

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

БЕРДИЕВ АЛИШЕР АЛИКУЛОВИЧ

ЕР ҚАТЛАМЛАРИ ҲОЛАТИНИ ОПТИК-ТОЛАЛИ ЎЛЧОВ
ТИЗИМЛАРИ АСОСИДА МОНИТОРИНГ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИНИ
ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари ва қурилмалари. Мобиль, тола-оптик алоқа тизимлари.

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2022

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

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

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

Бердиев Алишер Аликулович

Ер қатламлари ҳолатини оптик-толали ўлчов тизимлари асосида мониторинг
қилиш усуллари ишлаб чиқиш 3

Бердиев Алишер Аликулович

Разработка методов мониторинга состояния земных грунтов на основе
волоконно-оптических измерительных систем..... 21

Berdiyev Alisher Alikulovich

Development of methods for monitoring of the state of terrestrial soils based on
fiber-optic measuring systems..... 41

Эълон қилинган ишлар рўйхати

List of published works

Список опубликованных работ 43

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

БЕРДИЕВ АЛИШЕР АЛИКУЛОВИЧ

ЕР ҚАТЛАМЛАРИ ҲОЛАТИНИ ОПТИК-ТОЛАЛИ ЎЛЧОВ
ТИЗИМЛАРИ АСОСИДА МОНИТОРИНГ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИНИ
ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари ва қурилмалари. Мобиль, тола-оптик алоқа тизимлари.

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2022

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.1.PhD/T2433 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Рахимов Бахтиёржон Неъматович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Давронбеков Дилмурод Абдужалилович
техника фанлари доктори, профессор

Туляганов Баходиржон Исмаилович
геология-минералогия фанлари номзоди, етакчи
илмий ходим

Етакчи ташкилот:

Тошкент давлат транспорт университети

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «25» Июнь да соат 12⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100084, 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 университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (4691 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43).

Диссертация автореферати 2022 йил «9» июнь куни тарқатилди.
(2022 йил «9» июнь даги 2 рақамли реестр баённомаси).



Б.Ш. Махкамов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
раиси, и.ф.д., профессор

Э.Ш. Назирова
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
илмий котиби, т.ф.д., доцент

М.М. Мухитдинов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
ҳузуридаги илмий семинар
раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Жаҳонда турли вазифали радиотехник, оптоэлектрон қурилмалар ва комплекслар, жумладан, кўчки жараёнларини мониторинг қилиш ва башоратлашга мўлжалланган тизимларни ишлаб чиқиш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. «Дунё миқёсида 1998-2020 йиллар оралиғида кўчкилар натижасида 4,8 миллион инсон жабр кўрганлигини ҳамда 18000дан ортиқ инсон вафот этган»¹лигини ҳисобга олсак ушбу йўналиш бўйича тоғ жинсларларидаги кўчки жараёнларининг ривожланишини башоратлаш, мониторинг қилиш тизимини ишлаб чиқиш ва амалиётга жорий қилишни тақозо этади. Шу жумладан ривожланган мамлакатларда, хусусан АҚШ, Швейцария, Япония, Австралия, Германия ва Россия каби давлатларда тоғ жинсларининг кўчки жараёнларини мониторинг қилишнинг радиотехник модуллари, блоклари ва қурилмаларини ҳамда ушбу тизимлар учун аппарат-дастурий воситаларни ишлаб чиқишга, мониторинг ахборот тизимлари модулларининг ўзаро боғланиши, ўзаро таъсири ва интеграциясини ташкил этувчи тамойилларни ишлаб чиқишга, шунингдек, фавқулодда вазиятлар хавфи ёки содир бўлганлиги ҳақида аҳолига хабар бериш тизимини яратиш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда махсус датчиклар, симсиз технологиялар асосида ва телекоммуникацион тизимлар ёрдамида тоғ жинсларининг ҳолатини мониторинг қилиш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишга қаратилган бир қанча илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, ёруғлик интенсивлигини модуляцияловчи оптик-толали интерферометрик датчиклар деформацион хусусиятлари асосида экзоген ҳодисаларни шаклланишини мониторинг қилиш қурилмаларини ишлаб чиқиш ва геологик шароитларнинг ўзгаришида кўчки фаоллиги ҳудудини аниқлаш тизимининг самарадорлигини ошириш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланмоқда. Шу билан бирга, тоғ жинсларининг кўчки жараёнларини аниқлаш ва мониторинг қилиш тизимлари учун аппарат-дастурий воситаларни ишлаб чиқиш, шунингдек, фавқулодда вазиятлар хавфи ёки содир бўлганлиги ҳақида аҳолига хабар бериш ва маълумот етказишнинг марказлашган, автоматлаштирилган тизимини яратиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикамизда оптик-толали ўлчов тизимларига асосланган тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш қурилмалари, алгоритмлари ва усуллариининг янги тамойилларини ишлаб чиқиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт Стратегияси»да, жумладан «...геология соҳасида замонавий таълим стандартларини кенг жорий этган ҳолда малакали кадрларни тайёрлаш тизимини йўлга қўйиш ҳамда илмий тадқиқот натижаларини амалиётга татбиқ этиш, шунингдек электротехника соҳасида илмий тадқиқотлар ва тажриба-конструкторлик ишларини

¹ https://www.who.int/health-topics/landslides#tab=tab_1

ривожлантириш...»² бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларини амалга оширишда, жумладан муҳандислик-геологик ва экзоген-геологик жараёнларни ўрганиш бўйича гидрогеологик ишларни олиб бориш, техноген таъсир оқибатида гидрогеологик ва муҳандислик-геологик шароитларнинг ўзгаришини технологик воситалар асосида кузатиш ва башоратлаш усуллари ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 29-январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт Стратегияси тўғрисида»ги, 2017 йил 1 июндаги ПФ-5066-сон «Фавқулодда вазиятларнинг олдини олиш ва бартараф этиш тизими самарадорлигини тубдан ошириш чора-тадбирлари тўғрисида» Фармонларида, 2017 йил 29 августдаги ПҚ-4947-сон «Ахборот-коммуникация технологиялари соҳасида лойиҳа бошқаруви тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2020 йил 30 июлдаги ПҚ-4794-сон «Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» Қарорларида, шунингдек Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2017 йил 8 августдаги 601-сон «Фавқулодда вазиятлар хавфи ёки содир бўлганлиги ҳақида Ўзбекистон Республикаси аҳолисига хабар бериш ва маълумот (ахборот) етказишнинг автоматлаштирилган тизимини яратиш ва ривожлантириш тўғрисида» Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV - «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналишига мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Табiiй ва техноген хусусиятли фавқулодда вазиятларни мониторинг қилиш усуллари яратиш, кўчки жараёнларини мониторинг қилиш учун оптик-толали ўлчов тизимларининг аппарат-дастурий таъминотини ишлаб чиқиш каби масалаларни ҳал қилишда бир қатор таниқли хорижий олимлар катта ҳисса қўшганлар, жумладан Т.Окоси (Япония), Е.Udd, R.Jackson (АҚШ), Alemohammad Hamid (Канада), В.Glisc, D.Inaudi (Швейцария), L.S.Zan, Z.Liang (Хитой), Kher Saxena, Rajan Ginu (Ҳиндистон), R.L.Idriss (Мексика), В.М.Шандаро, Ю.Н.Кульчин, К.Е.Румянцев, Д.Б.Шумкова (Россия) ва бошқалар.

Тоғ жинсларида кўчки жараёнлари содир бўлиш эҳтимоллигини баҳолаш усуллари ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш масалаларига Ўзбекистоннинг таниқли олимларини илмий ишлари бағишланган. Булардан: Т.Д.Раджабов, М.М.Мухитдинов, Ф.И.Воронов, Қ.П.Абдурахманов, Б.И.Туляганов, Д.А.Давронбеков, А.Исамухамедова, Н.Р.Рахимов, Р.Г.Камалетдинов,

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 29-январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт Стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

Р.А. Ниязов, Г.А.Бимурзаев, Н.Р.Юсупбеков, Ю.Г.Шипулин, А.М.Назаров, Э.А.Абдурахмонов, Б.Н.Рахимов, Ю.В.Писецкий, Ю.Мамасодиковларнинг олиб борилган илмий тадқиқотлар натижасида геологик шароитларнинг ўзгаришида кўчки фаоллиги худудини аниқлаш тизимининг самарадорлигини оширишда ва оптик-толали датчиклар асосида деформацион параметрларни мониторинг қилиш қурилмасини амалиётда қўллаш масалаларни ечишда салмоқли натижаларга эришилди.

Шу билан бирга, Ўзбекистон Республикаси хавфли геологик жараёнларни кузатиш давлат хизмати томонидан амалда қўлланилиб келинаётган анъанавий усуллар ёрдамида мониторинг маълумотлари реал вақт режимида олинмаслиги ҳамда ушбу усул кўчки секторларининг маълум бир қисминигина мониторинг қилиш имкониятига эга эканлиги аниқланди. Шунингдек, ушбу соҳадаги тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатадики, кузатилаётган экзоген хавфли объектнинг турли параметрларидаги ўзгаришларни синхрон қайд этиш усуллари, оптик-толали ўлчов тизимларга асосланган тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш тизимини алгоритмлари ва аппарат-дастурий қурилмаларини ишлаб чиқиш ҳамда уларнинг имкониятларини такомиллаштириш масалалари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация иши бажарилган олий таълим муассасаси илмий ишлари режаси билан боғлиқлиги. Диссертация иши қуйидаги инновацион илмий-тадқиқот ишлари доирасида бажарилди: 5/18-Ф «Радиомониторинг спектрал характеристикалари асосида радиосигналларни аниқлаш ва таниб олиш усуллари ишлаб чиқиш – УҚТ диапазонли электромагнит муҳитида экспресс анализатор» (2018-2020), № ФЗ-201907104 «Зилзилада аҳолининг барча қатламларини тўғри ҳаракатланишига ўргатиш учун мўлжалланган интерактив мобиль илова яратиш» (2020-2022) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади оптик-толали ўлчов тизимлари асосида тоғ жинсларининг кўчки жараёнларини мониторинг қилиш усуллари, алгоритмлари ва аппарат-дастурий воситаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

оптик-толали ўлчов тизимлари асосида тоғ жинсларидаги локал кўчки хавфини башоратлаш бўйича мавжуд чет эл ва маҳаллий усулларни таҳлил қилиш;

оптик-толали ўлчов тизимлари асосида тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилишнинг усулини ишлаб чиқиш;

тоғ жинсларининг хавфли кўчки жараёнларини мониторинг қилиш ва уларнинг ривожланишини башоратлаш тизими алгоритминини ишлаб чиқиш;

тоғ жинслари мониторинги ахборот-ўлчов тизимидаги радиотехник элементлар ва модулларнинг ўзаро боғланиши, таъсири ва интеграциясини ташкил этиш тамойилларини ишлаб чиқиш;

оптик-толали датчиклар ва тупроқ намлиги датчиклари асосида тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш қурилмасининг аппарат-дастурий таъминотини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида хавfli геологик жараёнлар (тоғ жинсларида кўчкилар, емирилишлар ва чўкишлар) олинган.

Тадқиқотнинг предмети тоғ жинсларининг кўчки жараёнларини мониторинг қилиш ва кўчки хавфини баҳолаш усуллари, алгоритмлари ва қурилмалари.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда белгиланган вазифаларни ечиш учун илмий таҳлил, оптик-толали датчикларнинг оптик хусусиятлари ўзгаришларини экспериментал ўрганиш, индукция ҳамда тадқиқот натижаларини статистик қайта ишлаш усулларидан фойдаланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгилigi қуйидагилардан иборат:

тоғ жинсларидаги кўчки хавфини мониторинг қилиш тизимида оптик-толали ўлчов тизимларини қўллаш ҳамда уларнинг турли параметрларини назорат қилишни автоматлаштириш ҳисобига кўчки ҳолатларини мониторинг қилиш усули такомиллаштирилган;

хавfli экзоген геологик шароитларнинг ўзгаришида кўчки фаоллиги ҳудудини аниқлаш ва уларнинг ривожланишини баҳоратлаш тизимининг самарадорлигини оширувчи ҳамда тизим параметрларини масофадан ўзгартириш имкониятини берувчи қурилма алгоритми ишлаб чиқилган;

фавқулодда вазиятларда огоҳлантириш ва ҳаракат қилиш давлат тизимининг функционалиги оширадиган оптик толали ўлчов тизимлар ёруғлик интенсивлигини модуляцияловчи спектрометрик датчикларнинг деформацион хусусиятлари асосида тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилувчи тизимдаги радиотехник элементлар ва модулларнинг ўзаро боғланиши ва интеграциясини ташкил этиш тамойили ишлаб чиқилган;

геологик шароитларнинг ўзгаришида кўчки фаоллигини ҳудудини аниқлаш хатолигини оптик-толали ўлчов тизимлари ва тупроқ намлиги датчиклари асосида камайтирган ҳолда тизим самарадорлигини оширувчи тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш қурилмасининг аппарат-дастурий таъминоти ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

GSM орқали бошқариш имкониятига эга, оптик-толали датчик ва тупроқ намлиги датчиги асосида тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш/кузатиш қурилмасининг дастурий таъминоти ишлаб чиқилди;

кўчки жараёнларини мониторинг қилиш қурилмасидан олинган маълумотларни сақловчи, қайта ишловчи ва намойиш қилувчи сервер дастурий таъминоти ишлаб чиқилди;

оптик-толали ўлчов тизимларига асосланган тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш учун дастурий-аппарат мажмуаси ишлаб чиқилди.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги изланишларнинг замонавий усул ва ўлчаш воситаларидан фойдаланган ҳолда ўтказилганлиги, тадқиқот ускуналари ва аппарат-дастурий таъминоти ёрдамида амалга оширилган назарий ва экспериментал тадқиқотлар натижаларининг ўзаро мутаносиблиги ҳамда ишлаб чиқилган тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш қурилмаси синовларининг ижобий натижалари ва амалиётга жорий этилганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш қурилмаси аппарат ва дастурий қисмларининг талаб даражасидаги иш сифатини таъминлайдиган параметрлари ва иш режимлари асосланганлиги ҳамда ишлаб чиқилган модел ва аналитик боғланишлардан бошқа шунга ўхшаш жараёнларни тадқиқ этишда қўллаш мумкинлиги билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти тоғ жинслари ҳолатини комплекс ва узлуксиз мониторинг қилишда ишлаб чиқилган тизимнинг потенциал имкониятлари, жумладан, ишлаб чиқилган аппарат-дастурий комплекс ер қатламларидаги кўчки жараёнларини баҳолаш аниқлигини сезиларли даражада ошириши, ўзгарувчан масса ҳаракатининг катта периметрларини назорат қилиш имконини бериши ҳамда тизим параметрларини масофадан ўзгартириш имкониятига ва иқлим ўзгаришига мос равишда кузатилаётган параметрлар бўсағавий қийматларини автоматик созлаш имкониятига эга эканлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Оптик-толали ўлчов тизимлари асосида тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш тизимини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

оптик-толали ўлчов датчиклари асосида тоғ жинслари кўчки жараёнларини мониторинг қилиш ахборот-ўлчов тизимининг радиотехник элементлари ва модулларининг ўзаро боғланиши, таъсири ва интеграциясини ташкил этиш бўйича ишлаб чиқилган усуллари ва алгоритмлари Ўзбекистон Республикаси Мудофаа вазирлигининг «15361-ҳарбий қисм» Махсус авария-тиклаш бошқармасида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 17 ноябрдаги 33-8/8220-сонли маълумотномаси). Натижада кўчки фаоллигини аниқлаш вақтини 5-7 мартага қисқартириш ва тизим самарадорлигини 10-20 % га ошириш имконини берган;

ишлаб чиқилган дастурий-аппарат воситаси ва кўп каналли ахборот-ўлчов тизимининг синхрон маълумотларини қайта ишловчи мониторинг мажмуаси Ўзбекистон Республикаси Фавқулодда вазиятлар вазирлиги Фуқаро муҳофазаси институтида жорий этилди (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 17 ноябрдаги 33-8/8220-сонли маълумотномаси). Дастурий-аппарат воситасини жорий этиш орқали фавқулодда вазиятларда огоҳлантириш ва ҳаракат қилиш давлат тизимининг функционаллиги кенгайтирилган, кузатилаётган параметрлар назоратини автоматлаштириш таъминланган;

Тоғ жинслари ҳолатини оптик-толали ўлчов тизимлари асосида мониторинг қилиш қурилмаси «UNICON.UZ» ДУК.да жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 17 ноябрдаги 33-8/8220-сонли маълумотномаси). Тадқиқот натижаларини аҳоли пунктларининг бориш қийин бўлган ва тоғли ҳудудларида O'z DSt 3523:2021 давлат стандартига мувофиқ магистрал оптик-толали кабелларни ётқизишда, монтаж қилиш ва оптик-толали алоқа линияларини қуришда, ер қатламларида кўчкилар содир

бўлиш эҳтимолини мониторинг қилишда ва асосий параметрларни аниқлашда қўллаш мумкин. Натижада тизим самарадолигини 1,1-1,2 мартага оширилган ва объектни n та кузатув нуқтасига эга 2 км.гача бўлган периметрда мониторинг қилиш мумкин бўлган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 6 та халқаро ва 7 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 30 та илмий иш чоп этилган, шулардан 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация комиссиясининг фалсафа доктори диссертациялари асосий илмий натижаларни чоп этишга тавсия этилган нашрларида 13 та мақола, жумладан 2 таси хорижий, 11 таси республика журналларида нашр қилинган, ҳамда ЭҲМ учун дастурий маҳсулотлар рўйхатга олинганлиги тўғрисида 3 та гувоҳнома олинган.

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

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурлиги асосланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, ишнинг мақсади ва вазифалари белгилаб олинган ҳамда тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалда жорий қилиш ҳолати, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

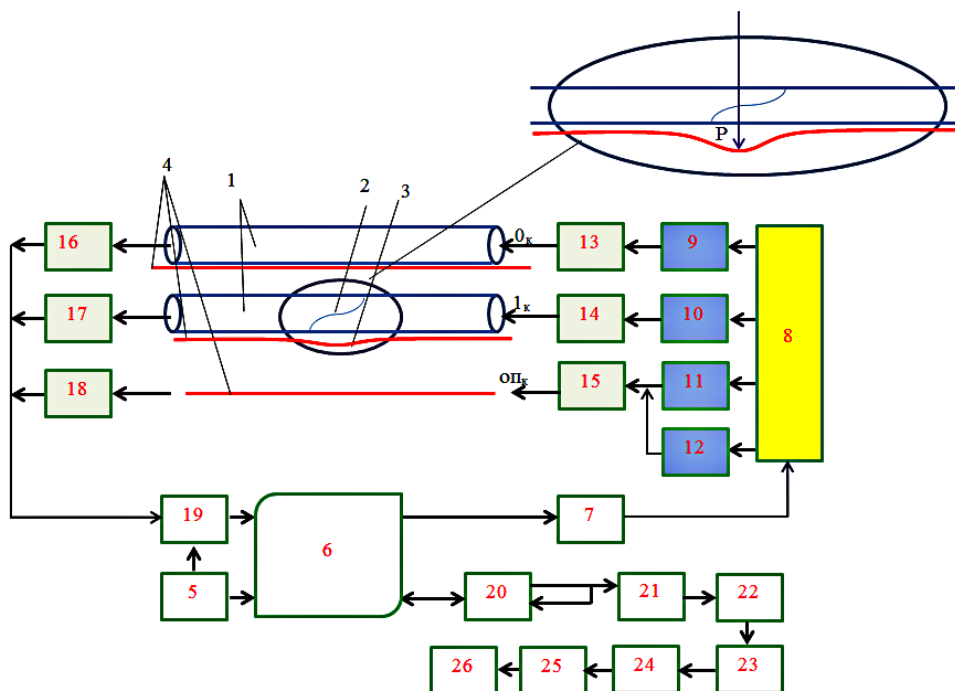
Диссертациянинг «Кўчки қияликларининг барқарорлигини баҳолаш воситалари ва усулларини таҳлил қилиш» деб номланган биринчи бобида кўчкиларнинг маълум бир тури шунингдек, уларнинг ҳаракат механизми бўйича дала ўлчовларига боғлиқ ҳолда кўчки жараёнларини мониторинг қилишнинг амалдаги усулларининг назарий ва аналитик таҳлили келтирилган. Таҳлиллар асосида ўрнатилдики, кўриб чиқилган усуллар комплекс тузилишга эга эмас, шунингдек кўчки хавфини аниқлаш учун маълум усуллардан фойдаланиш бўйича асосланган тавсиялар келтирилмаган. Тақсимланган зондлаш, кўчки массалари сурилишининг катта масофаларини назорат қилиш ва ер-кўчки жараёнларини баҳолашнинг аниқлигини ошириш талабларини қондириш учун оптик-толали ўлчов тизимлари асосида тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш усулларини ишлаб чиқиш зарурлиги белгилаб олинди. Ушбу усулнинг асосий афзалликлари келтириб ўтилган.

Замонавий оптик-толали датчиклар қайд этувчи оптик параметрлар, уларнинг конверторлари тамойили, ўлчовчи муҳит билан ўзаро таъсири ва ўлчанадиган физик параметрлар турлари бўйича таҳлил қилинди ва таснифланди. Ташқи сезувчан элементли ҳамда сезгир элемент сифатида фойдаланиладиган оптик-толали датчиклар таҳлил қилинган.

Кўчкилар механизмининг турлари таҳлил қилинди, кўчки жараёнларини содир бўлишига олиб келувчи омиллар ва сабаблар аниқланган.

Диссертациянинг «Кўчки жараёнларини кузатиш учун оптик-толали датчиклардан фойдаланишни назарий асослаш» деб номланган иккинчи боби ички таъсирлар эффеќтига асосланган оптик-толали датчикларнинг ишлаш тамойилини тадқиќ қилишга бағишланган. Оптик-толали ўлчов тизимлари асосида у ёки бу физик параметрларни аниқлаш/ўлчаш жараёнида ёруғлик ўтказгичларида юзага келадиган: Реле, Раман, Бриллюэн нур сочилишлари; ташқи таъсирлар натижасида тўлиќ ички синиш шартининг бузилиши; толанинг физик деформацияси натижасида сўниш ёки фазавий сурилиш; поляризация текислигининг айланиши каби асосий физик ҳодисалар тадқиќ қилинган.

Ёруғлик интенсивлигини модуляцияловчи оптик-толали датчиклар, интерферометрик (фазали модуляцияланган), спектрометрик (тўлқинли модуляцияланган) ҳамда поляриметрик (поляризация-модуляцияланган) датчиклар ишлашининг физик тамойиллари таҳлил қилинган. Оптик-толали ўлчов тизимларининг юқори сезгир компонентлари сифатида Фабри-Перо, Маха-Цендр, Майкельсон ва Саньяк интерферометрлари тузилиши ва ишлаш тамойиллари кўриб чиқилган.



1- расм. Ер ости қувурлари бўйлаб чарчоқ ёрикларининг келиб чиқиш ва тарқалиш жойларини аниқлаш қурилмасининг блок-схемаси

Оптик-толали ўлчов тизимларига асосланган ер ости қувурларининг динамик ва статик хусусиятларини башоратлаш усули таклиф этилган (1-расм).

Қурилма қуйидаги асосий қисмлардан иборат: (1) синалаётган конструкцияларнинг фрагментлари (қувурлар), (4) полимер толалар (датчиклар), (5) электр таъминот, (6) микроконтроллер, (7) коммутатор, (8) қувват кучайтиргичи, (9-12) соzланувчан резисторлар, (13-15) лазер диодлари

(ЛД), (17-18) оптик нурланишни ўлчовчи қабул қилгич, (19) кучайтиргич, (20) RS232 узатгич, (21) аналог-рақамли ўзгартиргич, (22) компьютер.

Датчиклар ёрдамида тизим (Р) сув босими туфайли (2) бўлимда пайдо бўладиган (3) ёриқлар ўрнини қайд этади ва тўғридан-тўғри рақамли маълумотларни қайта ишлаш амалга оширилади (24) ва натижалар математик қайта ишлаш бирлигига узатилади (25), ҳисоб-китоб натижалари маълумотлар файллари сифатида сақланади (23) ва статистикаси юритилади (26).

Оптик толали датчиклар асосида ер ости қувурларида ёриқлар пайдо бўлган жойларини аниқлаш технологияси иккита усулга асосланган:

1. Бугер-Ламберт-Бер қонуни. Бу қонун оптик спектроскопия пик майдонида пик ҳосил қилувчи ўтишлар сонига тўғри пропорционаллигини билдиради ва ёруғликнинг сусайишини ёруғлик ўтадиган материалнинг хоссаларига боғлайди. Ушбу қонун қуйидаги ифода орқали аниқланади (1):

$$\Phi_0 = 0,5\tau R n \nu_r \Phi_0 e^{-2\alpha L} \quad (1)$$

бу ерда Φ_0 - бошланғич ёруғлик оқими қуввати; $\Phi_{об}$ - L масофада тескари йўналиш бўйича сочилган ёруғлик оқими қуввати; α – ёруғлик ўтказгичда сўниш (тўлқин узунлиги 1310 нм бўлганда $\alpha = 0.000073 \text{ м}^{-1}$); ν_r - импульс тарқалишининг гуруҳли тезлиги; n - тескари йўналишда сочилган ёруғликнинг нисбатини аниқловчи кўрсаткич.

L масофада тескари йўналиш бўйича сочилган ёруғлик оқимининг умумий қувватини (Φ_L) ҳисобга олган ҳолда:

$$\Phi_L = \Phi_0 + \Phi_{об} \quad (2)$$

Оптик толали датчикда оптик нур сочилишининг L масофаси аниқланган (3):

$$L = \frac{\ln\left(\frac{\Phi_L - \Phi_0}{0.5\tau R n \nu_r \Phi_0}\right)}{2\alpha} \quad (3)$$

Ушбу формула ёрдамида оптик толали датчикнинг қайси қисмида йўқотишлар содир бўлаётганини аниқлаш мумкин бўлади.

2. Тўлиқ ички қайтиш усули. Тўлиқ ички қайтиш ҳодисаси ёруғлик оптик жиҳатдан зичроқ муҳитдан оптик жиҳатдан камроқ зич муҳитга ўтганда кузатилади.

Ёруғликнинг бундай хусусиятига асосланиб, ушбу қонуниятни турли иншоотларнинг бузилишини аниқлаш технологиясида, масалан, ер ости қувурларининг чизикли қисмида аварияларни аниқлашда қўллаш мумкин.

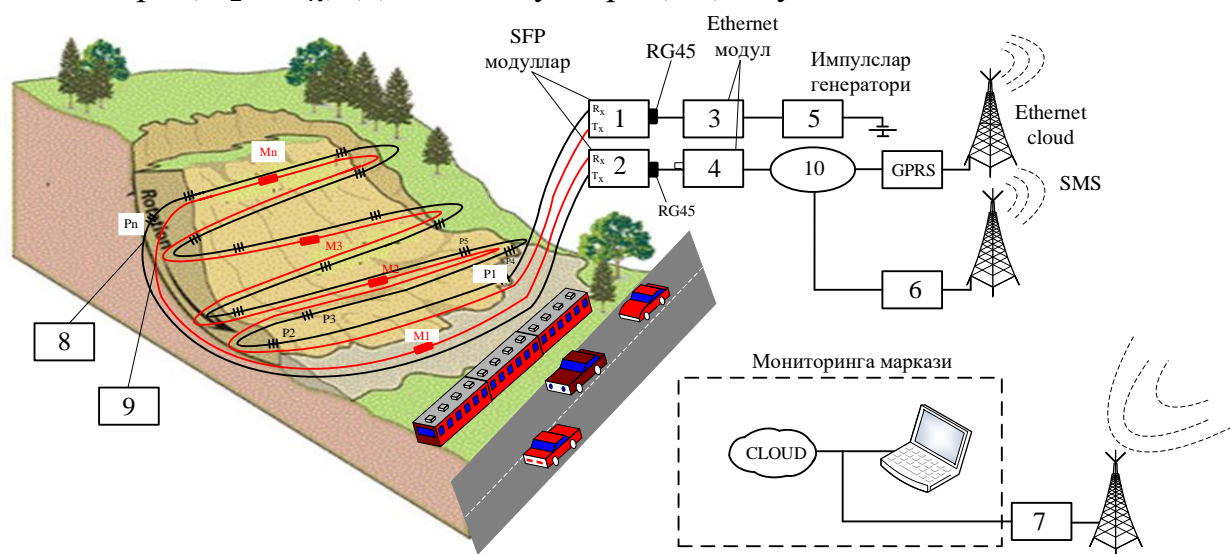
Ёруғлик нурининг аксланиш вақтини ҳисобга олиб, ер ости қувурларида ёрилиш ёки шикастланишнинг аниқ жойини қуйидаги ифода ёрдамида аниқлаш мумкин (4):

$$S = C \frac{t}{2} \quad (4)$$

бу ерда C – ёруғлик нурларининг тарқалиш тезлиги; t –ёруғлик нурининг аксланиш вақти.

«Ер қатламлари ҳолатини мониторинг қилиш учун ахборот-ўлчов усулини ишлаб чиқиш» деб номланган учинчи бобда оптик-толали ўлчов тизимлари асосида ер қатламларини мониторинг қилишнинг модели ишлаб чиқилган (2-расм).

Модел қуйидагича ишлайди. Шартли импульслар генератори (5) маълум вақт оралиғида дискрет сигналларни ҳосил қилади. SPI Ethernet модуллари (3,4) датчиклардан келган маълумотларни интернет орқали узатиш ва ўз навбатида генератор ва SFP модуллари TCP/IP протоколи орқали боғлаш вазифасини бажаради. Оптик-толали датчиклар ($p_1 - p_n$) (8) ва тупроқ намлиги датчиклари ($m_1 - m_n$) (9) SFP модуллари (1,2) га уланади.



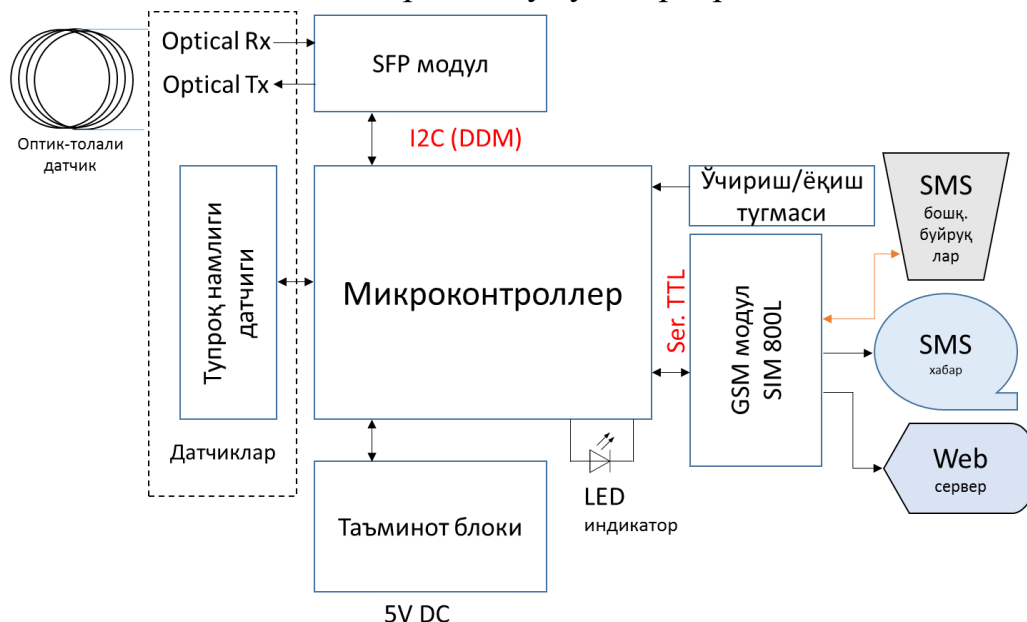
2- расм. Оптик-толали ўлчов тизимини ташкил этиш принципи

Датчиклар бир томондан T_x лазер билан ёритилса, иккинчи томондан R_x фотодетекторга уланади ва уларнинг ҳаммаси кўчиш хавфи бўлган нишаб майдонга ўрнатилади. Агар назорат қилинаётган юзада қандайдир жараён содир бўлса, маълум бир датчикда ёки бир вақтда бир нечта датчикларда кўрсаткичлар ўзгаради. Натижада R_x фотодетекторининг ёруғлик оқими интенсивлигида кескин сусайиши кузатилади. SFP нинг чиқувчи сигнали Ethernet модул томонидан электр сигналга айлантирилади. Микроконтроллер (10) ёрдамида маълумотлар GPRS узатгичига ва (6) захира узатгичига узатилади ҳамда бу орқали захира ва иккиламчи узатиш каналини ташкил қилиш мақсадига эришилади. Мониторинг марказида маълумотлар қайта ишланади, зарур ҳолларда тезкор ҳаракатлар олиб бориш учун хавfli ва фавқулодда вазиятлар мавжудлиги аниқланади.

Диссертацияда физик ва спектрал параметрлар бўйича маълумотларнинг нобиржинслилигини ҳисобга олган ҳолда турли манбалардан (датчиклардан) келаётган бир нечта маълумотларни қайта ишлаш муаммосини ҳал қилиш учун мониторингнинг кўп каналли ахборот ва ўлчов тизимида маълумотларни синхрон қайта ишлаш усули ишлаб чиқилди.

Оптик толали датчиклар асосида ер қатламларининг кўчки жараёнларини кузатиш усулларини, шунингдек, ушбу усулни амалда қўллайдиган махсус қурилмани ишлаб чиқишда, SFP модул оптик сигналларни узатиш манбаи ва ушбу сигналда йўқотишлар ва хатоликларни қайд этувчи қурилма сифатида тадқиқ қилинган. Диссертацияда ушбу модулнинг оптик ва физик хусусиятлари батафсил ёритилган, қурилманинг EEPROM хотираси тузилиши таҳлил қилинган, DDM рақамли диагностиканинг асосий параметрлари ҳамда ушбу қурилманинг принципиал схемаси ўрганилган. Аниқландики, SFP модулнинг DDM протоколи асосида кузатилувчи диагностик маълумотлар 256 байт ҳажмли рақамли ҳисоботга эга ва уни 8 бит адресли икки симли I2C интерфейси орқали олиш мумкин, ҳамда ушбу ҳисоботнинг 96-105 элементлари лазернинг чиқиш қуввати T_x MSB, лазернинг кириш қуввати R_x MSB ва кучланиш V_{cc} MSB каби керакли параметрлари қийматларини ўз ичига олади. SFP модулнинг ушбу хусусиятлари тоғ жинслари ҳолатини оптик толали ўлчов тизимлари асосида мониторинг қилиш қурилмасининг дастурий таъминотини ишлаб чиқишда инобатга олинган.

Диссертациянинг «Ер қатламлари ҳолатини мониторинг қилиш қурилмасини ишлаб чиқиш» деб номланган тўртинчи бобида оптик-толали ўлчов тизимлари асосида кўчки жараёнларини мониторинг қилиш қурилмаси ишлаб чиқилган. 3-расмда ишлаб чиқилган қурилманинг блок-схемаси келтирилган бўлиб, у SFP модул, ATMEGA 328P микроконтроллери, SIM 800L GSM модули, таъминот блоки, оптоэлектрон датчик, тупроқ намлиги датчиги, LED индикатор ва аккумуляторлардан ташкил топган.



3-расм. Тоғ жинсларда кўчки жараёнларини мониторинг қилиш қурилмасининг функционал блок-схемаси

Ишлаб чиқилган қурилма ер қатламларидаги механик силжишлар ва тупроқ намлигининг нисбий қийматларини назорат қилади. Қурилма қуйидаги тарзда ишлайди:

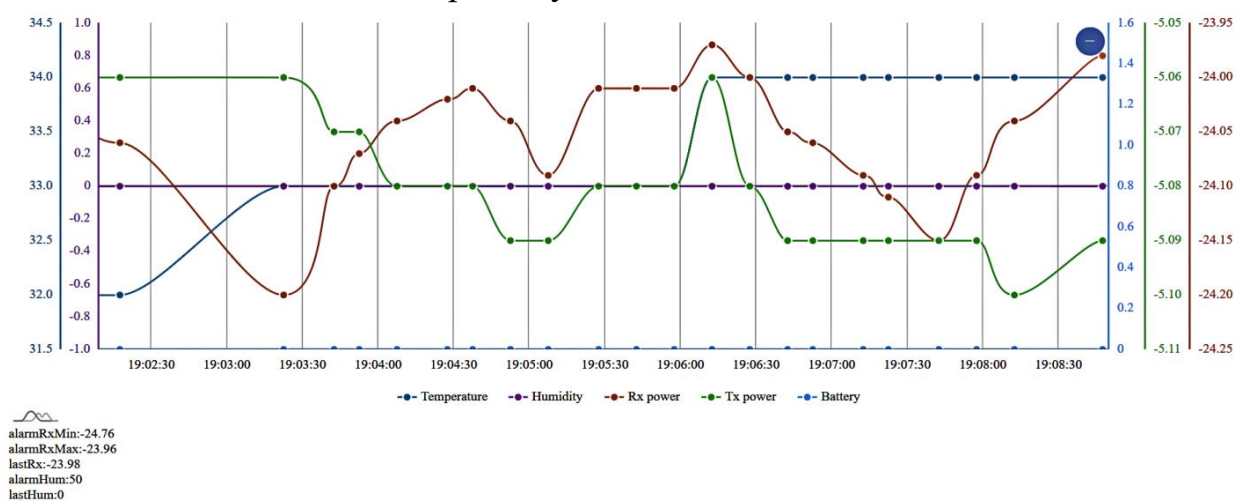
- оптик-толали датчик ёруғлик узатувчиси ва фотодетекторга эга бўлган SFP модулга уланади. Модуль ўз навбатида ATMEGA 328-P

микроконтроллерига уланган. Тупроқ намлиги датчиги ҳам микроконтроллернинг аналог киришига уланади;

- микроконтроллер марказий блок сифатида ишлайди, кузатилаётган параметрлар ҳисобини юритади, шунингдек, R_x қувватининг бўсағавий қиймати, ушбу қувват даражасининг рухсат этилган максимал ва минимал оғиш қийматлари ($R_{x_{min}}$ ва $R_{x_{max}}$), тупроқ намлиги даражасининг максимал рухсат этилган қиймати каби бирламчи параметрлар қийматини ўқийди. Сўнгра SFP ва микроконтроллер орасида алоқа ўрнатилади.

- кузатилаётган маълумотлар SFP модулни DDM протоколи ёрдамида ҳосил қилинади. Ушбу параметрлар қийматларини инобатга олган ҳолда, ер қатламлари ҳолатини мониторинг қилиш ва бу орқали огоҳлантириш, сигнализацияни ёқиш ва шу каби тегишли қарорларни қабул қилиш мумкин бўлади;

- микроконтроллер GSM модул билан алоқа ўрнатади ва ушбу модул кузатилаётган параметрларнинг маълумотларини узатгичи, SMS буйруқли (бошқарувчи) кодлар қабул қилгичи вазифаларини бажаради. Микроконтроллер махсус дастур билан дастурланган бўлиб, унинг бошқаруви асосида GSM модул узлуксиз равишда параметрлар қийматларини серверга жўнатиб туради (4-расм), шунингдек ушбу қийматлар белгиланган даражадан ошиб кетса, SMS огоҳлантириш жўнатади.

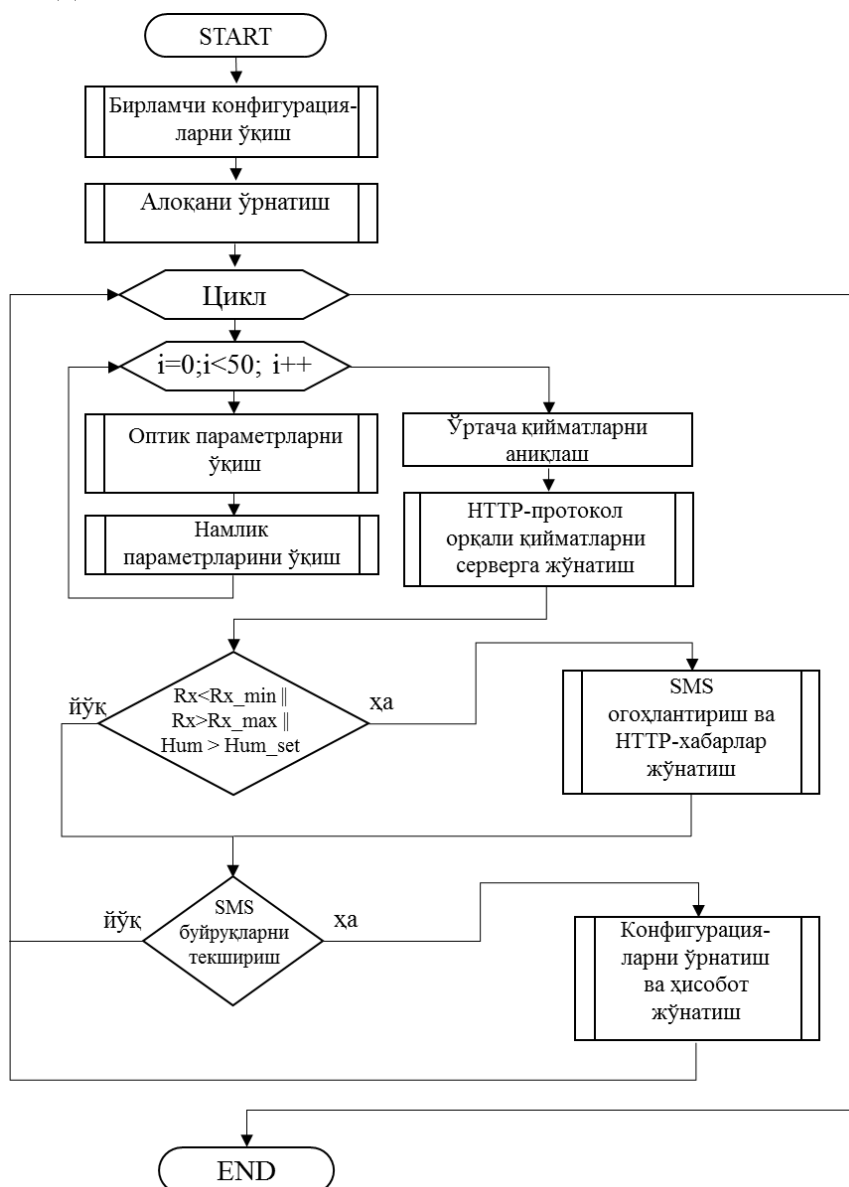


4-расм. Тизимнинг фойдаланувчи веб-интерфейсида кўрсатиладиган маълумот кўриниши

Юқорида келтирилган блок-схема меъзони асосида қурилманинг принципиал схемаси ишлаб чиқилган, қурилма учун махсус корпус тайёрланган ва бу диссертация ишида келтирилган.

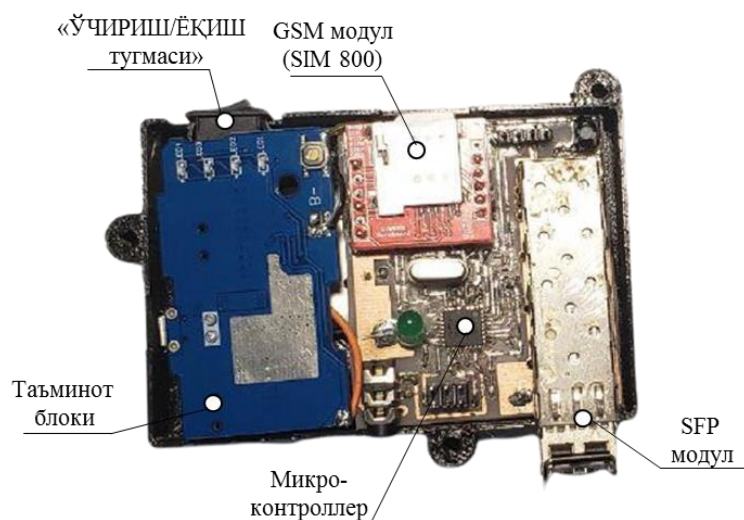
Бундан ташқари оптик-толали датчиклар асосида кўчки жараёнларини мониторинг қилиш қурилмасининг ишлаш алгоритми ишлаб чиқилган (5-расм). Алгоритмнинг ишлаш жараёни R_x , $R_{x_{max}}$, $R_{x_{min}}$, Hum_{max} каби бирламчи конфигурацияларни ўқиш ва алоқани ўрнатиш (радиотехник элементлар ва модулларнинг ўзаро боғланиши, таъсири ва интеграцияси) билан бошланади. Ушбу алгоритмнинг ўзига хос хусусияти шундаки, кузатилаётган параметрларнинг бўсағавий қийматини автоматик сошлаш, бу орқали об-ҳаво ўзгаришларини компенсациялаш ва параметрлар маълумотларини n марта

($i=0$; $i < 50$; $i++$, бизнинг ҳолатда 50 марта) ҳисоблаш орқали ёлғон сигналлар бартараф этилади.



5-расм. Кўчки жараёнларини мониторинг қилиш қурилмасининг ишлаш алгоритми

Ишлаб чиқилган қурилманинг ташқи кўриниши 6-расмда келтирилган. Ер қатламлари ҳолатини мониторинг қилиш қурилмаси ёрдамида кўчки жараёнларини ўлчаш усуллари тавсия этилган ва экспериментал тадқиқотлар ўтказилган.



6-расм. Қурилманинг ташқи кўриниши

Оптик-толали датчикнинг механик юкламага таъсирчанлик даражаси экспериментал равишда баҳоланган. Юклама таъсирида оптик-толали датчикда йўқотишлар қуйидаги формула билан аниқланади:

$$P_L = -10 \log \left(1 - \frac{4\Delta L}{\pi D} \right) \cos \gamma \quad (5)$$

бу ерда P_L - ўлчаш каналидаги йўқотишлар [дБ]; ΔL – оптик-толали датчиклар ёруғлик ўтказгичлари марказларининг ўзаро сурилиши [мм]; D - ёруғлик ўтказгичининг диаметри, [мм]; γ - юклама таъсирида сенсорли ёруғлик ўтказгичлари орасидаги сурилиш бурчаги.

Тажриба натижалари 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал.

| $R_{x.min} - R_{x.max} = 0,5\text{дБм}$ | | | | | |
|---|---------|----------|-------------|-------------------|--------------------|
| Δ_d [мм] | U [V] | t [°C] | T_x [дБм] | $R_{x.наз}$ [дБм] | $R_{x.амал}$ [дБм] |
| 0 | 3,25 | 31,53 | -5,03 | -16,41 | -16,52 |
| -1 | 3,25 | 31,56 | -5,04 | -16,48 | -16,52 |
| -2 | 3,25 | 31,61 | -5,04 | -16,55 | -16,63 |
| -3 | 3,25 | 31,58 | -5,03 | -16,72 | -16,74 |
| -4 | 3,25 | 31,62 | -5,04 | -16,91 | -16,95 |
| -5 | 3,25 | 31,63 | -5,03 | -17,26 | -17,36 |
| -6 | 3,25 | 31,75 | -5,03 | -17,99 | -17,97 |
| -7 | 3,25 | 31,75 | -5,03 | -19,65 | -19,58 |
| -8 | 3,25 | 31,78 | -5,04 | -20,26 | -20,18 |
| -9 | 3,25 | 31,84 | -5,03 | -22,67 | -22,60 |
| -10 | 3,25 | 31,81 | -5,05 | -25,74 | -25,66 |

бу ерда, Δ_d – синов стенди елкасининг механик деформация қадами, U – SFP модулни таъминловчи кучланиш, t – қурилманинг ички

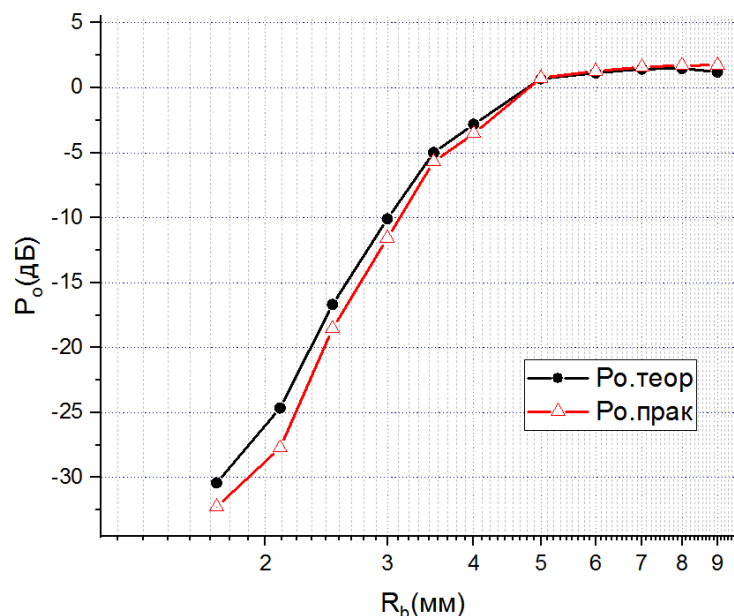
температураси, $R_{x.наз}$ - ёруғлик ўтказгич киришидаги қувватнинг назарий қиймати, $R_{x.амал}$ - ёруғлик ўтказгич киришидаги қувватнинг амалий қиймати, T_x - ёруғлик ўтказгич чиқишидаги қувват.

Ўрнатилдики, оптик-толали датчиклар марказларининг ўзаро сурилиш катталиги тахминан 4 ва 5 мм бўлса, оптик сигналнинг қуввати мос равишда -16.95 дБм ва -17.36 дБм ни ташкил этади. Аниқланганки, ташқи деформация катталиги қанчалик катта бўлса, оптик-толали датчикларда ёруғлик интенсивлиги шунчалик паст бўлади, яъни SFP модулда кирувчи оптик қувватнинг пасайиши кўчки жараёнлари содир бўлиш эҳтимоллигидан далолат беради.

Экспериментал усул билан бир модалли толали ёруғлик ўтказгич орқали ўтган ёруғлик қувватининг толанинг эгилиш бурчагига боғлиқлиги характеристикаси олинди (7-расм). Эгик ёруғлик ўтказгичидаги қувватни ўзгартириш самарадорлиги унинг қобигида тарқаладиган модалар сонини тўлиқ модалар сонига нисбатига пропорционал ва қуйидагича ҳисобланиши мумкин:

$$\frac{N_c}{N} = 1 - 2 \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \frac{\alpha}{R_b \theta_M^2}, \text{ бу ердан } R_b = \left(1 - \frac{N_c}{N} \right) \frac{\theta_M^2}{2\alpha} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (6)$$

бу ерда N – ёруғлик ўтказгичидаги модалар сони; N_c – қобикдаги модалар сони; R_b – ёруғлик ўтказгичининг эгилиш радиуси; $\theta_M = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$.



7-расм. Бир модалли толали ёруғлик ўтказгич орқали ўтган ёруғлик қувватининг толанинг эгилиш бурчагига боғлиқлик графиги

Ер қатламларида кўчки жараёнларини мониторинг қилиш бўйича бажарилган амалий тадқиқотлар натижаси назарий ҳисоб-китоблар ва хулосалар, техник ўлчовларнинг назарий натижалар билан мутаносиблиги орқали тасдиқланади. Олиб борилган тадқиқотлар натижасида кўчки жараёнларини ўлчаш усуллари тавсия этилган ва ишлаб чиқилган қурилмани

ер қатламлари ҳолатини мониторинг қилиш вазифаларида қўллаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилган. Ўтказилган синовлар шуни кўрсатдики, ишлаб чиқилган усуллар ва қурилма кўчки жараёнларини аниқлаш вақтини 5-7 баробарга қисқартирган, тизим самарадорлигини 1,1-1,2 мартага оширган ва объектни n та кузатув нуқтасига эга 2 километргача бўлган периметрда мониторинг қилиш имкониятини берган.

ХУЛОСА

«Ер қатламлари ҳолатини оптик-толали ўлчов тизимлари асосида мониторинг қилиш усулларини ишлаб чиқиш» мавзусидаги диссертация иши бўйича қуйидаги хулосалар келтирилган:

1. Оптик толали брэг панжаларидаги тўлқин узунлиги унга таъсир этувчи деформацияга кучли боғлиқ эканлиги исботланди. Оптик толанинг нисбий деформация катталиги ва аксланиш спектрларида брэг максимумининг ҳолатини ўзгариши орасидаги муносабат ҳамда оптик толали панжаларнинг температурага нисбатан ўзгарувчанлик қонуниятлари тадқиқ қилинган. Кўчки жараёнларини мониторинг қилишда оптик-толали датчиклардан фойдаланиш анъанавий электрон датчикларга нисбатан бир қатор афзалликларга эга эканлиги назарий жиҳатдан исботланган.

2. Оптик-толали ўлчов тизимлари асосида тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилишнинг усули такомиллаштирилган. Белгиланган вазифа, олиб борилган таҳлиллар ва бундай турдаги тизимларни қуришга қўйилган талаблар асосида кўчки жараёнлари учун мониторинг тизимини қуриш конфигурацияси ва тамойили ишлаб чиқилган.

3. Тоғ жинслари ҳолатини мониторинги ахборот-ўлчов тизимидаги радиотехник элементлар ва модулларнинг ўзаро боғлиқлиги ва интеграциясини ташкил этишнинг янги тамойили ишлаб чиқилган. Ушбу тамойил асосида ер қатламларида кўчкилар содир бўлиш эҳтимолини оптик-толали ўлчов тизимлари ёрдамида баҳолаш усули таклиф қилинган.

4. GSM орқали бошқариш имкониятига эга бўлган, тоғ жинсларининг кўчки жараёнлари оптик-толали ўлчов тизимлари асосида мониторинг қилувчи қурилманинг дастурий таъминоти, шунингдек, ушбу қурилмадан юборилган маълумотларни сақловчи, қайта ишловчи ва намойиш қилувчи сервернинг дастурий таъминоти ишлаб чиқилган.

5. Тоғ жинсларида кўчки жараёнларини мониторинг қилиш ва уларнинг ривожланишини башоратлаш қурилмаси ишлаб чиқилган ва қурилма учун махсус корпус тайёрланган. Тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш учун таклиф қилинаётган қурилма кўчки жараёнларини баҳолаш аниқлигини сезиларли даражада ошириш ва фавқулодда вазиятларда огоҳлантириш ва ҳаракат қилиш давлат тизимининг функционаллигини кенгайтириш имконини берган.

6. Кўчки жараёнларини оптик-толали ва тупроқ намлиги датчиклари асосида мониторинг қилиш учун ишлаб чиқилган қурилма дастурий модули кўчкилар содир бўлиш эҳтимолигини аниқлаш вақтини 5-7 мартага

қисқартириш, тизим самарадолигини 1,1-1,2 мартага ошириш ва объектни n та кузатув нуқтасига эга 2 км.гача бўлган периметрда мониторинг қилиш имкониятини берган.

7. Тоғ жинсларида кўчки жараёнларини мониторинг қилиш бўйича бажарилган амалий тадқиқотлар натижаси назарий ҳисоб-китоблар ва хулосалар, техник ўлчовларнинг назарий натижалар билан мутаносиблиги, мос гувоҳномалар ва тадқиқот натижаларининг жорий қилинганлиги тўғрисидаги гувоҳномалар мавжудлиги билан тасдиқланади.

Олиб борилган тадқиқотлар натижасида кўчки жараёнларини мониторинг қилиш усуллари тавсия этилган, ва ишлаб чиқилган қурилмани тоғ жинслари ҳолатини мониторинг қилиш вазифаларида қўллаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилган. Тоғ жинслари қиялиги бўйлаб оптик-толали ўлчов тизимларини жойлаштириш/ётқизиш схемаси тавсия этилган. Тизимни техник назорат қилиш ва хизмат кўрсатиш шартлари белгилаб берилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

БЕРДИЕВ АЛИШЕР АЛИКУЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗЕМНЫХ
ГРУНТОВ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

05.04.02 – Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации и телевидения. Мобильные, волоконно-оптические системы связи

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

Ташкент – 2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2022.1.PhD/T2433.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, английский, русский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Рахимов Бахтиёржон Нейматович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Давронбеков Дилмурод Абдужалилович
доктор технических наук, профессор

Туляганов Баходиржон Исмаилович
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник

Ведущая организация:

Ташкентский государственный транспортный университет

Защита диссертации состоится « 25 » июня 2022 г. в 12⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, 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 (регистрационный номер № 2691). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан « 9 » июня 2022 года.
(протокол рассылки № 2 от « 9 » июня 2022 г.).



Б.Ш. Махкамов

Председатель научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.э.н., профессор

Э.Ш. Назирова

Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., доцент

М.М. Мухитдинов

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире внимание уделено разработке систем мониторинга и прогнозирования оползневых процессов, в том числе радиотехнических, оптико-электронных устройств и комплексов различного назначения. Учитывая, что «В период с 1998 по 2017 год во всем мире оползни затронули примерно 4,8 миллиона человек и привели к гибели более 18 000 человек»³, необходимо разработать и внедрить в практику систему прогнозирования и мониторинга оползневых процессов. В связи с этим важной является задача разработка системы обнаружения и мониторинга оползневых процессов горных пород. В развитых странах, таких как, США, Швейцария, Япония, Австралия, Германия и Россия одной из основных задач является разработка радиотехнических модулей, блоков и устройства мониторинга оползней, а также аппаратно-программные средства для этих систем, разработка принципов взаимосвязи, взаимодействия и интеграции модулей информационных систем мониторинга, а также создание системы информирования населения об угрозе или возникновении чрезвычайных ситуаций.

В мире проводится ряд научных исследований, направленных на разработку методов, алгоритмов мониторинга состояния горных пород на основе специальных датчиков, беспроводных технологий и с помощью телекоммуникационных систем. В этом направлении приоритет отдается исследованиям по разработке устройств контроля формирования экзогенных процессов на основе деформационных свойств волоконно-оптических интерферометрических датчиков, модулирующих интенсивность света а также повышению эффективности системы обнаружения оползневой активности при изменении геологических условий. Вместе с тем, разработка аппаратно-программных обеспечений для систем обнаружения и мониторинга оползневых процессов, а также создание централизованной автоматизированной системы оповещения и информирования населения об угрозе или возникновении аварийных ситуаций является актуальной задачей.

В нашей Республике предпринимаются комплексные меры по разработке новых принципов построения устройств, алгоритмов и методов ведения мониторинга состояния горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем и достигаются определенные результаты. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены важные задачи, как «...налаживание системы подготовки квалифицированных кадров в сфере геологии с широким внедрением современных образовательных стандартов, применение на практике результатов научных исследований, а также развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области электротехники ...»⁴. При реализации этих задач, в том числе при изучении инженерно-геологических и экзогенно-геологических процессов, большое

³ https://www.who.int/health-topics/landslides#tab=tab_1

⁴ Указ Президента Республики Узбекистан от 28.01.2022 г. № УП-60. «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

значение имеет разработка методов ведения мониторинга и прогнозирования изменений геологических и инженерно-геологических условий, вызванных технологическим воздействием, на основе технологических средств.

Данное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28.01.2022 г. «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», №УП-5066 от 1 июня 2017 года «О мерах по коренному повышению эффективности системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», в Постановлениях Президента Республики Узбекистан №ПП-3245 от 29 августа 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления проектами в сфере информационно-коммуникационных технологий», №ПП-4794 от 30 июля 2020 года «О мерах по коренному повышению эффективности системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», а также в Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан №601 от 8 августа 2017 г. «О создании и развитии автоматизированной системы оповещения и информирования населения Республики Узбекистан об угрозах или возникновении чрезвычайных ситуаций», и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV – «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Проблеме разработки методов ведения мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, разработки аппаратно-программных средств волоконно-оптических измерительных комплексов для контроля лавинных процессов посвящены многочисленные исследования ряда известных зарубежных ученых, таких как: T.Okosi (Japan), E.Udd, R.Jackson (USA), Alemohammad Hamid (Canada), B.Glisic, D.Inaudi (Switzerland), L.S.Zan, Z.Liang (China), Kher Saxena, Rajan Ginu (India), R.L.Idriss (Mexico), В.М.Шандаро, Ю.Н.Кульчин, К.Е.Румянцев, Д.Б.Шумкова (Россия) и другие исследователи.

Вопросам разработки и совершенствованию методов оценки вероятности возникновения оползневых процессов в горных породах посвящены работы ученых Узбекистана: Раджабова Т.Д., Мухитдинова М.М., Воронова Ф.И., Абдурахманова К.П., Туляганова Б.И., Давронбекова Д.А., Исамухамедова А., Рахимова Н.Р., Камалетдинова Р.Г., Ниязова Р.А., Бимурзаева Г.А., Юсупбекова Н.Р., Шипулина Ю.Г., Назарова А.М., Абдурахмонова Э.А., Рахимова Б.Н., Писецкий Ю.В., Мамасодикова Ю. В результате научных исследований достигнуты весомые результаты при решении задач повышения эффективности системы определения площади оползневой активности при изменении геологических условий и практического применения устройства контроля деформационных параметров на основе волоконно-оптических датчиков.

Вместо с этим, выяснилось, что данные мониторинга не получаются в режиме реального времени традиционными методами, которые на практике используются Государственной службой Республики Узбекистан по слежению за опасными геологическими процессами, и этот метод способен отслеживать лишь определённую часть оползневых секторов. Проведенный анализ исследований в этой области показывает, что недостаточно исследованы вопросы, посвященные разработке методов синхронной регистрации изменений различных параметров наблюдаемого объекта, разработке и внедрению системы мониторинга состояния горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках следующих инновационных научно-исследовательских работ: № 5/18-Ф «Разработка методов обнаружения и распознавания радиосигналов по спектральным характеристикам радиомониторинга – экспресс анализатор электромагнитной обстановки в УКВ диапазона» (2018-2020), № ФЗ-201907104 «Разработка интерактивного мобильного приложения для обучения всех слоёв населения к правильным действиям при землетрясении» (2020-2022).

Целью исследования является разработка методов, алгоритмов и программно-аппаратного обеспечения мониторинга оползневых процессов горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем.

Задачи исследования:

анализ существующих зарубежных и отечественных методов прогноза локальной оползневой опасности горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем;

разработка метода мониторинга состояния горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем;

разработка алгоритма системы мониторинга опасных оползневых процессов в горных породах и прогнозирования их развития;

разработка принципов организации взаимосвязи, взаимодействия и интеграции радиотехнических элементов и модулей информационно-измерительной системы мониторинга горных пород;

разработка программно-аппаратного обеспечения устройства для ведения мониторинга состояний горных пород на основе оптоволоконных датчиков и датчиков влажности пород.

Объектом исследования являются опасные геологические процессы (оползни, обвалы, просадка горных пород).

Предметом исследования являются методы, алгоритмы и устройства ведения мониторинга оползневых процессов горных пород и оценки оползневой опасности.

Методы исследования. В диссертации при решении поставленных задач использовались методы научного анализа, экспериментальные исследования

изменения оптических свойств волоконно-оптических датчиков, методы индукции и методы статистической обработки результатов исследований.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствован метод ведения мониторинга оползневых процессов путем применения волоконно-оптических измерительных систем и автоматизации контроля различных их параметров;

разработан алгоритм устройства определения площади оползневой активности при изменении геологических условий и повышающий эффективность работы системы мониторинга и прогнозирования их развития, а также позволяющий дистанционно изменить параметры датчиков системы;

разработан принцип организации взаимосвязи и интеграции радиотехнических элементов и модулей системы мониторинга состояния горных пород расширяющий функциональные возможности государственной системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях на основе деформационных свойств спектрометрических датчиков, модулирующих интенсивность света волоконно-оптических измерительных систем;

разработано программно-аппаратное обеспечение устройства для ведения мониторинга состояний горных пород повышающий эффективность работы системы за счет снижения погрешности определения площади оползневой активности при изменении геологических условий на основе оптоволоконных измерительных систем и датчиков влажности пород.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработано программное обеспечение устройства, с возможностью управления через GSM и выполняющее мониторинг/слежение оползневых процессов горных пород на основе волоконно-оптического датчика и датчика влажности пород;

разработано программное обеспечение сервера, сохраняющего, обрабатывающего и иллюстрирующего данные, полученные с устройства для ведения мониторинга оползневых процессов;

разработан программно-аппаратный комплекс для ведения мониторинга состояния горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем.

Достоверность результатов исследования обосновывается на исследования, проведенные с использованием современных методов и измерительных приборов, соответственностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, проведенных с использованием исследовательского оборудования и аппаратно-программного обеспечения, а также на положительные результаты испытаний разработанного устройства для ведения мониторинга состояния горных пород и на внедрение результатов исследования в практику.

Научная и практическая значимость результатов. Научная значимость результатов исследований оценивается возможностью повышения качества и эффективности системы тем, что устройство для ведения мониторинга состояния горных пород основано на параметрах и режимах работы аппаратных и программных компонентов, обеспечивающих качество

работы на требуемом уровне, а также возможностью применения разработанных модели и аналитических связей других подобных процессах.

Практическая значимость результатов диссертационной работы обосновывается потенциальными возможностями разработанной системы комплексного и непрерывного мониторинга оползневых процессов горных пород, включая разработанный программно-аппаратный комплекс значительно повышает точность оценки обвально-оползневых процессов, позволяет контролировать большие периметры подвижки сдвинутых пород, имеет возможность дистанционно изменять параметры системы и автоматически подстраивать пороговые значения диагностируемых параметров под климатические изменения.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов в по разработке системы мониторинга состояния горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем:

разработанные методы, алгоритмы и принципы организации взаимосвязи, взаимодействия и интеграции радиотехнических элементов и модулей информационно-измерительной системы мониторинга оползневых процессов горных пород на основе волоконно-оптических измерительных датчиков внедрены в Специальном аварийно-восстановительном Управлении Министерства обороны Республики Узбекистан «Воинская часть 15361» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/8220 от 17 ноября 2021 г.). В результате этого было сокращено время определения оползневых активностей в 5-7 раз и эффективность системы увеличилась на 10-20 %;

разработанные программно-аппаратное обеспечение и комплекс мониторинга синхронной обработки данных многоканальной информационно-измерительной системы внедрены в Институт «Гражданской защиты при Академии МЧС Республики Узбекистан» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/8220 от 17 ноября 2021 г.). Внедрение программно-аппаратного обеспечения расширяет функциональность государственной системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях, обеспечивает автоматизацию контроля диагностируемых параметров;

разработанное устройство мониторинга состояния горных пород внедрено в ГУП «UNICON.UZ» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан № 33-8/8220 от 17 ноября 2021 г.). Результаты исследований могут быть внедрены в процесс прокладки магистрального оптоволоконного кабеля в труднодоступных горных населенных пунктах по ГОСТу Республики Узбекистан 3525:2021 «Телекоммуникационные сети. Общие требования к прокладке магистрального оптоволоконного кабеля», а также мониторинга состояния горных пород и определения основных параметров. Это позволяет увеличить эффективность системы в 1,1-1,2 раза и вести контроль большого объёма (до 2 км. по периметру, с n -ым количеством точек контроля) подвижки сдвинутых масс участков обвально-оползневых процессов.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждались на 6 международных и 7 республиканских научно-технических и научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме исследований опубликовано 30 научных работ, из них 1 монография, 13 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 2 в иностранных, 11 в республиканских журналах, получены 3 свидетельства регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа содержит 120 страниц и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследований, приводится соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты исследований, обоснована их достоверность, раскрываются их теоретическая и практическая значимости, приведены сведения об их внедрении и опубликованности, а также о структуре диссертации.

Первая глава диссертации «Анализ средств и методов оценки состояния устойчивости оползневых склонов» содержит теоретический и аналитический анализ существующих методов ведения мониторинга оползневых процессов в зависимости от полевых измерений для конкретного типа оползней и их механизма действия. На основе анализа определено, что рассмотренные методы не имеют комплексную структуру, в них не приводятся обоснованные рекомендации по выявлению оползневой опасности. Установлено, что для удовлетворения требованиям распределённого зондирования при контроле большого расстояния скольжения оползневых масс и повышения точности оценки обвальноподобных процессов необходимо разработать метод ведения мониторинга состояния горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем (ВОИС). Приведены основные преимущества данного метода.

Рассмотрены и классифицированы современные волоконно-оптические датчики по типу чувствительных оптических параметров, по принципу их конверторов, по взаимодействию с измеряемой средой, а также по измеряемым физическим параметрам. Проведён анализ волоконно-оптических датчиков с внешним чувствительным элементом и датчиков, используемых в качестве чувствительного элемента.

Проанализирована классификация типов оползней по их механизмам, определены факторы и причины возникновения, способствующие развитию оползневых процессов.

Вторая глава «Теоретическое обоснование применения оптоволоконных датчиков для мониторинга оползневых процессов» посвящена исследованию принципа функционирования оптоволоконных датчиков на основе внутренних эффектов. Исследованы основные физические явления, такие как: Рэлеевское, Рамановское и Бриллюэновское рассеяния в световодах; нарушение условия полного внутреннего отражения, вызываемое внешним воздействием; ослабление или фазовый сдвиг вследствие физической деформации волокна; вращение плоскости поляризации, которое происходит в процессе детектирования/измерения той или иной физической величины на основе волоконно-оптических измерительных систем.

Проанализированы физические принципы функционирования волоконно-оптических датчиков с модуляцией интенсивности света, интерферометрических (фазомодулированных), спектрометрических (волново-модулированных), а также поляриметрических (поляризационно-модулированных) датчиков. Выполнен анализ конфигурации и принципов функционирования интерферометров Фабри-Перо, Маха-Цендра, Майкельсона и Саньяка, как высокочувствительные компоненты волоконно-оптических измерительных систем.

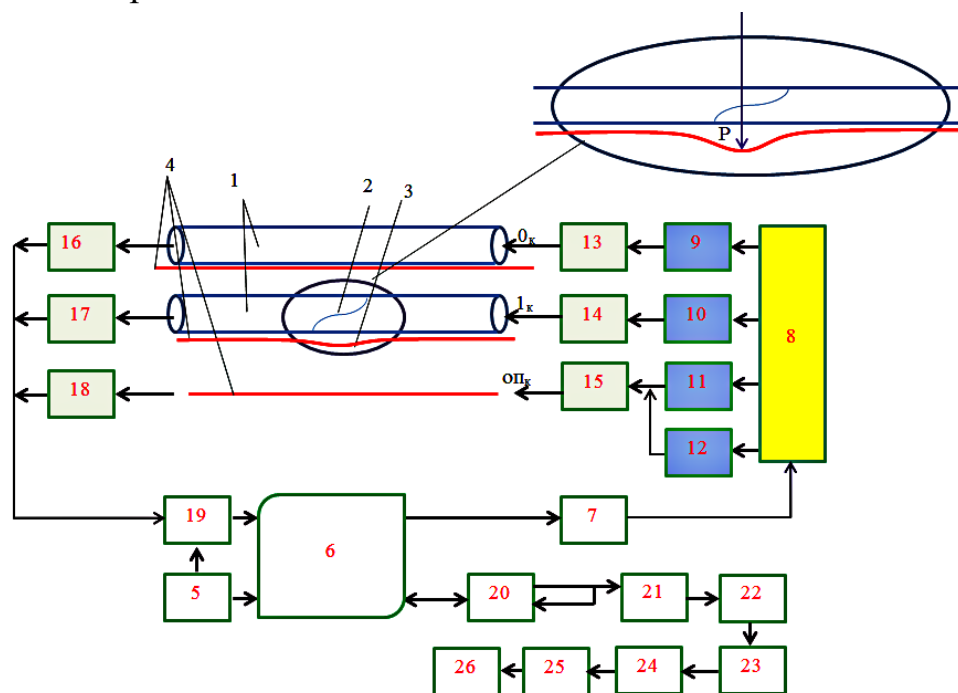


Рис. 1. Блок-схема устройства для определения мест появления, регистрации зарождения и распространения усталостных трещин вдоль подземных трубопроводов

Предложен метод прогнозирования динамических и статических свойств подземных трубопроводов на основе волоконно-оптических измерительных систем (рис. 1).

Устройство состоит из следующих основных частей: (1) фрагменты испытываемой конструкций (трубопроводы), (4) полимерные световоды (датчики), (5) источник питания, (6) микроконтроллер, (7) коммутатор, (8) усилитель мощности, (9-12) подстроечные резисторы, (13-15) лазерные диоды

(ЛД), (17-18) измерительные приемники оптического излучения, (19) усилитель, (20) приёмо-передатчик RS232, (21) аналогово-цифровой преобразователь, (22) компьютер.

С помощью датчиков система регистрирует местонахождение трещины (2), появившейся на участке (3) из-за давления воды (Р), затем непосредственно выполняется цифровая обработка данных (24), которые передаются к блоку математической обработки результатов (25), вычисления сохраняются в виде файлов данных (23) и ведётся статистика результатов (26).

Технология определения местоположений зарождений трещин трубопроводов на основе волконно-оптических датчиков опирается на базе двух методов:

1. Первый метод. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Этот закон гласит, что площадь пика в оптической спектроскопии пропорциональна количеству переходов, дающих пик и связывает ослабление света со свойствами материала, через который проходит свет. Закон выражается следующей формулой (1):

$$\Phi_0 = 0,5\tau R n v_r \Phi_{об} e^{-2\alpha L} \quad (1)$$

где Φ_0 - мощность начального оптического потока; $\Phi_{об}$ - мощность оптического потока обратного рассеяния на расстоянии L ; α -затухание волокна ($\alpha = 0.000073 \text{ м}^{-1}$ при длине волны 1310нм); v_r - групповая скорость распространения импульса; n - показатель, определяющий долю рассеянного в обратном направлении света.

Учитывая суммарную мощность обратного рассеяния (Φ_L) на расстоянии L :

$$\Phi_L = \Phi_0 + \Phi_{об} \quad (2)$$

Выведено L расстояние рассеяния оптического луча волоконно-оптического датчика:

$$L = \frac{\ln\left(\frac{\Phi_L - \Phi_0}{0.5\tau R n v_r \Phi_0}\right)}{2\alpha} \quad (3)$$

С помощью полученной формулы можно определить в какой части волоконно-оптического датчика происходят потери.

2. Второй метод. Метод полного внутреннего отражения. Полное внутреннее отражение наблюдается при переходе света из среды оптически более плотной в оптически менее плотную среду. Опираясь на такую физиологию света, можно будет этот закон применить в технологии определения разрушений разных конструкций, например, определение аварий линейной части подземных трубопроводов. Учитывая время отражения светового луча можно определить точное местоположение трещины или повреждение подземных трубопроводов с помощью формулы (4).

$$S = C * t/2 \quad (4)$$

где C – скорость распространения световых лучей; t – время отражения светового луча.

В третьей главе диссертации «Разработка метода информационно-измерительного мониторинга состояния земного грунта» разработана модель ведения мониторинга состояния земного грунта на основе волоконно-оптических измерительных систем (Рис. 2).

Модель функционирует следующим образом. Генератор условных импульсов (5) генерирует дискретные сигналы в определённый интервал времени. Ethernet модуль SPI (3,4) выполняет передачу данных от датчиков через интернет, непосредственно данный модуль связывает SFP модуль (1) с генератором через интерфейс TCP/IP, являясь приёмо-передатчиком оптических сигналов. Волоконно-оптические датчики ($p_1 - p_n$) (8) и датчики влажности пород ($m_1 - m_n$) (9) подключаются к SFP модулям (1,2).

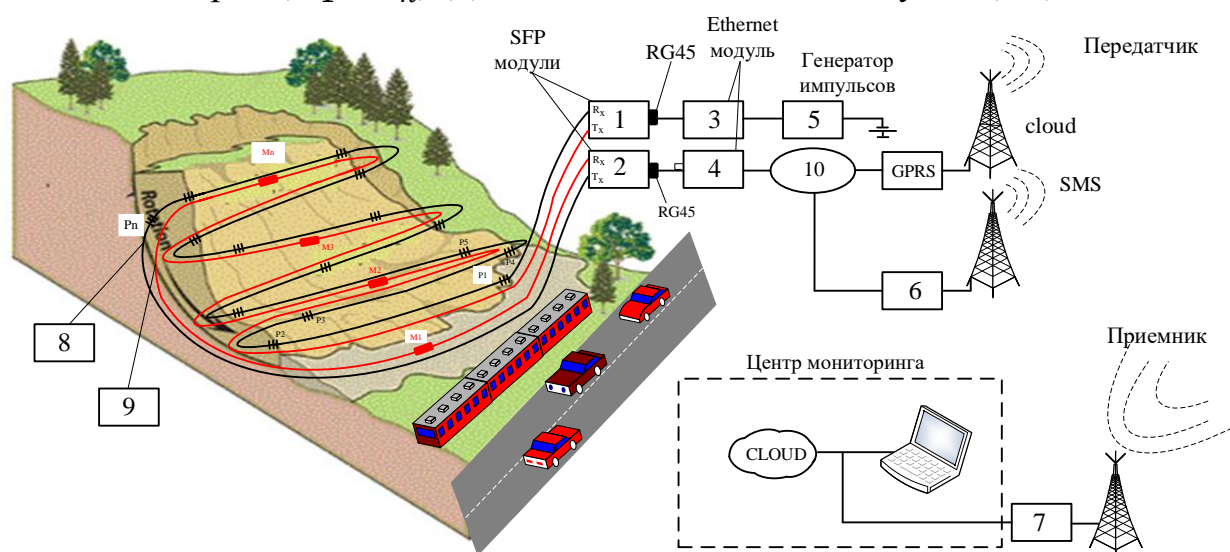


Рис. 2. Принцип организации волоконно-оптической измерительной системы

Датчики с одной стороны освещаются лазером T_x , с другой стороны подключены к фотоприёмнику R_x , и все они закрепляются на участке склона, подверженном риску смещений. Если на контролируемой поверхности начинает происходить какой-либо процесс, то происходит изменение показателя какого-либо датчика или одновременно нескольких из них. Следовательно, встречается резкое ослабление интенсивности светового потока фотодетектора R_x . Ethernet модуль преобразует выходной сигнал SFP в электрический сигнал. Данные поступают к передатчику GPRS и к запасному передатчику (6) с помощью микроконтроллера (10), т.е. мы имеем два канала получения информации (7), что отвечает целям организации резервных или дублирующих каналов передачи. В центре мониторинга выполняется обработка данных, выявляется вероятность опасных и чрезвычайных ситуаций для принятия, при необходимости, оперативных действий.

В диссертации для решения задачи обработки нескольких данных из разных источников (датчиков), учитывающей разнородность информации по физическим и спектральным параметрам (температура, влажность, давление и

т.д.) разработан метод синхронной обработки данных в многоканальной информационно-измерительной системе мониторинга.

При разработке методов ведения мониторинга оползневых процессов земных грунтов на основе волоконно-оптических датчиков, а также при разработке специального устройства, реализующего данный метод, SFP модуль рассматривается как источник передачи оптического сигнала и устройство, регистрирующее потери и ошибки, возникающие в этом сигнале. В диссертации подробно освещены оптические и физические характеристики модуля, исследована структура EEPROM памяти устройства, изучены основные параметры цифровой диагностики DDM, принципиальная схема данного устройства. Выявлено что, обмен данными о диагностируемых параметрах модуля SFP осуществляется протоколом DDM, содержит цифровой отчёт с объёмом 256 байт, который доступен через двухпроводный последовательный интерфейс I2C по 8-битному адресу, и 96-105-ые элементы данного отчёта включают в себе требуемые значение параметров, такие как выходная мощность лазера T_x MSB, входная мощность лазера R_x MSB, напряжение питания V_{cc} MSB. При разработке программного обеспечения устройства мониторинга оползневых процессов горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем учитывались данные особенности SFP модуля.

В четвертой главе диссертации «Разработка устройства мониторинга состояния устойчивости горных пород» разработано устройство мониторинга оползневых процессов на основе волоконно-оптических измерительных систем. На рис. 3. представлена блок-схема разработанного устройства, которое состоит из SFP модуля, ATMEGA 328P микроконтроллера, GSM модуля SIM 800L, блока питания, оптоэлектронного датчика, датчика влажности породы, LED индикатора и аккумулятора.

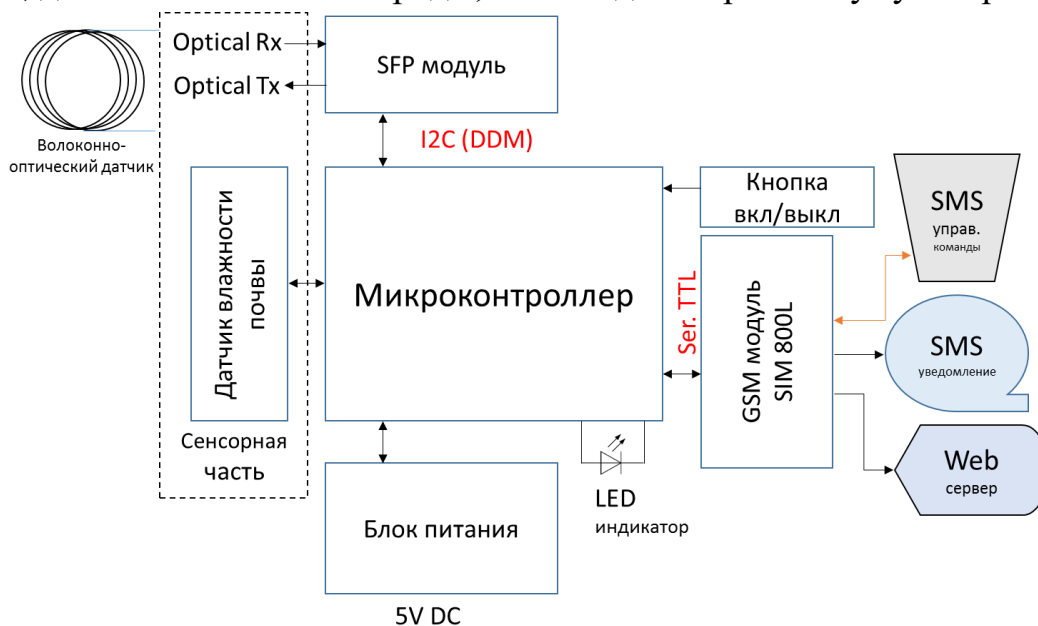


Рис. 3. Функциональная блок-схема устройства для ведения мониторинга оползневых процессов горных пород

Разработанная система контролирует механические перемещения и относительную влажность грунта. Устройство функционирует следующим образом:

- волоконно-оптический датчик подключается к SFP модулю, который имеет световой излучатель и фотодетектор. Модуль непосредственно подключен к микроконтроллеру ATMEGA 328-P. В свою очередь датчик влажности породы тоже подключен к аналоговому входу микроконтроллера;
- микроконтроллер функционирует как центральный блок, выполняет учёт диагностируемых параметров, а также считывает предустановленные значения параметров, такие как: средний уровень мощности R_x , допустимое отклонение минимального и максимального уровней данной мощности ($R_{x_{min}}$ и $R_{x_{max}}$), максимальное допустимое значение влажности почвы (Hum_{max}). Далее осуществляется установка связи между SFP-модулем и микроконтроллером;
- диагностируемые данные генерируются с помощью DDM протокола, встроенного в SFP. Учитывая значения этих параметров, можно провести мониторинг состояния земных грунтов, и в дальнейшем принимать соответствующее решение, т.е. оповещать, включать сигнализацию и т.п.;
- микроконтроллер устанавливает связь с GSM модулем, который выполняет функции передатчика информации диагностируемых параметров и приёмника кодовых (управляющих) SMS команд. Микроконтроллер запрограммирован так, что под его контролем GSM-модуль непрерывно отправляет информацию к серверу об уровнях параметров, а также он отправляет SMS-оповещение в случае, если значения параметров превышают порог установленных границ (Рис. 4).

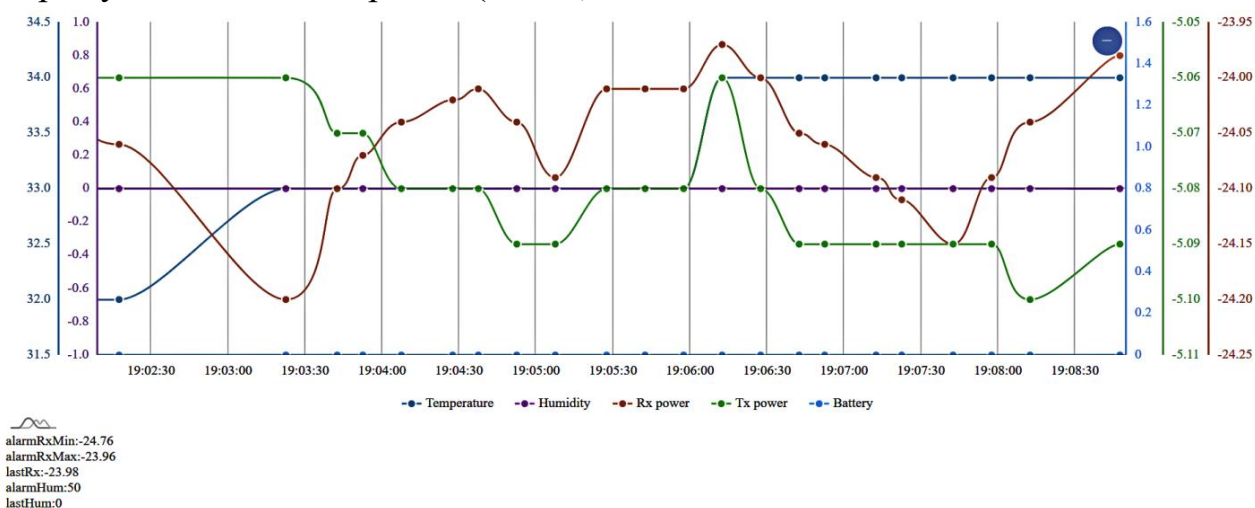


Рис. 4. Вид информации выводимое на пользовательский веб-интерфейс системы

Разработана принципиальная схема устройства, на основе критерия вышеприведенной блок-схемы, изготовлен специальный корпус для устройства, которые представлены в диссертации.

Также был разработан алгоритм функционирования устройства для ведения мониторинга оползневых процессов на основе волоконно-оптических датчиков (Рис. 5). При функционировании алгоритма процесс начинается со

считывания сохранённых конфигураций, таких как R_x , $R_{x,max}$, $R_{x,min}$, Hum_{max} , и инициализации связи (взаимосвязь, взаимодействие и интеграция радиотехнических элементов и модулей). Особенностью данного алгоритма является возможность автоподстройки пороговых значений диагностируемых параметров, компенсирующей изменения климатических воздействий и предотвращающей ложные сигналы посредством вычисления средних значений данных параметров n раз ($i=0; i < 50; i++$, в нашем случае 50 раз).

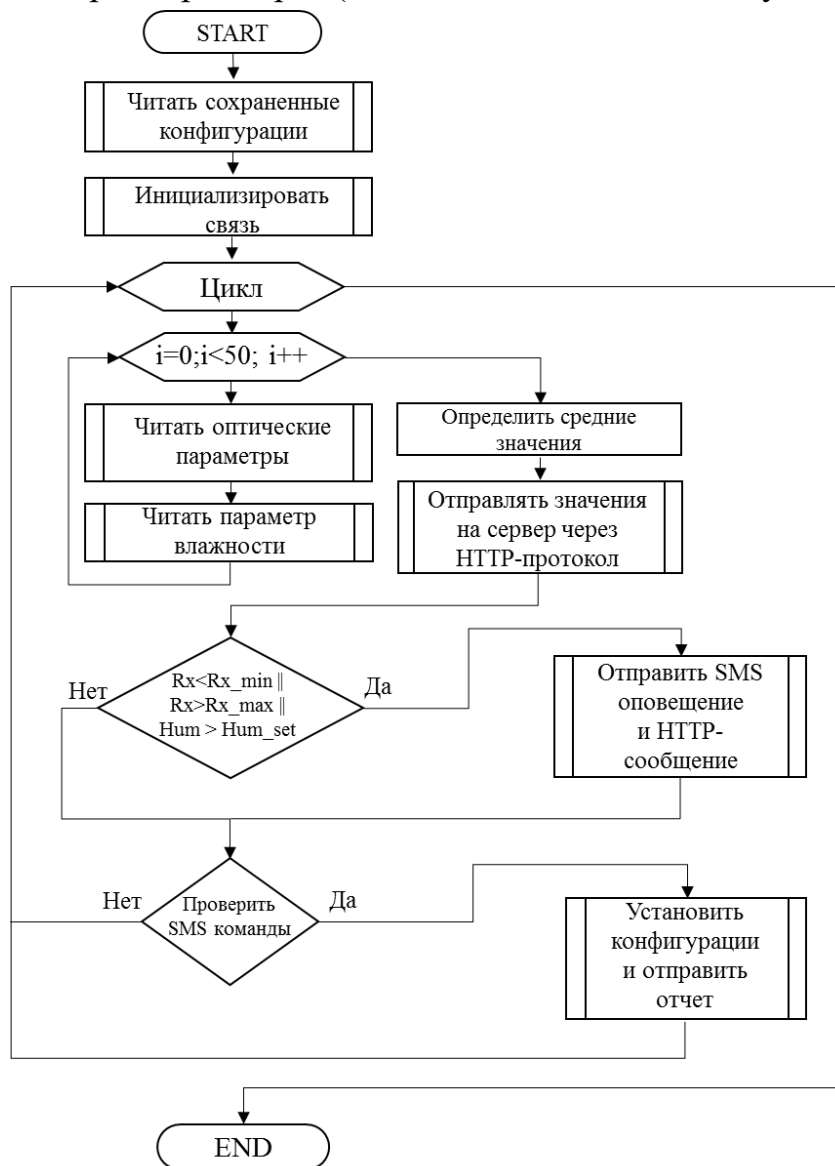


Рис. 5. Алгоритм функционирования устройства для ведения мониторинга оползневых процессов

Внешний вид разработанного устройства приведён на рис. 6. Предложен метод проведения измерений, выполнены экспериментальные исследования с помощью разработанного устройства для ведения мониторинга состояния земных грунтов.

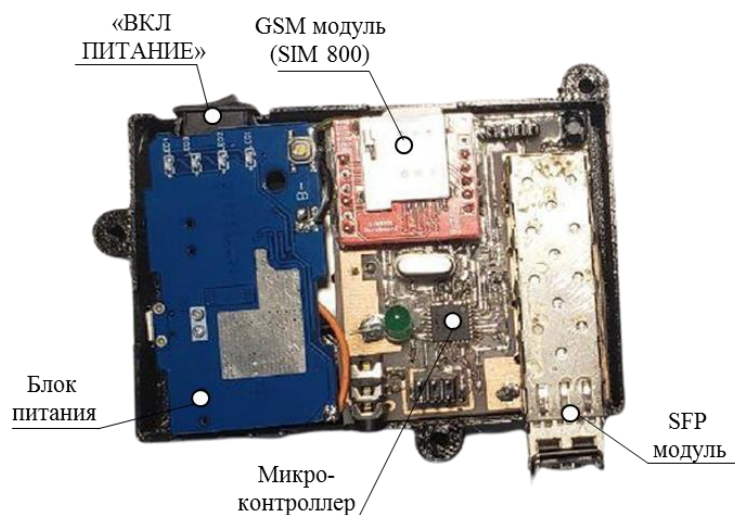


Рис. 6. Внешний вид устройства

Экспериментальным путём оценивалась степень чувствительности оптоволоконного датчика к механическому воздействию. Потери в измерительном канале, возникающие при изгибе волоконно-оптического датчика под действием нагрузки, определяются по формуле:

$$P_L = -10 \log\left(1 - \frac{4\Delta L}{\pi D}\right) \cos \gamma \quad (5)$$

где P_L – возникающие потери в измерительном канале датчика, дБ; ΔL – взаимное смещение центров световодов ВОД, мм; D – диаметр световода, мм; γ – угол смещения датчиков световодов под воздействием нагрузки.

Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

| $R_{x.min} - R_{x.max} = 0,5 \text{ дБм}$ | | | | | |
|---|---------|----------------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| Δ_d [мм] | U [V] | t [$^{\circ}\text{C}$] | T_x [дБм] | $R_{x.теор}$ [дБм] | $R_{x.прак}$ [дБм] |
| 0 | 3,25 | 31,53 | -5,03 | -16,41 | -16,52 |
| -1 | 3,25 | 31,56 | -5,04 | -16,48 | -16,52 |
| -2 | 3,25 | 31,61 | -5,04 | -16,55 | -16,63 |
| -3 | 3,25 | 31,58 | -5,03 | -16,72 | -16,74 |
| -4 | 3,25 | 31,62 | -5,04 | -16,91 | -16,95 |
| -5 | 3,25 | 31,63 | -5,03 | -17,26 | -17,36 |
| -6 | 3,25 | 31,75 | -5,03 | -17,99 | -17,97 |
| -7 | 3,25 | 31,75 | -5,03 | -19,65 | -19,58 |
| -8 | 3,25 | 31,78 | -5,04 | -20,26 | -20,18 |
| -9 | 3,25 | 31,84 | -5,03 | -22,67 | -22,60 |
| -10 | 3,25 | 31,81 | -5,05 | -25,74 | -25,66 |

где Δ_d - шаг механической деформации плеча испытательного стенда, U - питающее напряжение SFP модуля, t - внутренняя температура устройства, $R_{x.теор}$ - теоритическое значение входной оптической мощности в световоде, $R_{x.прак}$ - практическое значение входной оптической мощности в световоде, T_x - выходная оптическая мощность в световоде.

Установлено, что при изменении величины взаимного смещения центров ВОД приблизительно на 4 и 5 мм выходная мощность оптического сигнала составляет -16.95 дБм и -17.36 дБм, соответственно. Определено, что, чем больше величина внешней деформации, тем меньше интенсивность света в оптоволоконном датчике, т.е. уменьшение входной оптической мощности в SFP свидетельствует о вероятности возникновения оползневого процесса.

Экспериментальным путем получена характеристика зависимости, прошедшей через одномодовый волоконный световод мощности излучения от угла изгиба волокна (Рис. 7). Эффективность преобразования мощности в изогнутом световоде пропорциональна отношению числа мод, распространяющихся в его оболочке, к полному числу мод, которое может быть рассчитано как:

$$\frac{N_c}{N} = 1 - 2 \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \frac{\alpha}{R_b \theta_M^2} \text{ отсюда } R_b = \left(1 - \frac{N_c}{N} \right) \frac{\theta_M^2}{2\alpha} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (6)$$

где N – число мод в световоде; N_c – число мод в оболочке; R_b – радиус изгиба световода; $\theta_M = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$.

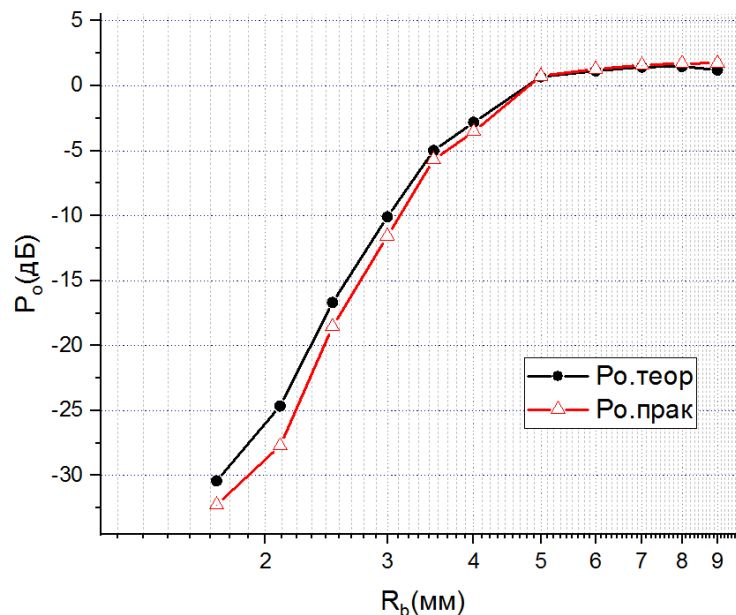


Рис. 7. График зависимости мощности светового потока, прошедшей через одномодовый световод, при изменении угла его изгиба

Результаты практических исследований по мониторингу оползневых процессов земных грунтов подтверждают теоретические расчёты и выводы, согласованность технических измерений с теоретическими результатами. По результатам проведённых исследований рекомендованы методы измерений

оползневых процессов, выработаны рекомендации по применению разработанного устройства в задачах мониторинга состояний земных грунтов. Проведённые испытания показали, что разработанные методы и устройство позволяют сократить время выявления оползневых активностей в 5-7 раз, увеличить эффективность системы в 1,1-1,2 раза, вести контроль большого объёма (до 2 километр по периметру, с n -ым количеством точек контроля) подвижек земных грунтовых масс на участках с потенциальными обвальными оползневыми процессами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены следующие выводы по теме диссертации «Разработка методов мониторинга состояния земных грунтов на основе волоконно-оптических измерительных систем»:

1. Доказано, что в волоконных брэгговских решётках длина волны сильно зависит от приложенной к ним деформации. Исследованы закономерности зависимости величины относительной деформации волоконного световода от изменения положения брэгговского максимума в спектрах отражения, а также закономерность температурного отклика волоконных решёток. Теоретически обосновано, что применение волоконных датчиков для мониторинга оползневых процессов имеет ряд преимуществ перед обычными электронными датчиками.

2. Усовершенствован метод мониторинга состояния горных пород на основе волоконно-оптических измерительных систем. Разработаны конфигурация и принцип построения системы мониторинга оползневых процессов, исходя из поставленной задачи, проведённого анализа и требований к построению подобных систем.

3. Разработан новый принцип построения взаимосвязи и интеграции радиотехнических элементов и модулей информационно-измерительной системы мониторинга земных грунтов. На основе данного принципа предложен метод оценки оползневых процессов с помощью волоконно-оптических измерительных систем.

4. Разработано программное обеспечение устройства с возможностью управления через GSM, выполняющее мониторинг горных оползневых процессов на основе волоконно-оптических измерительных систем, а также программное обеспечение сервера, сохраняющего, обрабатывающего и предоставляющего информацию, отправленную с данного устройства.

5. Разработано устройство мониторинга оползневых процессов горных пород и прогнозирования их развития. Изготовлен специальный корпус для устройства. Предлагаемое устройство для мониторинга состояния горных пород позволяет значительно увеличить точность оценки оползневых процессов.

6. Разработанные программы модуля устройства слежения за состоянием горных оползней на основе волоконно-оптического датчика и датчика влажности почвы позволили сократить время выявления оползневых

активностей в 5-7 раз, увеличить эффективность системы в 1,1-1,2 раза, вести контроль большого объёма (до 2 километров по периметру, с n-ым количеством точек контроля) подвижек грунтовых масс на участках с потенциальными обвально-оползновыми процессами.

7. Результаты практических исследований по мониторингу оползневых процессов горных пород подтверждают теоретические расчёты и выводы, согласованность технических измерений с теоретическими результатами, а также наличие соответствующих свидетельств и актов о внедрении результатов исследований.

В результате проведённых исследований рекомендованы методы мониторинга оползневых процессов, выработаны рекомендации по применению разработанного устройства в задачах мониторинга состояний земных грунтов. Рекомендована схема расположения/прокладки ВОИС по скату горных пород. Приведены условия технического контроля и обслуживания системы.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

BERDIYEV ALISHER ALIKULOVICH

**Development of methods for monitoring of the state of terrestrial soils based
on fiber-optic measuring systems**

05.04.02 – Radio engineering, radionavigation, radiolocation and television systems. Mobile,
fibrous-optical communications systems

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

Tashkent – 2022

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 B2022.1.PhD/T2433.

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, English, Russian (resume)) on the website (www.tuit.uz) and on the website of «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz.)

Scientific adviser:

Rakhimov Bakhtiyorjon Nematovich
Dsc in Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich
Dsc in Technical Sciences, Professor

Tulyaganov Baxodirjon Ismailovich
Candidate of Geological and Mineralogical
Sciences, senior researcher

Leading organization:

Tashkent state transport university

The defense of the dissertation will be held « 25 » June 2022 at 12⁰⁰ at the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.02 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 2691). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

The abstract of dissertation was sent out on « 9 » June 2022 y.
(mailing protocol No. 2 on « 9 » June 2022 y.).



B.Sh. Makhkamov
Chairman of the Scientific Council
awarding scientific degrees, doctor of
economical sciences, professor

E.Sh. Nazirova
Scientific Secretary of Scientific
Council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, dosent

M.M. Mukhitdinov
Chairman of the Academic Seminar
at the Scientific Council awarding
scientific degrees, doctor of
technical sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to develop methods, algorithms, software and hardware for monitoring rock landslide processes based on fiber-optic measuring systems.

The object of the research work is dangerous exogenous geological processes (landslides, landslip, subsidence of rocks).

The scientific novelty of the research work as follows:

the method of monitoring landslide processes has been improved through the use of fiber-optic measuring systems and automation of monitoring of their various parameters;

the algorithm of the device for determining the area of landslide activity under changing geological conditions has been developed and increases the efficiency of the monitoring system and forecasting their development, as well as allowing to remotely change the parameters of the sensors of the system;

the principle of organization of interconnection and integration of radio engineering elements and modules of the rock condition monitoring system has been developed, which expands the functionality of the state system of prevention and emergency response based on the deformation properties of spectrometric sensors modulating the light intensity of fiber-optic measuring systems;

software and hardware for a device for monitoring the state of rock conditions has been developed, which increases the efficiency of the system by reducing the error in determining the area of landslide activity when geological conditions change based on fiber-optic measuring systems and rock moisture sensors.

Implementation of the research results. The following conclusions are presented on the topic of the dissertation "Development of methods for monitoring of the state of terrestrial soils based on fiber-optic measuring systems":

the developed methods, algorithms and principles of the organization of interconnection, interaction and integration of engineering elements and modules of the information and measuring system for monitoring of landslide processes of terrestrial soils based on fiber-optic measuring systems have been implemented at the Special Emergency Recovery Department of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan "Military Unit 15361" (certificate of the Ministry for development of information technologies and communications of the Republic of Uzbekistan No. 33-8/8220 dated November 17, 2021). As a result, this reduced the time for determining landslide activities by 5-7 times and increased the efficiency of the system by 10-20 %;

the developed software and hardware and a monitoring system for synchronous data processing of a multichannel information and measurement system were introduced into the Institute of Civil Protection at the Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan (certificate of the Ministry for development of information technologies and communications of the Republic of Uzbekistan No. 33-8/8220 dated November 17, 2021). The introduction of software and hardware expands the functionality of the system, provides automation of the control of the diagnosed parameters;

the developed programs of the module of the device for monitoring of the state of the earth's soils are implemented in the State Unitary Enterprise "UNICON.UZ " about the fact that "The software of the device for monitoring the state of mountain landslides based on a fiber-optic sensor and a soil moisture sensor", "The software of the device with the ability to control via GSM performing monitoring of mountain landslide processes based on a fiber-optic sensor and a soil moisture sensor", and "The software of the server storing, processing and illustrating information, sent from the monitoring device of mountain landslide processes" fully fulfill the assigned tasks and can be used for the appropriate purposes (certificate of the Ministry for development of information technologies and communications of the Republic of Uzbekistan No. 33-8/8220 dated November 17, 2021). The results of the study can be implemented in the process of laying a backbone fiber-optic cable in remote mountain settlements according to O‘zDSt 3525:2021 “Telecommunication networks. general requirements for the installation of a transport fiber cable”, monitoring of the state of the earth's soils and determining the main parameters. As a result, this makes it possible to increase the efficiency of the system by 1.1-1.2 times and monitor a large volume (up to 2 km. along the perimeter, with the n number of control points) of the movement of shifted masses of landslide-landslide processes.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation work contains 120 pages and consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙҲАТИ
LIST OF PUBLISHED WORKS
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

I бўлим (I part; I часть)

1. Рахимов Б.Н., Бердиев А.А. Мониторинг механических свойств конструкции на основе волоконно-оптических систем связи. Монография “Алоқачи”, 2018 – 164 с. ISBN 978-9943-5521-8-0.

2. Раджабов Т.Д., Рахимов Б.Н., Бердиев А.А., Алимжонов Б.А. Определения местонахождения объектов механических повреждений на основе волоконно-оптических систем связи. // Научно-технический журнал «Вестник ТУИТ». Ташкент-2017. №1(41). ISSN 2010-9857. –С. 73-80 (05.00.00; №31).

3. Рахимов Б.Н., Абдуллаев А.И., Бердиев А.А., Алимжонов Б.А. Волоконно-оптические измерительные системы контроля и диагностики свойств железобетонных изделий. // Научно-технический журнал «Вестник ТУИТ». Ташкент-2017. №3(43). ISSN 2010-9857. –С. 101-106., pp. 101–106 (05.00.00; №31).

4. Бердиев А.А. Прогнозирование динамических и статистических свойств подземных трубопроводов в условиях «Безопасный город». // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. 2(2)/2017, -С. 76-80 (05.00.00; №10).

5. Rahimov B.N., Xotamov A., Gubenko V.A., Berdiyev A.A. Antenna system for monitoring radiofrequency spectrum. // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe EESJ (East European Scientific Journal) #9(37), 2018 part. pp. 13-17. Warsaw, Poland (Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлар рўйхати китоби 3-бетида келтирилган базасида индексланган журнал) (№12 Index Copernicus ICV 2019 = 64.33).

6. Rakhimov B.N., Rakhimov T.G., Berdiyev A.A., Ulmaskhujayev Z.A., Zokhidova G. Synchronous data processing in multi-channel information measuring systems of radiomonitoring. // Compusoft, vol. 8, no. 3, pp. 3088–3091, 2019 (Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлар рўйхати китоби 3-бетида келтирилган нуфузли базаларда индексланган журнал). (№3 Scopus, Cite Score 2019 = 0.1)

7. Рахимов Б.Н., Мирсагдиев О.А., Бердиев А.А. Темир йўл тизимида кўлланиладиган кўп каналли ахборот-ўлчов радиомониторинг тизимларида маълумотларни синхрон қайта ишлаш // О‘zbekiston Respublikasi Fuqaro muhofazasi instituti “FAN, MUHOFAZA, XAVFSIZLIK” Ilmiy-amaliy jurnali. (2) 2019. –С. 51-55 (05.00.00; №36).

8. Рахимов Т.Г., Рахимов Б.Н., Бердиев А.А., Мирсагдиев О.А., Информационно-измерительная техника на основе волоконно-оптических

датчиков и систем // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. 4(10)/2019. –С. 59-67 (05.00.00; №10).

9. Рахимов Т.Г., Бердиев А.А. Ибрагимов Д.Б. Улмасхужаев З.А. Синхронная обработка данных в многоканальной информационно-измерительной системе радиомониторинга // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. 1(7)/2019. –С. 71-76 (05.00.00; №10).

10. Raximov T., Berdiyev A., Mirsagdiyev O., Begmatov S. Development of a model of multifunctional earth soil pre-destruction system // International Conference of Information science and communications technologies applications, trends and opportunities. ICISCT 2020. 4-6 November, 2020. Tashkent, Uzbekistan. pp. 15–22, doi: 10.1109/ICISCT50599.2020.9351437 (30.10.2020 №287/9 – сон раёсат қарори).

11. Бердиев А.А. Разработка комплекса дистанционного мониторинга оползневых процессов земных грунтов. // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. 4(14)/2020. С 82-89 (05.00.00; №10).

12. Рахимов Т.Г., Рахимов Б.Н., Мирсагдиев О.А., Бердиев А.А., Батталова А.В. Разработка модели радиомониторинга состояния земного грунта на основе ВОИС // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. 1(15)/2021. –С. 77-82 (05.00.00; №10).

13. Рахимов Б.Н., Бердиев А.А. Анализ физических принципов функционирования волоконно-оптических датчиков в зависимости от изменяемого свойства света // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. 4(18)/2021. -С. 43-51 (05.00.00; №10).

14. Бимурзаев Г.А., Рахимов Б.Н., Хушвактов С.Х. Бердиев А.А., Батталова А.В. Методы проведения измерений и выполнение экспериментальных исследований устройства радиомониторинга земного грунта // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnal. 4(18)/2021. –С. 109-113 (05.00.00; №10).

II бўлим (II part; II часть)

15. Radjabov T.D., Raximov B.N., Berdiyev A.A. Methods for determining the location of mechanical damage to the trunk and local fiber-optic communication lines // International Conference on Information Science and Communications Technologies. ICISCT 2016 Applications, Trends and Opportunities. Tashkent, Novemb. 2016, ©2016 IEEE, pp. 14–15, 2016, doi: 10.1109/ICISCT.2016.7777389.

16. Рахимов Б.Н., Бердиев А.А., Алимжонов Б.А. Устройство для диагностики предразрушений и деформации гидросооружений (плотин) / “Аҳолини ва ҳудудларни фавқулодда вазиятлардан муҳофаза қилиш соҳасида фан ва технологиялар ютуқлари” Илмий семинар-кўргазма материаллари тўплами. 28 февраль, 2017 йил. -С 46-50.

17. Rakhimov N.R., Rakhimov B.N., Berdiyev A.A. Locate Objects Mechanical Damage Based on Fiber-Optic Communication Systems // 2018 14th

International Scientific-Technical Conference APEIE – 44894. Proc., pp. 210–214, 2018, doi: 10.1109/APEIE.2018.8545275.

18. Rakhimov B.N., Berdiyev A.A., Ibragimov D.B., Zoxidova G.E. Forecasting Dynamic and Statistical Properties of Underground Pipelines under Conditions of “Safe City” / 2018 14th International Scientific-Technical Conference APEIE – 44894. Proc., pp. 206–209, 2018, doi: 10.1109/APEIE.2018.8545963.

19. Рахимов Т.Г., Бердиев А.А. Оповещение населения и организация методов систем связи в чрезвычайных ситуациях с помощью оптоволоконных измерительных систем / “Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, 3-қисм. 14-15 март 2019 йил. –С. 321-324.

20. Бердиев А.А. Классификация и применение волоконно-оптических датчиков / “Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, 3-қисм. 14-15 март 2019 йил. –С. 237-239.

21. Рахимов Б.Н., Мирсагдиев О.А., Бердиев А.А. Применения волоконно оптических датчиков для мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры / Сборник статей Республиканской научно-методической конференции по теме “Инновационные технологии в системе вооруженных сил и перспективы их внедрения”. Ташкент 2019. –С. 404-407.

22. Рахимов Т., Рахимов Б., Бердиев А. Волоконно-оптические датчики деформации: применимость и интерпретация измерений // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции “Роль информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики” 5-6 март 2020 года. –С. 301-304.

23. Nosirov Kh., Berdiyev A., Rakhimov T., Rakhimov B., Chedjou J., Kyamaku K., Perumadura D., Kolli A. Design of a model for radio monitoring system of the state of the earth’s soil based on fiber-optic sensors / World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science Developments of Artificial Intelligence Technologies in Computation and Robotics, The 14th International FLINS Conf., pp. 1524–1531, 2020, doi: 10.1142/9789811223334_0182.

24. Рахимов Б.Н., Мирсагдиев О.А., Бердиев А.А. Разработка системы непрерывного мониторинга / «Инновацион техника ва технологияларнинг атроф муҳит муҳофазаси соҳасидаги муаммо ва истиқболлари» мавзусидаги халқаро илмий-техник анжумани. 17- сентябрь, 2020 йил. Тошкент. –С. 491-492.

25. Рахимов Т.Г., Бердиев А.А., Мирсагдиев О.А. Алгоритм функционирования устройств мониторинга предразрушений оползней на основе волоконно-оптических датчиков / Сборник статей «Роль цифровой экономики и интеллектуальных систем в развитии профессиональной армии» 2020, Ташкент. –С. 231-235.

26. Рахимов Т.Г., Мирсагдиев О.А., Бердиев А.А. Обмен информацией с DDM протоколом SFP модуля на основе I2C интерфейса / Actual problems and prospects of the development of intelligent information and communication systems IICS-2020”, International scientific online conference. Tashkent, Uzbekistan. –С. 66-74., 2020.

27. А.А. Бердиев. Разработка комплекса дистанционного мониторинга оползневых процессов // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции “Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики” 1-часть (Анжуман ялпи мажлис маърузалари). 4-5 март 2021, Ташкент. –С. 11-16.

28. Berdiyev A.A., Begmatov S.A., Arabboyev M.M. “Optik tolali va namlik sensorlari asosida tog‘ ko‘chki holatini kuzatish qurilmasining dasturiy ta‘minoti” // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi, № DGU 09145. 09.10.2020.

29. Berdiyev A.A., Raximov T.G., Begmatov Sh.A., Arabboyev M.M., Mirsagdiyev O.A. “Optik tolali va namlik sensorlar yordamida tog‘ ko‘chki jarayonini monitoring qiluvchi va GSM orqali boshqariluvchi qurilmaning dasturiy ta‘minoti” // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi, № DGU 09146. 09.10.2020.

30. Berdiyev A.A., Raximov B.N., Raximov T.G., Begmatov Sh.A., Arabboyev M.M., Mirsagdiyev O.A. “Tog‘ ko‘chki jarayonlarini monitoring qiluvchi qurilmalardan yuborilgan ma‘lumotlarni saqlovchi, qayta ishlovchi va namoyish qiluvchi server dasturiy ta‘minoti” // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnomasi, № DGU 09147. 09.10.2020.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, инглиз, рус тилларидаги матнларнинг мослиги текширилди.

Бичими 60x84 ¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табоғи: 2,75. Адади 100. Буюртма № 81.

Гувоҳнома реестр № 10-3719
“Тошкент ахборот технологиялари университети” босмахонасида чоп
этилган.
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Амир Темур, 108-уй.

