}(t) \leq u_{2c\max}, \\ u_{2c\max} & \text{при } u_2^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_2^{cm}(t) > u_{2c\max}. \end{cases} \quad (20)$$

Сущность метода для рассмотренной задачи заключается в том, что, если $u_1^k(t)$, $u_2^k(t)$, $u_1^{ck}(t)$ и $u_2^{ck}(t)$ не являются оптимальными, то приращение управлений выбираются так, чтобы обеспечить движение системы в направлении противоположном градиенту вариации функционала.

В четвертой главе диссертации «**Разработка алгоритмов и программного комплекса решения задач оптимального управления распределением воды потребителям**» дано подробное описание данного объекта апробации разработанного метода оптимального управления распределением воды потребителям. Как было сказано выше участок канала как объект с распределенными параметрами описывается системы дифференциальными уравнениями первого порядка по времени и второго порядка по пространственной переменной с соответствующими начальными (3) и граничными условиями (4), а также условиями сопряжения участков канала.

Для численного решения краевых задач (1,2,3) используем метод конечных разностей. В области $\Omega = \{0 \leq x \leq l, 0 \leq t \leq T\}$ введем сетку

$$\bar{\omega}_{h\tau} = \{(x_i, t_j) \mid x_i = ih; t_j = j\tau; i = 0, 1, \dots, N; j = 0, 1, \dots, M; h = l/N; \tau = T/M\}$$

с шагами h по x и τ по T .

Аппроксимируя систему уравнений (1) с помощью абсолютно устойчивой неявной разностной схемы, имеющей второй порядок аппроксимации по x , и первый порядок аппроксимации по t , получим

$$S_i^k \frac{Z_i^{k+1} - Z_i^k}{\tau} + (\Delta S)_i^k \frac{Z_{i+1}^{k+1} - Z_{i-1}^{k+1}}{2h} = F_n^k + \left(\frac{\partial F}{\partial Z} \right)_n^k Z_i^k, \quad i = 1, \dots, n-1, k = 1, \dots, m \quad (21)$$

Правая часть уравнений (1) линеаризована методом квазилинеаризации, разлагая её в ряд Ньютона, оставляя только первые члены аппроксимации в окрестности точки F_n^k получим алгебраические уравнения.

После несложных преобразований, получим следующую систему трех диагональных матричных разностных уравнений для внутренних точек сетки

$$P_n^k \cdot Z_{n-1}^{k+1} + R_n^k \cdot Z_n^{k+1} - P_n^k \cdot Z_{n+1}^{k+1} = \bar{\omega}_n^k, \quad n = 1, \dots, N-1, \quad (22)$$

Граничные условия для участка канала, ограниченного перегораживающими сооружениями, линеаризуются методом Ньютона на

Бирлашувчан ўзгарувчиларни ёки Лагранж кўпликларини киритиб иккиталик интегралларни нолга тенглаштирамиз. Иккиталик интегралларни ечиб, $\delta u_1(t)$, $\delta u_2(t)$, δQ_1 и δQ_2 вариацияларни (14) δI вариацияларига таъсири аниқладик.

Оптимальный зарурий шартларини олиш учун канал қисмларининг чегаравий ва бирлашув шартлари ҳисобга олинган. Чекловлар майдонининг ичида Сен-Венан теғламаларининг тўлиқ тизими учун якуний зарурий шартлар қуйдагича:

$$\left[\left(\frac{1}{B} \right)_0 \lambda^1 - \left(\frac{2Q}{\omega} \right)_0 \lambda^2 \right]_{x=0} \left(\frac{\partial g_1}{\partial u_1(t)} \right)_0 = 0, \quad (15)$$

$$\left[\left(\frac{1}{B} \right)_0 \lambda^1 - \left(\frac{2Q}{\omega} \right)_0 \lambda^2 \right]_{x=l} \left(\frac{\partial g_1}{\partial u_1(t)} \right)_0 = 0. \quad (16)$$

Бошқарув ўз юқори ва пастги чегараларига етканида (15), (16) тенгламаларнинг чап томонидаги тегишли ўзгарувчилар мусбат (манфий) бўлиши керак.

Диссертацияси ишининг «**Сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сув тақсимлашни оптимал бошқариш усуллари ишлаб чиқиш**» деб номланган учинчи бобида ирригацион тизимларнинг каналларида сувни тақсимлашнинг оптимал бошқариш усуллари таҳлил қилинган.

Ушбу ишда қўлланилган асосий оптимизация усуллари градиентнинг ёки бошқарув функциясининг биринчи хосиласини аниқлашга йўналтирилган.

Каналлардаги нотекис оқим ҳаракатининг тўлиқ математик модели учун сув берилиши дискретлиги ҳолатида сув тақсимланишини оқилана бошқариш масаласига градиентни проекция қилиш кетма-кетликда яқинлашиш усули тавсия этилади. Бу ерда бошқарув кетма-кетлиги қуйдагича

$$u_1^{m+1}(t) = \begin{cases} u_{1\min} & \text{при } u_1^m(t) - \alpha_m \delta u_1^m(t) < u_{1\min}, \\ u_1^m(t) - \alpha_m \delta u_1^m(t) & \text{при } u_{1\min} \leq u_1^m(t) - \alpha_m \delta u_1^m(t) \leq u_{1\max}, \\ u_{1\max} & \text{при } u_1^m(t) - \alpha_m \delta u_1^m(t) > u_{1\max}. \end{cases} \quad (17)$$

$$u_2^{m+1}(t) = \begin{cases} u_{2\min} & \text{при } u_2^m(t) - \alpha_m \delta u_2^m(t) < u_{2\min}, \\ u_2^m(t) - \alpha_m \delta u_2^m(t) & \text{при } u_{2\min} \leq u_2^m(t) - \alpha_m \delta u_2^m(t) \leq u_{2\max}, \\ u_{2\max} & \text{при } u_2^m(t) - \alpha_m \delta u_2^m(t) > u_{2\max}. \end{cases} \quad (18)$$

$$u_1^{cm+1}(t) = \begin{cases} u_{1c\min} & \text{при } u_1^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_1^{cm}(t) < u_{1c\min}, \\ u_1^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_1^{cm}(t) & \text{при } u_{1c\min} \leq u_1^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_1^{cm}(t) \leq u_{1c\max}, \\ u_{1c\max} & \text{при } u_1^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_1^{cm}(t) > u_{1c\max}. \end{cases} \quad (19)$$

$$u_2^{cm+1}(t) = \begin{cases} u_{2c \min} & \text{при } u_2^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_2^{cm}(t) < u_{2c \min}, \\ u_2^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_2^{cm}(t) & \text{при } u_{2c \min} \leq u_2^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_2^{cm}(t) \leq u_{2c \max}, \\ u_{2c \max} & \text{при } u_2^{cm}(t) - \alpha_m \delta u_2^{cm}(t) > u_{2c \max}. \end{cases} \quad (20)$$

Кўрилган масала усулининг мақсади шундан иборатки, агар $u_1^k(t)$, $u_2^k(t)$, $u_1^{ck}(t)$ и $u_2^{ck}(t)$ оптимал бўлмаса, бошқарувларнинг ўсиши функционалнинг градиентига қарши томонга йўналтириш орқали тизим ҳаракатлантирилади (18), (19), (20).

Диссертация ишининг «Истеъмолчиларига сув тақсимотини оптимал бошқариш масаласини ечиш алгоритми ва дастурий таъминотини ишлаб чиқиш» деб номланган тўртинчи бобда апробация объектининг ва сув тақсимотини оптимал бошқарув усулининг чуқур тавсифи берилган. Юқорида айтиб ўтилганидек, тармоқланган параметрларга эга объект сифатида каналнинг қисми, канал қисмларининг бирлашиш шартлари (4), вақт бўйича биринчи даражали ва масофавий ўзгарувчининг бошланғич (3) ва чегаравий шартлари бўйича иккинчи даражали дифференциал тенгламалар билан тавсифланади.

Чегаравий масалаларни (1,2,3) сонли ечиш учун чекли айирмалар усули кўлланилади.

$\Omega = \{0 \leq x \leq l, 0 \leq t \leq T\}$ майдонида сетка киритамиз

$$\bar{\omega}_{h\tau} = \{(x_i, t_j) \div x_i = ih; t_j = j\tau; i = 0, 1, \dots, N; j = 0, 1, \dots, M; h = l/N; \tau = T/M\}$$

h кадам x ва τ кадам T бўйича.

Тенгламалар системасини (1) x га яқинлашмасликнинг иккинчи даражасига эга мутлақо барқарор бўлмаган ёпиқ айирмалар схемаси ёрдамида ва тенгликнинг биринчиси тартибда t га нисбатан тенглаштирамиз

$$S_i^k \frac{Z_i^{k+1} - Z_i^k}{\tau} + (\Delta S)_i^k \frac{Z_{i+1}^{k+1} - Z_{i-1}^{k+1}}{2h} = F_n^k + \left(\frac{\partial F}{\partial Z} \right)_i^k Z_i^k, \quad i = 1, \dots, n-1, k = 1, \dots, m \quad (21)$$

Майдоннинг ички нуқталари учун қуйидаги уч диагоналли матрицавий айирмалар тенгламаларни оламиз.

$$P_n^k \cdot Z_{n-1}^{k-1} + R_n^k \cdot Z_n^{k+1} - P_n^k \cdot Z_{n+1}^{k+1} = \varpi_n^k, \quad n = 1, \dots, N-1 \quad (22)$$

Тўсқинлик қиладиган тузилмалар билан чегараланган каналнинг чегара шартлари Ньютон усулида олдинги босқичнинг вақтида кейинчалик аниқланади.

$$\delta I = \int_0^T \left\{ \left(\frac{\partial G_c}{\partial z_1(l_1, t)} \right)_0 \delta z_1(l_1, t) + \left(\frac{\partial G_c^1}{\partial u_1^c(t)} \right)_0 \delta u_1^c(t) \right\} - \int_0^T \left\{ \left(\frac{\partial G_2^2}{\partial z_2(l_2, t)} \right)_0 \delta z_2(l_2, t) + \left(\frac{\partial G_2^2}{\partial u_2(t)} \right)_0 \delta u_2(t) \right\} dt \quad (14)$$

Введением сопряженных переменных или множителей Лагранжа, с помощью выражений двойных интегралов приравненных нулю. Проинтегрируя двойные интегралы, получили влияние вариаций $\delta u_1(t)$, $\delta u_2(t)$, δQ_1 и δQ_2 на вариации δI явным образом.

Для получения необходимых условий оптимальности учтены граничные условия и условия сопряжения участков канала. Окончательные необходимые условия оптимальности для полной системы уравнений Сен-Венана, при управлении внутри области ограничений, имеют вид

$$\left[\left(\frac{1}{B} \right)_0 \lambda^1 - \left(\frac{2Q}{\omega} \right)_0 \lambda^2 \right]_{x=0} \left(\frac{\partial g_1}{\partial u_1(t)} \right)_0 = 0, \quad (15)$$

$$\left[\left(\frac{1}{B} \right)_0 \lambda^1 - \left(\frac{2Q}{\omega} \right)_0 \lambda^2 \right]_{x=l} \left(\frac{\partial g_1}{\partial u_1(t)} \right)_0 = 0. \quad (16)$$

В случае достижения управления своих верхних (нижних) границ соответствующие величины в левой частях выражений (15), (16) должны быть не положительными (неотрицательными).

В третьей главе диссертации «Разработка метода оптимального управления распределением воды в условиях дискретности водоподачи» проведён анализ методов оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем.

Основными методами оптимизации, используемые в данной работе являются методы, основанные на необходимых условиях оптимальности, которые основаны на определении градиента или первого производного по вариации управления рассматриваемого функционала, которыми являются выбранные критерии оптимальности.

Для полной математической модели неустановившегося движения воды в каналах рекомендуется метод последовательного приближения, основанный на методе проекции градиента для задач оптимального управления распределением воды между потребителями в условиях дискретности водоподачи, где последовательность управлений следующий

$$u_1^{m+1}(t) = \begin{cases} u_{1 \min} & \text{при } u_1^m(t) - \alpha_m \delta u_1^m(t) < u_{1 \min}, \\ u_1^m(t) - \alpha_m \delta u_1^m(t) & \text{при } u_{1 \min} \leq u_1^m(t) - \alpha_m \delta u_1^m(t) \leq u_{1 \max}, \\ u_{1 \max} & \text{при } u_1^m(t) - \alpha_m \delta u_1^m(t) > u_{1 \max}. \end{cases} \quad (17)$$

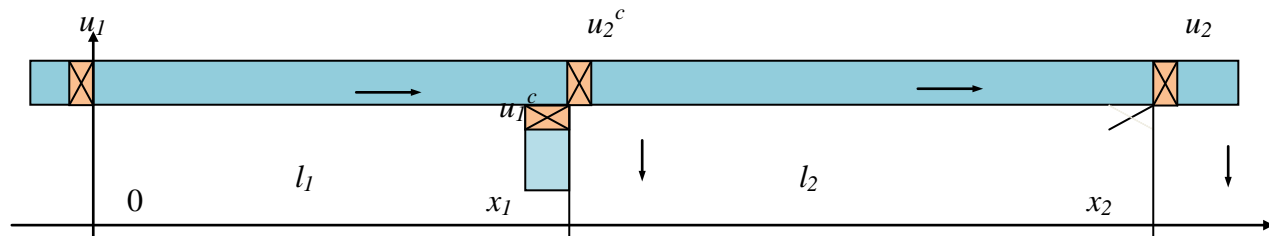


Рис. 3. Схема канала

В качестве математической модели участков канала принята разработанная полная система дифференциальных уравнений Сен-Венана. Определены начальные и граничные условия (рис.3.) в точках $x_1=0$, $x_2=l_1$, условия сопряжения в точке $x_1=l_1$.

Задача оптимального управления распределением воды в ирригационном канале формулируется следующим образом: на отрезке времени $[0, T]$ требуется определить такие управления $u_{1*} \leq u_1(t) \leq u_1^*$, $u_{2*} \leq u_2(t) \leq u_2^*$, $u_1^c \leq u_1^c(t) \leq u_1^{c*}$, $u_2^c \leq u_2^c(t) \leq u_2^{c*}$, которые минимизируют линейную комбинацию интегральных отклонений фактических расходов воды, протекающих через гидротехнические сооружения боковых и конечных отводов.

Критерий оптимальности записывается следующим образом

$$I = k_1 \int_0^T G^1[z_1(l_1, t), u_1^c(t)] dt + k_2 \int_0^T G^2[z_2(l_2, t), u_2^c(t)] dt, \quad (11)$$

$$G^1 = \left\{ \mu_1^c b_1^c u_1^c(t) \sqrt{2g(z_1(l_1, t) - \varepsilon_1^c u_1^c(t))} - Q_1^*(t) \right\}^2,$$

$$G^2 = \left\{ \mu_2^c b_2^c u_2^c(t) \sqrt{2g(z_2(l_2, t) - \varepsilon_2^c u_2^c(t))} - Q_2^*(t) \right\}^2.$$

Пусть известна совокупность подозреваемых на оптимальность программных управлений $u_{10}(t), u_{20}(t), u_{10}^c(t), u_{20}^c(t)$. Проанализировано влияние на оптимальность этих программных управлений на соответствующих вариациях $\delta u_1(t), \delta u_2(t), \delta u_1^c(t), \delta u_2^c(t)$.

Разлагая (11) в степенной ряд Тейлора в окрестности оптимальной траектории и, отбрасывая члены разложения выше первого порядка малости, получим уравнение в вариациях

$$\frac{\partial \delta z_i}{\partial t} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial z_i} \right)_o \delta z_i + \left(\frac{\partial f_i^1}{\partial Q_i} \right)_o \frac{\partial \delta Q_i}{\partial x_i} + \left(\frac{\partial f_i^1}{\partial q_i^1} \right)_o \delta q_i, \quad (12)$$

$$\frac{\partial \delta Q_i}{\partial t} = \left(\frac{\partial f_i^2}{\partial z_i} \right)_o \delta z_i + \left(\frac{\partial f_i^2}{\partial Q_i} \right)_o \delta Q_i + \left(\frac{\partial f_i^2}{\partial z_i'} \right)_o \frac{\partial \delta z_i}{\partial x_i} + \left(\frac{\partial f_i^2}{\partial Q_i'} \right)_o \frac{\partial \delta Q_i}{\partial x_i}, \quad (13)$$

где символ $()_o$ означает, что соответствующая величина вычислена вдоль оптимальной траектории.

Совершенно аналогично для вариации критерия оптимальности (11) получим

$$Z_{i0}^{k+1} = Z_{i0}^k + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial u_1} \right)_0^k (u_1^{k+1} - u_1^k) + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial z_{\theta\theta}} \right)_0^k (z_{\theta\theta}^{k+1} - z_{\theta\theta}^k) + \left(\frac{\partial G_{i1}}{\partial z} \right)_0^k (z_{i0}^{k+1} - z_{i0}^k), \quad (23)$$

$$Z_{iN}^{k+1} = Z_{iN}^k + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial u_2} \right)_0^k (u_2^{k+1} - u_2^k) + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial z} \right)_0^k (z_{iN}^{k+1} - z_{iN}^k) + \left(\frac{\partial G_{i2}}{\partial z_{\theta\theta}} \right)_0^k (z_{\theta\theta}^{k+1} - z_{\theta\theta}^k).$$

Чегаравий шартларни (4) куйидаги шаклга келтирамиз

$$\begin{aligned} Q_{0i}^{k+1} + \alpha_{0i}^k z_{0i}^{k+1} &= \beta_{0i}^{k+1}, \\ Q_{Ni}^{k+1} + \alpha_{Ni}^{k+1} z_{Ni}^{k+1} &= \beta_{Ni}^{k+1}. \end{aligned} \quad (24)$$

Кейинчалик, айирмали тенгламалар системаси (24) ва чегаравий шартлар (4) ёрдамида айирмали чегаравий шартларни оламиз.

$$\begin{aligned} P_0^k Z_0^{k+1} + R_0^k Z_1^{k+1} &= w_0^k, \\ R_N^k Z_{N-1}^{k+1} - P_N^k Z_N^{k+1} &= w_N^k, \end{aligned} \quad (25)$$

Бу ерда канал кисмининг дастлабки секцияси учун биринчи тенгламининг коэффициентлари чегара шартлари учун биринчи тенгламининг коэффициенти сифатида қабул қилинади ва тенгсизликлар системасида нотекис сув ҳаракати шакли учун иккинчи тенгламининг коэффициентлари чекланмаган оралик учун олинади.

Тенгламалар (25) ўзлари билан ёпиқ уч диагоналик тенгламалар системасини ташкил этади. Улар куйидагича ёзилади

$$\begin{aligned} P_0^k Z_0^{k+1} + R_0^k Z_1^{k+1} &= w_0^k, \\ P_n^k \cdot Z_{n-1}^{k+1} + R_n^k \cdot Z_n^{k+1} - P_n^k \cdot Z_{n+1}^{k+1} &= w_n^k, \quad n=1, \dots, n-1, \quad k=0, 1, \dots, \\ P_N^k Z_{N-1}^{k+1} - R_N^k Z_N^{k+1} &= w_N^k, \end{aligned} \quad (26)$$

Бу (26) системани куйидагича умумий тарзда ёзса бўлади

$$\sum_{j=0}^N A_{ij}^k \cdot Z_j^{k+1} = \omega_i^k, \quad i=0, \dots, n, \quad k=0, 1, \dots \quad (27)$$

Формулани (27) куйидагича ёзса бўлади

$$Z_{ni}^{k+1} = \sum_{j=0}^N \sum_{m=1}^2 G_{nmij}^k \cdot \omega_{mj}^k, \quad n=1, 2, \quad i=0, \dots, n, \quad k=0, 1, \dots, \quad (28)$$

Бу ерда Z_{ni}^{k+1} и w_{mj}^k $n, m=1, 2; i, j=1, \dots, n$ к нинг аниқ микдорида $2 \times n$ ўлчамлидаги тўртбурчак матрица бўлади.

(28) формулани тензор кўринишда ёзиш қулай

$$Q_{ni}^{k+1} = G_{nmij}^k \cdot w_{mj}^k, \quad n=1, 2, \quad i=0, \dots, N, \quad k=0, 1, \dots, \quad (29)$$

яъни, йиғинди ва сумма белгилари иккита индекслар бўйича тушириб қолдирилган.

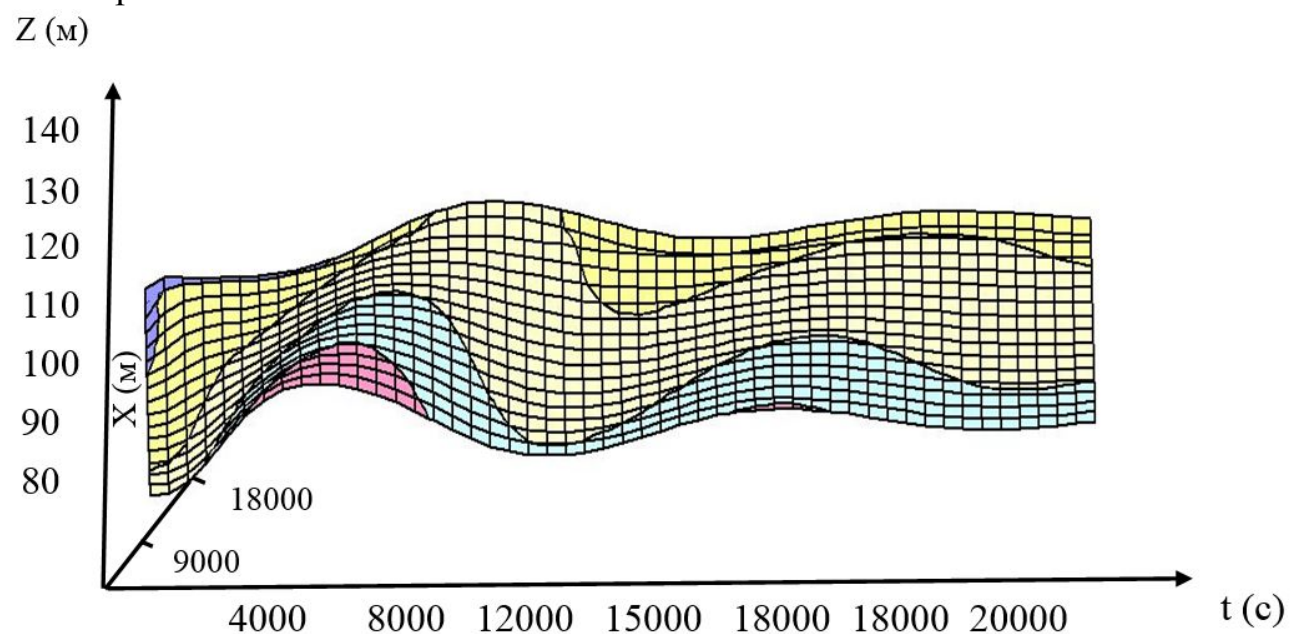
G матрицани ҳисоблаш учун A матрицага тескари A^{-1} матрицани ҳисоблаш керак. G матрицанинг элементлари G_{ij} матрицани ҳисоблашда (29) тенгламалар системасини уч диагонал структурасини ҳисобга олувчи энг эффектли усулларнинг бири матрицали прогонка усули ёрдамида матрицанинг коэффициентлари ҳисобланади.

Шундан кейин юқоридаги процедура j-нинг бошқа қийматларида қайтарилади ва ҳисобланган матрица G сақлаб борилади.

Шундай қилиб, каналдаги сувнинг нотекис ҳаракатини ифодаловчи тўлиқ дифференциал тенгламалар системасини ечишнинг ягона алгоритми олинди.

$Z_{0n}, z_{0n}, u_1^k, u_2^k$, ва q_n^k ларни билган ҳолда, юқорида кўрсатилган алгоритм асосида тенгламани ечиш орқали Жанубий Мирзачўл магистрал каналининг участкаларининг Z_n^{k+1}, Q_n^{k+1} ларнинг вақт бўйича ва масофа бўйича ўзгаришларини аниқланади.

Ишлаб чиқилган дастурий восита ёрдамида Жанубий мирзачўл магистрал канали участкаларида естемолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида сув тақсимотини оптимал бошқариш масаласини ечимлари.



4 расм. Жанубий Мирзачўл магистрал каналининг участкасида вақт бўйича ва масофа бўйича сув сатҳининг ўзгариши

является минимизация колебания расхода боковых водозаборам и уровня воды на участке канала при обеспечения дискретной подачи воды к боковым водозаборам при помощи управления расходами воды в начале участка канала

$$I = \left(\int_0^T \int_0^l [z(x,t) - z^*]^2 dx dt + \sum_{j=1}^N \int_0^T (q_j(t) - q_j^*)^2 dt \right) \rightarrow \min \quad (7)$$

$$\Omega = \{R^N \mid Q_{\min} \leq Q(x,t) \leq Q_{\max}\}$$

При условиях

$$\begin{cases} B(x,t) \frac{\partial z(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = q(x,t), \\ \frac{1}{g\omega(x,t)} \left(\frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} + 2v(x,t) \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} \right) + \left[1 - \left(\frac{v(x,t)}{c(x,t)} \right)^2 \right] \frac{\partial z(x,t)}{\partial x} = \end{cases} \quad (8)$$

$$= \left[i + \frac{1}{B(x,t)} \left(\frac{\partial \omega(x,t)}{\partial x} \right)_{h=const} \right] \left(\frac{v(x,t)}{c(x,t)} \right)^2 - \frac{Q(x,t)|Q(x,t)|}{K(x,t)^2},$$

$$q(x,t) = -\sum_{i=1}^5 q_i \delta(x - a_i) 1(t - T),$$

$$v(x,t) = \frac{Q(x,t)}{\omega(x,t)}, \quad c = \sqrt{\frac{g\omega}{B}}, \quad K(x,t) = \omega(x,t)C(x,t) \sqrt{R(x,t)i}$$

$$C(x,t) = \frac{1}{n} R(x,t)^y, \quad y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1),$$

$$Q(x,0) = Q_0(x), \quad \omega(x,0) = \omega_0(x),$$

$$x \geq 0, \quad t \geq 0, \quad v > 0.$$

Управляющие воздействия

$$Q(0,t) = Q_1(t), \quad Q(l,t) = Q_2(t), \quad (9)$$

Ограничения на режимы работы участков канала имеет вид

$$z_i^{\min} \leq z_i(x_i, t) \leq z_i^{\max}, \quad (10)$$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i(x_i, t) \leq Q_i^{\max}.$$

Задача минимизация (7) при условии (8) с помощью управляющего воздействия (9) и при ограничениях (10) представляет собой задачу управления квазилинейными системами с распределенными параметрами с ограничениями на состояния. Полная модель неустановившегося движения воды на участке канала учитывает все основные гидравлические свойства потока воды.

Во второй главе диссертации «Разработка необходимых условий оптимальности распределения воды в каналах ирригационных систем» приведены результаты разработки способов их получения. Рассмотрен канал, состоящий из двух участков соединенных между собой гидротехническим сооружением (рис.3.).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + (v \pm c) \frac{\partial Q}{\partial x} - B(v \mp c) \left[\frac{\partial z}{\partial t} + (v \pm c) \frac{\partial z}{\partial x} \right] =$$

$$= \left(\varphi - \frac{Q|Q|}{K^2} \right) g \omega - (v \mp c) q. \quad (2)$$

$$\text{Здесь } \varphi = \left[i + \frac{1}{B} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=const} \right] \left(\frac{v}{c} \right)^2$$

Начальные условия задаются в виде

$$z(x,0) = z_0(x), \quad Q(x,0) = Q_0(x), \quad (3)$$

где: $Q_0(x)$, $z_0(x)$ -известные функции.

Граничные условия в точках $x_1=0$ и $x_2=l$ записываются следующим образом

$$Q(0,t) = u_1(t), \quad Q(l,t) = u_2(t) \quad (4)$$

Расходы воды в точках водозабора участка канала, правая часть уравнения (2) в условиях дискретности распределения воды, имеет вид

$$q(x,t) = -\sum_{i=1}^5 q_i \delta(x - a_i) I(t - T). \quad (5)$$

Аналитическое решение уравнения (2) при указанных краевых условиях отсутствует, так как гидравлические параметры потока воды представляет собой нелинейную функцию, зависящую от формы поперечного сечения участка канала.

Из выражения боковых водозаборов (5) видно, что потребителям обеспечивается дискретная водоподача во времени в виде ступенчатой функции. При ступенчатых функциях для решения задачи оптимального управления распределением воды необходимо сформулировать критерии качества распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям и систему ограничений.

Критерии качества управления участка канала как системы с распределенными параметрами в общем в виде записывается в виде суммы интегральных функционалов

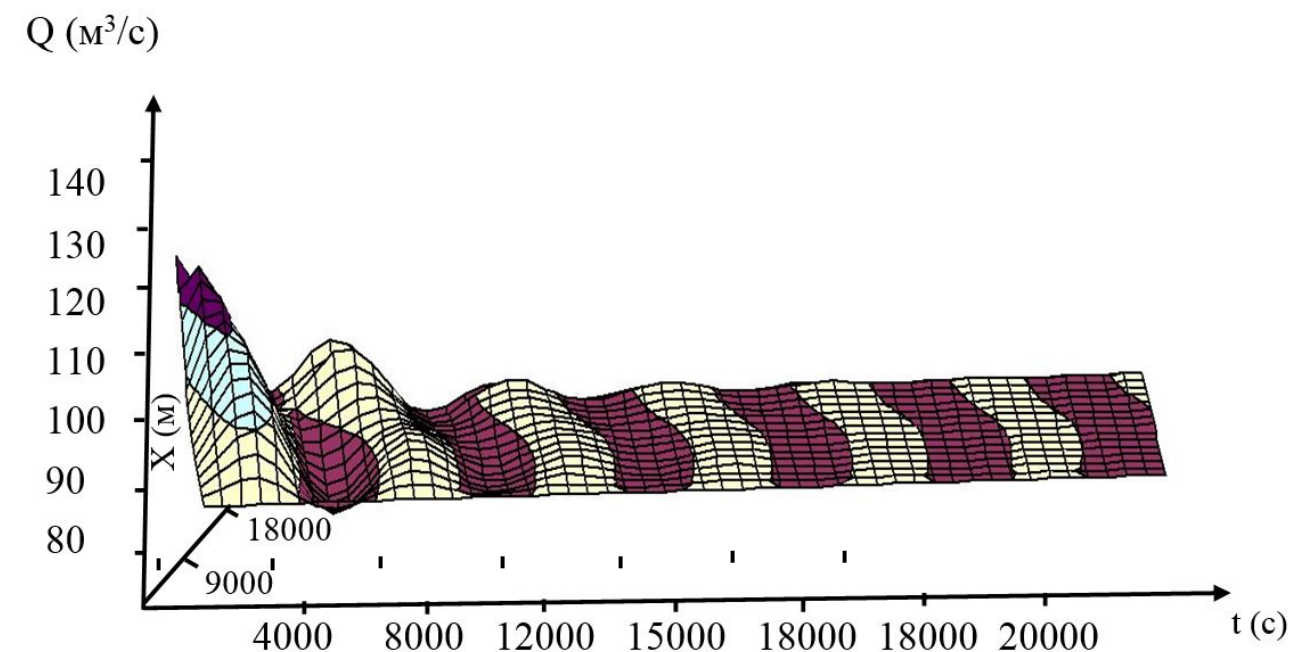
$$I = \int_0^T \int_0^L F_1(x,t,Q(x,t),u(x,t)) dx dt +$$

$$+ \int_0^T F_2(t,Q(0,t),u_1(t)) dt + \int_0^T F_3(t,Q(L,t),u_1(t)) dt +$$

$$+ \int_0^L F_4(x,Q(x,T)) dx, \quad (6)$$

где F_i , $i=1, \dots, 4$ – заданные непрерывные функции своих аргументов, причем первое составляющее представляет критерии качества для распределенных управляющих воздействий, второе и третье для граничных управлений, а четвертое для конечных состояний управляемого процесса.

Разработана постановка задачи оптимального распределения воды в каналах ирригационных систем для полной модели неустановившегося течения воды на участке канала. Основная цель задачи в данном случае



5 расм. Жанубий Мирзачўл магистрал каналининг участкасида вақт бўйича ва масофа бўйича сув сарфининг ўзгариши.

Расмларда кўриш мумкинки, затворнинг очилгандан сўнг канал участкасининг бошланишида сув сарфи ошиши каналининг участкаси бошида сув сатҳининг кўпайишини таъминламоқда $t = 20\ 823$ с (34,7 дақ.) вақтда сув сатҳининг канал участкасининг охирида 1,9 м. га ошиши таъминланмоқда.

Олинган сонли экспериментлар натижалар кўрсатадики, сув сатҳи ва сув сарфи канал участкасининг охирига бориб барқарорлашади.

Жанубий Мирзачўл магистрал каналининг маълумотлари билан сонли эксперимент натижаларини солиштирганда шуни кўрсатадики, сув сатҳи ва сув сарфи параметрлари унчалик ҳам фарқ қилмайди, яъни фарқи, хатолиги 5-10% дан ошмаган.

Ушбу натижалар тасдиқлайдики, ишлаб чиқилган алгоритм ишга лаёқатли ва республиканинг сув хўжалиги ирригация тизимлари каналлари участкаларида сув тақсимлашни оптимал бошқариш учун қўлласак бўлади.

ХУЛОСА

«Истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сув тақсимлашни оптимал бошқариш» мавзусидаги диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Канал ўзанидаги вақт бўйича ступенчатий функция кўринишида сувнинг нотекис ҳаракатини ифодаловчи Сен-Венан тўлиқ дифференциал тенгламалар системаси асосида олинган истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сувнинг ҳаракатининг математик модели ишлаб чиқилган. Ушбу модел сув хўжалиги ирригация тизими каналларидаги истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида сувни тақсимлашда хизмат қилади.

2. Ўз оқими билан келувчи каналларнинг участкаларда, ён томондаги сув чиқариш иншоотлари учун сув тақсимога чегаралар ва каналларда истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида сув тақсимлашнинг сифат мезонлари аниқланган. Сифат мезонлари истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида сув тақсимлашнинг оптималлигини таъминлаш учун зарурий шартни олишда хизмат қилади.

3. Канал участкаларида сувнинг нотекис ҳаракатини ифодаловчи тўлиқ модели асосида ирригация тизими каналларида сувни оптимал тақсимлашнинг математик модели ишлаб чиқилган. Ушбу математик модел ирригация тизими каналларида сувни оптимал тақсимлашнинг имконини беради.

4. Тақсимот параметрли системалар учун максимум таъминли асосида истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сув тақсимлашнинг оптималлигини таъминловчи зарурий шартни олиш усуллари ишлаб чиқилган. Ушбу усуллар ирригация тизими каналларида оптимал тақсимлашнинг оптималлигини таъминлаш учун зарурий шартларни олишнинг имконини беради.

5. Каналлардаги сувнинг нотекис ҳаракатини ифодаловчи тўлиқ модел учун олинган зарурий шарт асосида истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сув тақсимлашнинг оптимал бошқариш усуллари ишлаб чиқилган. Ушбу оптимал бошқариш усули «Истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида ирригация тизими каналларида сув тақсимлашнинг оптимал бошқариш» назарисига қўшилган усул сифатида хизмат қилади.

6. Жанубий мирзачўл магистрал каналида гидротехник иншоотлар билан чегараланган канал участкаларида истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида оптимал тақсимлашнинг таъминловчи оптимал сув тақсимлаш масаласининг ҳисоб-китоб дастурий таъминоти ва алгоритмлари ишлаб чиқилган. Ушбу дастур ва алгоритмлар Жанубий мирзачўл магистрал каналида оптимал сув тақсимлашнинг имконини беради.

7. Жанубий мирзачўл магистрал канали участкаларида истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида сувни оптимал тақсимлаш масаласининг алоҳида ҳисоб-китоблари келтирилган. Натижалари кўрсатадики, канал бошида сув сарфининг ошиши, канал участкасида сув сатҳининг кўпайишини таъминлайди. Канал участкаларида сув сатҳи ошиши канал узунлиги бўйича 1,4 м.дан 1.9 м.гача тебраниши кўринади, бу эса истеъмолчиларни сув билан таъминлашга хизмат қилади.

8. Диссертация ишининг натижалари Жанубий мирзачўл магистрал канали эксплуатация бошқармаси, «Сирдарё - Зарафшон» ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси ва «Паркент-Карасув» ирригация тизими «Паркент» каналида дастурий таъминот сифатида жорий этилди. Илмий тадқиқот натижалари истеъмолчиларга сувни дискрет етказиб бериш шароитида сувни оптимал бошқаришда сув ресурсларини йўқотишларни 5-7%га камайтириш имконини беради.

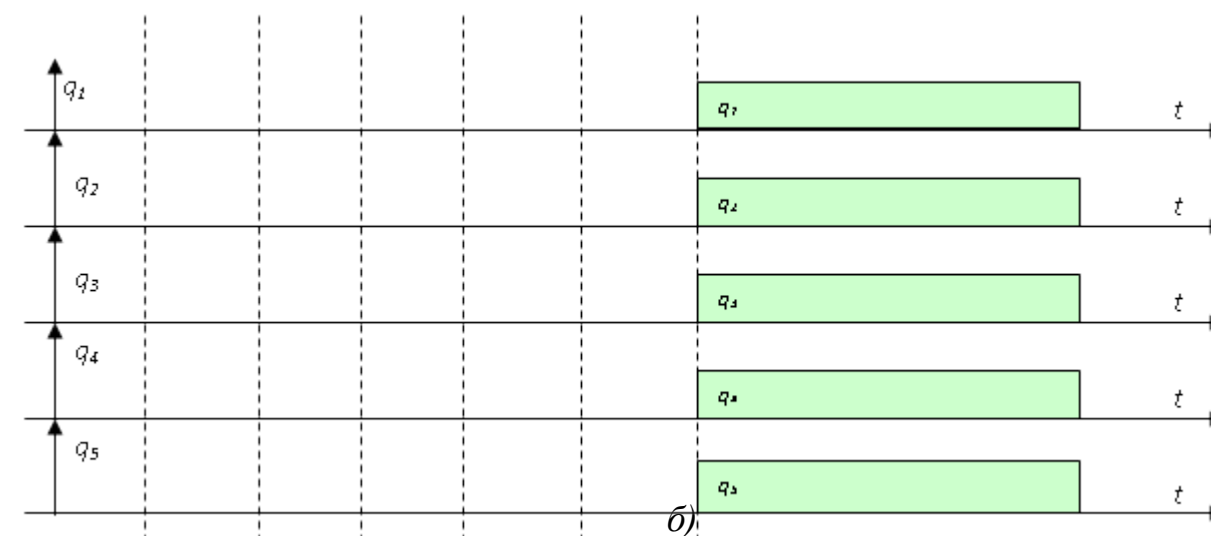


Рис. 2. Дискретная водоподача на участках канала

Нами разработана полная модель неустановившегося движения потока воды, которая описывается системой одномерных дифференциальных уравнений Сен-Венана на участке канала, которая записана в форме законов сохранения энергии

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q, \quad (1)$$

$$\frac{1}{g\omega} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + 2v \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \left[1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right] \frac{\partial z}{\partial x} =$$

$$= \left[i + \frac{1}{B} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=const} \right] \left(\frac{v}{c} \right)^2 - \frac{Q|Q|}{K^2},$$

где $v = \frac{Q}{\omega}$, $c = \sqrt{\frac{g\omega}{B}}$, $Q = Q(x, t)$ – расход воды; $z = z(x, t)$ – ордината свободной поверхности; g – гравитационная постоянная; i – уклон дна; $B = B(z)$ – ширина потока по поверхности живого сечения; $\omega = \omega(z)$ – площадь живого сечения потока;

$c = c(z)$ – скорость распространения малых волн; $K = K(z)$ – модуль расхода.

В качестве функций, определяющих течение потока, здесь выбраны расход $Q(x, t)$ и ордината свободной поверхности $z(x, t)$. Независимыми переменными являются продольная координата x и время t .

Русло задаётся ординатой дна $z_0(x)$ и шириной поперечного сечения $B(x, t)$ на расстоянии z (по вертикали) от дна русла.

Тогда: глубина потока: $h(x, t) = z(x, t) - z_0(x)$; площадь поперечного сечения потока: $\omega(x, h) = \int_0^h B(x, z) dz$; средняя скорость течения: $v = Q/\omega$; скорость распространения малых волн: $c = \sqrt{g\omega/B}$; уклон дна $i = -dz_0/dx$.

Характеристическая форма уравнений (1) имеет вид

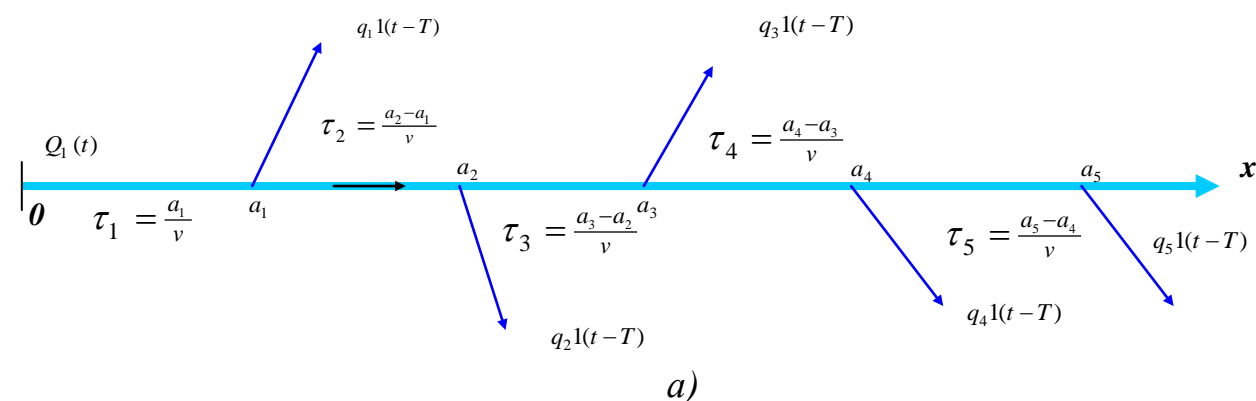
В первой главе диссертации «Разработка математических моделей и критериев качества распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям» приведены результаты обзора математических моделей каналов ирригационных систем.

Водохозяйственные объекты имеют большую пространственную протяженность, множество технологических и технических параметров, только методами математического моделирования можно получить количественные и качественные изменения характеристик водохозяйственных объектов при их эксплуатации.

В настоящее время отсутствует единый системный подход к вопросу моделирования динамики водохозяйственных объектов, только существует широкий класс различных по степени сложности математических моделей отдельных объектов, поэтому выбор математических моделей, которые будут с требуемой степенью точности описывать сложные процессы водоподачи и водораспределения в водохозяйственных объектах является задачей весьма проблематичной.

Анализируя основные модели, применяемые для решения задач моделирования управления каналами ирригационных систем можно их разделить на три группы: статические модели, динамические модели с сосредоточенными параметрами и динамические модели с распределенными параметрами. Эти модели отличаются между собой исходными предпосылками, количеством и типом первичной информации и степенью детализации полученных результатов.

Разработаны математические модели каналов ирригационных систем, учитывающие дискретность водоподачи потребителям. Рассмотрим участок канала (рис. 2., а) и б), имеющий пять водозаборов. Задачу распределения воды с учетом дискретности водоподачи рассмотрим, как обеспечение в момент времени T для каждого водозабора подачу расхода воды q_i , т.е. ступенчатое изменение расхода воды, при минимальном колебании уровня воды на участке канала.



НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
И ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

СЕЙТОВ АЙБЕК ЖУМАБАЕВИЧ

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВОДЫ В
КАНАЛАХ ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ
ДИСКРЕТНОСТИ ВОДОПОДАЧИ ПОТРЕБИТЕЛЯМ

05.01.02-«Системный анализ, управление и обработка информации»

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинета Министров Республики Узбекистан за номером № В2017.1.PhD/T137

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте ирригации и водных проблем.

Автореферат диссертации на трёх языках (русский, узбекский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tuit.uz) и на информационно – образовательным портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:	Рахимов Шавкат Хударгенович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Сафаров Ташпулат доктор технических наук, профессор
	Худайкулов Совет Ишанкулович доктор технических наук, доцент
Ведущая организация:	Институт механики сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан

Защита диссертации состоится «___» _____ 2018 г. в _____ часов на заседании научного совета DSc.27.06.2017.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий (ТУИТ). (Адрес: 100202, г.Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно - ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (зарегистрирована за № _____). (Адрес: 100202, г.Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2018 года.
(протокол рассылки № ___ от «___» _____ 2018 года).

Р.Х.Хамдамов
Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

Ф.М.Нуралиев
Учёный секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

М.А. Рахматуллаев
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

управления доставки воды в каналах, полученных на основе дельта-функция Дирака, обеспечивающей критерии качества дискретности водоподачи потребителям (Справка Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан №02/25-1232 от 8 августа 2018 г.). В результате научных исследований установлено, что разработанное программное обеспечение повышает эффективность режимов работы гидротехнических сооружений каналов на 10-12%;

получено заключение ирригационной системы «Паркент – Карасу» бассейнового управления ирригационной системы «Чирчик-Ахангаран» Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан о внедрении алгоритма, полученного с помощью метода проекции градиента оптимального управления распределением воды с использованием в качестве математические модели полной системы дифференциальных уравнений в частных производных Сен-Венана, описывающих неустановившееся движение воды в каналах. В результате научных исследований установлено, что разработанный численный алгоритм, в условиях дискретности водоподачи потребителям, дает возможность уменьшить потери водных ресурсов на 7-10%, повысить эффективность орошения на 5% и улучшить качество урожая сельскохозяйственных культур.

Апробация результатов исследования. Результаты проведенных исследований диссертации доложены и обсуждены в 4 международных научно – практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 10 научных работ, из них одна монография, 4 научных статей, в том числе два в зарубежных и два в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получено одно свидетельство об официальной регистрации программы для электронных вычислительных машин.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации оставляет 107 стр.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность диссертационного исследования, определены цель, задачи, объект и предмет исследований, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, приведены данные о внедрении результатов исследования, а также сведения об апробации результатов исследования, по опубликованным работам и структуре диссертации.

разработано программное обеспечение, соответствующая решению задач определения критериев качества, численных математических моделей усовершенствованной системы дифференциальных уравнений в частных производных Сен-Венана, описывающая неустановившееся течение воды в каналах ирригационных систем при оптимальном распределении воды в условиях дискретности водоподачи потребителям;

разработано программное средство для оптимального управления распределения воды, с использованием усовершенствованной дельта-функции Дирака в объектах водного хозяйства реках, магистральных каналах и каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследований обосновывается проведенными теоритическими и экспериментальными исследованиями, она подтверждена расчетами при численных экспериментах и сопоставлением их результатов с натурными данными управления эксплуатации Южного Голодностепского магистрального канала и Паркентского канала ирригационной системы «Паркент-Карасу».

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований заключается в том, что, на основе разработанных математических и численных моделей, критериев качества оптимального управления распределением воды и численных методов, созданы алгоритмически-программные средства.

Практическая значимость результатов исследований определяется достигнутой точностью водораспределения, повышением технической и интеллектуальной оснащённостью каналов, а также уменьшением потерь водных ресурсов в условиях дискретности водоподачи потребителям.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов, связанных с оптимальным управлением водораспределения в каналах ирригационных систем, в условиях дискретности водоподачи потребителям:

получено заключение управления эксплуатации Южного Голодностепского магистрального канала Минводхоза РУз о внедрении математических моделей и программных средств, полученных на основе усовершенствованных дифференциальных уравнений в частных производных Сен-Венана, описывающих неустановившееся течение воды в каналах (Справка Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан №02/25-1232 от 8 августа 2018г.). Результаты научного исследования дают возможность, при оптимальном управлении водораспределения в каналах ирригационных систем, за счет уменьшения потерь водных ресурсов на 5-7%, дают возможность повысить эффективность полива и качество урожая сельхозкультур;

получено заключение бассейнового управления ирригационной системы «Сырдаря-Зарафшан» Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан о внедрении алгоритма и программных средств оптимального

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется экономии водных ресурсов для обеспечения ими потребителей, достижению этого управлением современными информационными системами режимов их работы на основе заданных критериев для реализации задачи оптимального управления. В этом направлении в ряде государств, например, США, Франция, Испания, Китай, Украина, Российская Федерация, Кыргызстан и Узбекистан уделяется большое внимание разработке численных методов решения задач оптимального управления, контролю режимов работы водохозяйственных объектов, использованием современных информационных систем водораспределения и разработке необходимых условий оптимальности управления, методов и критериев качества создания математических моделей оптимального управления водораспределением, обеспечивающих экономию водных ресурсов.

В мире проводятся научно-исследовательские работы направленные на совершенствование и разработку методов, критериев качества, разработку математических моделей оптимального управления, с использованием современных информационных систем, режимами работы водохозяйственных объектов водохранилищ, каналов ирригационных систем, магистральных каналов и рек, для подачи водных ресурсов потребителям. В этом направлении, одной из необходимых задач является разработка оптимального управления на основе методов проекции градиента водораспределения в объектах водного хозяйства при дискретной водоподаче потребителям на основе методов оптимального управления, критериев качества, математических моделей и алгоритмов, обеспечивающих экономию воды.

В нашей республике в настоящее время проводятся мероприятия по решению проблемы доставки воды потребителям, которую необходимо решить. Её актуальность для каналов ирригационных систем заключается в экономии водных ресурсов оптимальным управлением процессам доставки воды потребителям обеспечении водой установленного потребителя в установленное время и повышения его доверия, основанные на определённых критериях качества. этой проблеме в народном хозяйстве уделяется большое внимание. В Стратегии действий по развития Республики Узбекистан в 2017-2021гг. определены задачи, в том числе «...внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, ... развитие сети мелиоративных и ирригационных объектов»¹. Выполнение указанных задач, в том числе контроль дискретного распределения водных ресурсов каналов ирригационных систем, оптимальное управление процессом расчета считается одним из важных задач.

¹ Указ Президента Республики Узбекистан «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №УП-4947 от 7 февраля 2017г.

Данное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. и «О мерах по дальнейшему совершенствованию информационно – коммуникационных отраслей», №УП-5349 от февраля 2018 г.; Постановлении Президента Республики Узбекистан «О мерах развития и дальнейшего совершенствованию сельского хозяйства в 2016-2020 гг.», №ПП-2460 от 29 декабря 2015 г., а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этом направлении.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данная диссертация выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий IV.«Развитие технологий информатизации и информационно-коммуникации»

Степень изученности проблемы. В настоящее время в ряде государств мира проводились исследования оптимального управления и математического моделирования различными объектами водного хозяйства, также получены научные и практические результаты. К таким относятся зарубежные ученые: E. Stenley Lee, A. Mirchi, D. Watkins, K.Madani, Y.P.Li, G.H.Huang, S.L.Nie, Y.Zhou, B.Dubey, A.Patro, А.Г.Бутковский, Т.К.Серазетдинов, О.Ф. Васильев, П.И. Коваленко, Э.Э. Маковский, В.П.Куротченко, В.А.Рожнов, Т.А.Исабеков и другие, которые привели результаты в своих работах.

Задачи оптимального управления распределением воды, математическое и численное моделирование неустановившегося воды движения воды в объектах водного хозяйства реках, магистральных каналах и каналах ирригационных систем: E. Stenley Lee, A. Mirchi, D. Watkins, K.Madani, Y.P.Li, G.H.Huang, S.L.Nie, Y.Zhou, B.Dubey, A.Patro, А.Г.Бутковский, Т.К.Серазетдинов, О.Ф. Васильев, П.И. Коваленко, Э.Э. Маковский, В.П.Куротченко, В.А.Рожнов, Т.А.Исабеков, М.М. Камилов, Т.Ф.Бекмурадов, Р.Х.Хамдамов, Ш.Х.Фозилов, М.А. Рахматуллаев, Н.Равшанов, И.К.Хужаев и другие рассмотрели в своих работах.

В настоящее время в объектах водного хозяйства в недостаточной степени изучены проблемы создания компьютерных моделей, алгоритмов, методов оптимального управления, необходимых условия оптимальности, критериев качества, математических и численных моделей распределения воды в условиях дискретности водоподачи потребителям.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. работами. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов плана научно-исследовательских работ Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем по следующим темам №КХФ-5-017- «Разработка теории оптимального управления распределением воды в ирригационных системах в условиях дискретности водоподачи потребителям» (2012-2016).

Целью исследования является управление процессом оптимального распределения воды в условиях дискретности водоподачи потребителям, использованием методов оптимального управления и математического моделирования.

Задачами исследований являются:

разработка математических моделей и критериев качества оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям;

разработка необходимых условий оптимальности распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям;

разработка метода оптимального управления распределением воды в условиях дискретности водоподачи потребителям, основанного на полученных необходимых условиях оптимальности;

разработка алгоритмов и программного комплекса решения задач оптимального управления водораспределением в Южном Голодностепском магистральном канале.

Объектом исследований является процесс оптимального управления распределением воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям.

Предметом исследований являются алгоритмы, методы, модели оптимального управления распределением воды в условиях дискретности водоподачи потребителям.

Методы исследования. В процессе исследований использованы методы математического и численного моделирования, оптимального управления и алгоритмизации систем распределенными параметрами, а также принципы системного анализа.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны критерии качества и математические модели оптимального управления распределением воды, усовершенствованием дифференциальных уравнений в частных производных Сен-Венана, описывающих неустановившееся движение воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям;

разработаны необходимые условия оптимальности распределения воды в каналах ирригационных систем, усовершенствованием дельта-функции Дирака, в условиях дискретности водоподачи потребителям;

разработан метод проекции градиента оптимального управления, основанный на необходимых условиях оптимальности распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям, усовершенствованием метода проекции градиента;

созданы алгоритм и программное обеспечение на основе метода конечных разностей задачи оптимального управления при сохранении дискретности распределения воды в каналах.

Практические результаты исследования заключается в следующем: