

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШАМСУТДИНОВА ВИНЕРА ХАФИЗОВНА

**МАҲСУЛОТЛАРНИНГ УМУМИЙ АНТИОКСИДАНТЛИК
ФАОЛЛИГИ УСУЛЛАРИ ВА АНАЛИЗАТОРЛАРИ**

05.03.01 –Асбоблар. Ўлчаш ва назорат қилиш усуллари (техника фанлари)

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

Тошкент – 2019

**Фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии (PhD)**

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Шамсутдинова Винера Хафизовна

Маҳсулотларнинг умумий антиоксидантлик фаоллиги усуллари ва
анализаторлари.....3

Шамсутдинова Винера Хафизовна

Методы и анализаторы суммарной антиоксидантности
продуктов.....21

Shamsutdinova Vinera Khafizovna

Methods and analyzers of total antioxidant activity of
products.....39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works43

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШАМСУТДИНОВА ВИНЕРА ХАФИЗОВНА

**МАҲСУЛОТЛАРНИНГ УМУМИЙ АНТИОКСИДАНТЛИК
ФАОЛЛИГИ УСУЛЛАРИ ВА АНАЛИЗАТОРЛАРИ**

05.03.01 –Асбоблар. Ўлчаш ва назорат қилиш усуллари (техника фанлари)

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

Тошкент – 2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.3.PhD/Т364 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:	Гулямов Шухрат Манапович техника фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Исматуллаев Патхулла Рахматович техника фанлари доктори, профессор Назаров Абдулазиз Муминович техника фанлари доктори, профессор
Етакчи ташкилот:	Тошкент кимё-технология институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил «_09_» _12_ соат _12.00_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-46-00; факс: (+99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@edu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (123 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2019 йил «26» __11__ куни тарқатилди (2019 йил «_09_» 11 даги 22- рақамли реестр баённомаси).

Н.Р. Юсупбеков

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

У.Ф. Мамиров

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

Х.З. Игамбердиев

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сўнги вақтларда турли хил муҳитларда оксидланиш жараёни кечилишига тўсқинлик қиладиган ҳамда эркин радикалли оксидланиш жараёнининг ингибиторлари ёки стабилизаторлари сифатида таърифланадиган моддалар – антиоксидантларга (АО) алоҳида эътибор қаратилмоқда. Охириги вақтларда улар тирик ҳужайралардаги оксидланиш метаболизми ростлагичлари ёки оксидланувчи парчаланишдан биологик ҳужайрани химоя қиладиган моддалар сифатида ҳам кенг қўлланилмоқда. Бу борада хавфли касалликлар ва эрта қаришга қарши курашиш учун самарали воситалар сифатида тан олинган антиоксидантлар ва антиоксидант фаоллигини аниқлаш усуллари ва анализаторларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда антиоксидланиш фаоллигини баҳолаш тизимининг ривожланиши, уларнинг тирик организмга эркин радикалларнинг зарарли таъсирини блоклаши ҳамда инсонни турли энг хавфли касалликлардан химоя қилиши сабаб бўлмоқда. Бу қариш назарияси янги илмий йўналиш бўлган – эркин радикаллар биологияси доирасида қамраб олинган эркин радикалли жараёнларга асосланганини қўплаб изланишлар билан тасдиқланиб келмоқда, бу борада табиий ўсимлик ва сунъий табиатли объектларда антиоксидантларнинг миқдорий таркибини ўлчаш муаммоси биринчи ўринга чиқиб муҳим аҳамият касб этмоқда.

Республикамизда ҳозирги кундаҳолини сифатли озиқ-овқат маҳсулотлари билан барқарор таъминлаш, қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини етиштирувчиларни қўллаб-қувватлаш бўйича, жумладан мамлакатнинг озиқ-овқат хавфсизлигини баҳолаш бўйича стратегик жиҳатдан мақсадли ҳамда изчил чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... мамлакат озиқ-овқат хавфсизлигини янада мустаҳкамлаш, экологик тоза маҳсулотлар ишлаб чиқаришни кенгайтириш»¹ вазифалари белгилаб берилган. Бу борада мамлакатимизда антиоксидант масаласи бўйича қўплаб ҳал қилинмаган муаммолар, жумладан антиоксидантларни кундалик истеъмол қилиш нормасини аниқлаш, турли антиоксидантларнинг уйғунлигини ўрганиш, асосий антиоксидантларнинг биоўтказувчанлигини ўрганиш, табиий ва синтетик келиб чиқиши объектларининг антиоксидант фаоллигини назорат қилиш усуллари ва воситаларини амалга ошириш, антиоксидантлар билан бойитилган озиқ-овқат, фармацевтика ва косметика саноати янги маҳсулотларни ва биологик фаол қўшимчаларни яратиш талаб этилмоқда. Мазкур вазифаларни амалга оширишда антиоксидантлар ва антиоксидантлик фаоллигини аниқлаш учун усуллар ва анализаторларни такомиллаштириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

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

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги, 2019 йил 23 октябрдаги ПФ-5853-сон «Ўзбекистон Республикаси қишлоқ хўжалигини ривожлантиришнинг 2020 – 2030 йилларга мўлжалланган Стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида»ги, 2017-йил 30-июндаги ПФ-5099-сон «Республикада ахборот технологиялари соҳасини ривожлантириш учун шарт-шароитларни тубдан яхшилаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармонлари, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2015 йил 29 августдаги ВМ-251-сон «2015 - 2020 йиллар даврида ўзбекистон республикаси аҳолисининг соғлом овқатланишини таъминлаш концепциясини ва чора-тадбирлар комплексини тасдиқлаш тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меърий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Ушбу тадқиқот IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» ва VII. «Кимёвий технологиялар ва нанотехнология» фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

Муаммони ўрганилганлик даражаси. Табиий антиоксидантлар даволаниш учун кенг қўлланилади ва парҳез овқатланиш дастурларига киритилади. Биологик фаол қўшимчаларга (БФҚ) келсак, реклама одатда уларнинг юқори антиоксидант фаоллигини таъкидлайди. Бироқ, озик-овқат маҳсулотлари, ичимликлар, БФҚда антиоксидантлар таркиби кўп ҳолларда маълум эмас. Шунинг учун табиий ўсимлик ва синтетик келиб чиқувчи объектларда антиоксидантларнинг таркибини ўлчаш ва назорат қилиш энг муҳим ижтимоий-соғлиқни сақлаш аҳамиятига эга бўлган долзарб илмий-техник вазифадир.

Сўнги йилларда антиоксидантлар ва антиоксидланиш фаоллигини аниқлаш учун усуллар ва анализаторларни яратишнинг назарий асосларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотларга доир илмий-техник адабиётларнинг таҳлили бу соҳада жиддий назарий ва амалий натижаларга эришилганлигини кўрсатади. Озик-овқат, фармацевтика ва косметика саноати объектларининг умумий антиоксидант фаоллигини аниқлаш усуллари ва асбобларини тадқиқ этиш ва ривожлантиришига доир назарий ва амалий масалалар билан R. Arak, A.Blauz, G.Cao, B.Halliwell, C.Lopez-Alarcon, B.X.Ou, N.Pellegrini, A.M.Pisoschi, R.L.Prior, X.L.Wu, M.Serafini, P.Srinivasan, F.Shahidi, B.Yang, X.З.Браинаина, Е.И.Короткова, П.А.Федина, Я.И.Яшин каби кўплаб хорижий олимлар, шунингдек мамлакатимиз олимларидан С.Х.Абдуразакова, К.Дадаев, Т.Д.Раджабов, О.Ш.Ҳакимов, С.Ю.Юнусов, Н.Р. Юсупбеков ва бошқалар катта ҳисса қўшишган.

Шу билан бирга ҳамон Ўзбекистонда антиоксидант фаоллигини ўлчаш учун қўлланиладиган усул ёки қурилма ишлаб чиқилганича йўқ. Ҳозирга

келиб, антиоксидант фаолиятни ўлчашнинг барча усуллари ва воситаларнинг таҳлили қилинмаган, антиоксидант фаолликни ўлчаш учун асос бўлган реакциялар ва кимёвий ўзгаришларнинг барча механизмлари, шунингдек, оксидланиш-қайтарилиш жараёнларига турли омиллар, масалан электрод материаллари, ҳал қилувчи табиати; атроф-муҳитнинг рН диапазони, антиоксидантлар концентрацияси, атроф-муҳит табиати, молекуляр кислород концентрацияси ва бошқалар таъсири етарли даражада ўрганилмаган. Аммо буборадаги тадқиқотлар табиий ва синтетик табиатли объектларнинг антиоксидант фаоллигини ўлчаш усуллари ва воситаларига янги инновацион ёндашувларни топишга имкон беради.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг Ф4-56 – «Тоза маҳсулотларни олишнинг мураккаб кимёвий-технологик тизимларини структуравий параметрик синтезлашнинг назарий асослари ва усуллари ишлаб чиқиш» (2012 – 2016 йй.); Ф7-47 – «Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнларининг назарий асослари» (2012–2016); ОТ-Ф7-88 – «Тоза маҳсулотлар олишнинг энергия ва ресурстежамкор иссиқлик-масса алмашиниш жараёнларининг истиқболли мураккаб кимё-технологик тизимларининг назарий асосларини такомиллаштириш» (2017–2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади: кислороднинг электр тикланиши жараёнининг қонуниятларини ҳамда кўзғатилган люминофорлар ва кислородларнинг молекулалари қатнашган фотофизикавий жараёнларни ўрганиш асосида табиий ва сунъий табиатли маҳсулотларнинг умумий антиоксидант фаоллигини аниқлаш учун мавжуд усул ва асбобларни такомиллаштириш ҳисобланади.

Тадқиқотнинг вазифалари:

фаол кислород радикаларининг АОлар билан ўзаро таъсирининг кейинги реакциялари мавжудлиги билан мураккаблашган чизиқли ярим чексиз диффузия шароитида кислороднинг электр тикланиш (O_2 ЭТ) жараёнининг қонуниятларини ўрганиш;

табиий ва сунъий табиатли объектларнинг умумий антиоксидант фаоллигини (АОФ) баҳолаш мезонларини асослаш;

умумий АОФни баҳолашнинг тезкор усулини ишлаб чиқиш;

ўсимлик табиатли маҳсулотлар АОФгини аниқлашнинг оптик усуллари асбобли амалга ошириш;

хемилюменцент реакциясидан фойдаланган ҳолда ёрдамида кислород концентрациясини ўлчаш натижаларига кўра АОФни аниқлаш учун қурилмани синтезлаш;

ўлчаш усуллари ва воситаларини такомиллаштириш мақсадида маҳсулотларни АОФни аниқлайдиган электр-кимёвий (амперометрик, вольтамперометрик ва потенциометрик), бир қатор бошқа оптик усуллари

ўрганиш;

АОФни ўлчовли ўзгартириш жараёнини моделлаштириш ва оптималлаштириш;

табiiй ва сунъий табиатли объектларнинг АОФни аниқлаш усул ва воситаларининг метрологик хусусиятларини қиёсий таҳлил қилиш.

Тадқиқотнинг объекти маҳсулотларнинг антиоксидант фаоллигини ўлчаш жараёнлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети ўсимлик хом ашёсининг антиоксидант фаоллигини ўлчаш усуллари ва техник воситаларини ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Диссертацияни бажаришда тизимли таҳлил усуллари ва илмий қоидалари, технологик ўлчаш усуллари, табиий муҳит, материаллар, моддалар ва маҳсулотларни назорат қилиш усуллари ва асбоблари, ўлчаш натижаларини математик қайта ишлаш, шунингдек, метрология, сертификатлаштириш ва стандартлаштириш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

кислородни электр тикланиши шароитида ўсимлик табиатли маҳсулотларнинг умумий антиоксидант фаоллигини ўлчаш усуллари ишлаб чиқилган;

классик ёки дифференциал ўлчаш режимида вольтамперограммаларни қайд этиб стандарт фосфат буферда ($pH=6,86$) уч электродли электркимёвий ячейкадаги кумуш электрод юзасида кечадиган кислороднинг электр тикланиш жараёни модель реакцияси сифатида ишлатиладиган ҳамда таҳлил қилинадиган ва стандарт моддаларнинг электр-кимёвий оксидланишини ўз ичига олган умумий антиоксидант фаоллиги ни миқдорий баҳолаш усули ишлаб чиқилган;

ўсимлик ва синтетик табиатли объектларнинг умумий антиоксидант фаоллиги қийматини баҳолаш мезонлари асосланган;

ўсимлик ва синтетик табиатли моддаларнинг умумий антиоксидант фаоллигини ўлчаш ўзгартириш жараёнларининг моделлари қурилиб, оптимал қийматлари аниқланган;

маҳсулотларнинг антиоксидант фаоллигини аниқлашни оптик усуллари асбобли амалга оширилган, қўзғатилган люминофорлар ва кислородларнинг молекулалари қатнашган фотофизикавий жараёнлар таҳлили ва Штерн-Фольмер тенгламаси бўйича намунадаги кислородконцентрациясига кўра юқори аниқликда антиоксидант фаоллигини аниқлаш учун қурилмаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

юқори сезувчанлиги, ишлашининг соддалиги, экспресслиги ва универсаллиги билан ажралиб турадиган вольтамперометрия ёрдамида ўсимлик ва синтетик табиатли объектларнинг умумий АОФ ни аналитик баҳолаш усули таклиф этилган;

моддаларнинг антиоксидант фаоллигини концентрациявий (сигимли), интеграл кўрсаткичлари ҳамда кинетик мезони бўйича баҳоланиши

асосланган;

кверцетин-, катехин-, дегидрокверцетин-, рутин қаторида ошадиган бир гуруҳ моддаларнинг оксидланиш-қайтариш потенциаллари аниқланиб, ушбу моддаларнинг оксидланиш тоқларидан уларни миқдорий аниқлаш услубияти ва қурилмалари учун фойдаланиш мумкинлиги кўрсатилган;

умумий АОФ ни ўлчаш усуллари мукамаллаштирилиб, озик-овқат маҳсулотлари, ичимликлар ва биологик фаол қўшимчаларни баҳолашнинг содда ва хавфсиз усули таклиф этилган;

хемилюминесценция реакциясидан фойдаланган ҳолда кислород концентрациясини ўлчаш натижалари бўйича АОФни аниқлаш қурилмаси таклиф этилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги тадқиқот объектларининг АОФ ни баҳолаш усуллариининг қиёсий таҳлили маълумотларининг адабиётлардаги натижаларига мувофиқлиги, ўтказилган назарий ва тажрибавий тадқиқотлар натижаларининг назарий маълумотларга мослиги, ўлчаш натижаларининг асосий метрологик тавсифларининг баҳолалиши билан тасдиқланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти умумий АОФни экспериментал баҳолаш учун мўлжалланган мавжуд услубиятларнинг назарий асосланиши ва АОФни ўлчаш ўзгартириш жараёнларининг метрологик ишончилигини таъминлаш учун уларнинг модификацияланиши кўрсатилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти кислороднинг электр тикланиш жараёнини математик моделлаштириш ва оптималлаштиришни амалга оширилиши ва АОФнинг ўлчаш ўзгартириши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Маҳсулотларнинг умумий антиоксидантлик фаоллиги усуллари ва анализаторлари бўйича олинган натижалар асосида:

ўсимлик табиатли маҳсулотларнинг умумий антиоксидант фаоллигини ўлчаш усулларини такомиллаштириш Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг Умумий ва ноорганик кимё институти ва «Чирчиқ синов ва сертификатлаштириш маркази» ДКда саноат-синов тажрибаларидан ўтиб, корхоналар фаолиятига жорий қилинган («ЎЗСТАНДАРТ» агентлигининг 2019 йил 4 ноябрдаги 01/5453-сон маълумотномаси). Натижада маҳсулотларнинг антиоксидант хусусиятларига бир қатор муҳим омиллар таъсири тўғрисида мавжуд бўлмаган маълумотларни тўлдириш ва моддаларнинг антиоксидант фаоллиги бўйича маълумотлар базасини янги маълумотлар билан тўлдириш имконини берган;

озик-овқат маҳсулотлари, алкоголик ва алкоғолсиз ичимликлар, шунингдек овқатда биологик фаол қўшимчаларнинг антиоксидант фаоллигини миқдорий баҳолаш усули Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг Умумий ва ноорганик кимё институти ва «Чирчиқ синов ва сертификатлаштириш маркази» ДКда саноат-синов тажрибаларидан ўтиб, корхоналар фаолиятига жорий қилинган («ЎЗСТАНДАРТ» агентлигининг

2019 йил 4 ноябрдаги 01/5453-сон маълумотномаси). Натижада стандарт қурилма ва реагентлардан фойдаланган ҳолда антиоксидант фаоллик кўрсаткичи бўйича маҳсулот сифатини баҳолаш имконини берган;

хемилюминесцент реакциясидан фойдаланган ҳолда суяқ мухитлардаги кислород концентрациясини ўлчаш натижасида антиоксидант фаоллигини аниқлаш учун қурилма Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг Умумий ва ноорганик кимё институти ва «Чирчиқ синов ва сертификатлаштириш маркази» ДҚда саноат-синов тажрибаларидан ўтиб, корхоналар фаолиятига жорий қилинган («ЎЗСТАНДАРТ» агентлигининг 2019 йил 4 ноябрдаги 01/5453-сон маълумотномаси). Натижада объектларнинг антиоксидант фаоллиги бўйича кимёвий, озик-овқат фармацевтика ва косметик маҳсулотларини сертификатлаш имкони яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 7 та халқаро ва 4 та республика илмий-техник анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Бажарилган тадқиқот натижалари бўйича 6 та илмий иш, жумладан, ЎЗР ОАК эътироф этган илмий журналларда 5 та мақола, шундан 1 таси хорижда чоп этилган, ЭҲМ учун яратилган дастурий воситанинг қайд қилинганлиги тўғрисида 1 та гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 108 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазибалари, объект ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Материаллар, модда ва маҳсулотларнинг антиоксидант фаоллигини ўрганиш усулларининг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш**» деб номланган биринчи бобида тадқиқот мавзусининг ҳолати таҳлил қилинган ва уларни янада ривожлантириш ва такомиллаштириш тенденциялари аниқланган.

Сўнгги йилларда материаллар, моддалар ва маҳсулотларнинг АОФ ни аниқлашнинг турли усуллари таклиф этилди, янги реагентлар, модел тизимлари ва қурилмалари синтез қилинди, ушбу мавзу бўйича кўплаб таҳлилий шарҳлар чоп этилди.

Ишда, АОФни тадқиқот усуллари оксидланиш манбаи, оксидланган

бирикманинг ўзи ва оксидловчи бирикмани ўлчаш усули турига қараб таснифлашни таклиф қилади. Ушбу ўлчаш усуллари водород атомининг (НАТ) узатиш реакцияларига асосланган усулларга, электрон узатиш реакцияларига асосланган (ЕТ) усулларига бўлинади.

НАТга асосланган таҳлиллар антиоксидант ва субстракт таркибида азотли бирикмаларнинг парчаланиши натижасида термал ҳосил бўлган пероксид радикаллари учун рақобатлашадиган рақобатбардош реакция схемасини қўллайди. Ушбу таҳлилларга қуйидагилар киради: паст зичликдаги липопротеин индукцияланган аутооксидланишини ингибирлаш, кислород радикаллари (ORAC) абсорбция қилиш қобилияти, антиоксидант тўлиқ радикал таъқиб қилиш параметри (TRAP) ва кроцин билан сайқаллаш таҳлиллари.

ЕТга асосланган таҳлиллар антиоксидантни камайтиришда рангни ўзгартирадиган оксидантни қайта тиклаш қобилиятини ўлчайди. Ранг ўзгариш даражаси намунадаги антиоксидант концентрацияси билан боғлиқ. ЕТга асосланган таҳлиллар қуйидагиларни ўз ичига қамраб олган: Фолин-Чокалтеу реагенти (FCR) ёрдамида фенолларнинг умумий миқдорининг таҳлили, Тролох нинг эквивалент антиоксидант қобилиятини аниқлаш (TEAC), темир ионини камайтирадиган антиоксидант куч (FRAP), оксидланувчи сифатида Cu (II) комплексидан фойдаланган ҳолда антиоксидантнинг умумий потенциалини таҳлил қилиш ва DPPH.

Ишда ORAC-таҳлили усули, FRAP-таҳлил усули, CUPRAC-таҳлили, TEAC-таҳлили, TRAP-таҳлили, TOSC-таҳлили, шунингдек, каротиноидларни оқартириш (кроцин) ва бошқалар усуллар тизимлаштириб умумлаштирилиши амалга оширилган.

ORAC усули («кислород радикалларининг емирилиш ҳажми») кислород радикалларига нисбатан адсорбцион сиғимини аниқлашга асосланган. ORAC бирлиги бўлиб масса бирлигига тролокс микромолининг нисбати (MTe / 100 г) ҳисобланади.

TRAP усули хемиллюминесценциянинг латент даврини ўлчашда тролокс ёки аскорбин кислотаси каби антиоксидантларни аниқлаш учун ишлатилиши мумкин: улар радикаллар билан реакция тезлиги доимийисининг юқори қиймати билан тавсифланади.

FRAP усули Fe (III) – паст pH да Fe (III) комплексидан трипиридил триазин комплексини тиклашга асосланган. Усул биологик суюқликлар, озиқ-овқат маҳсулотлари, ўсимлик экстрактларини аниқлаш учун ишлатилади ва тиол гуруҳлари билан антиоксидантларни аниқлайди.

TEAC усули антиоксидантлар таъсирида узоқ яшовчи кўк рангли катион-радикалнинг рангсизланишини ўлчашга асосланган. ABTS (2,2-азинавис, 3-этиленбензтеазолино, 6-сульфат кислота) нинг барқарор эритмаси маълум концентрацияли охириги калий персульфатнинг сувли эритмасига таъсир этганида олинади.

Бундан ташқари, мавжуд усулларни қиёсий баҳолаш амалга оширилди, натижада антиоксидант фаолиятни таҳлил қилиш усулларининг

антиоксидант фаоллигини аниқлашнинг мавжуд усулларининг афзалликлари ва камчиликлари аниқланди.

Кўпгина антиоксидантларнинг электр фаоллигини ҳисобга олган ҳолда, электр-кимёвий таҳлил усулларига алоҳида эътибор берилди, электрон узатиш антиоксидант эркин радикал реакцияларда иштирок этади, бу эса мураккаб ёки рангли намуналарда ҳам бир қатор органик бирикмаларнинг антиоксидант қобилиятини тезда синаб кўриш имконини беради.

Антиоксидант фаолиятини таҳлил қилишнинг электр-кимёвий усулларини таққослаш шуни кўрсатдики, волтамперометрия 10^{-12} М га қадар бўлган аниқланиш чегараларини тақлиф қилиши мумкин ва анъанавий инструментал усулларга нисбатан бир қатор афзалликларга эга, аммо антиоксидантларнинг кислороднинг фаол шакллари билан ўзаро таъсир механизмини ўрганиш лозим.

Диссертациянинг иккинчи боби “**Фенол табиатли антиоксидантларнинг антиоксидант фаоллигини ўрганиш**” деб номланган. Бу ерда табиий антиоксидантларнинг синтетик аналогларининг модели эркин радикаллар билан ўзаро таъсири кинетикаси (антирадикал фаоллик) ва липидлар оксидланишини сустлаштириш (антиоксидант фаоллик), ҳамда уларнинг таъсир этишларининг янги механизмларини аниқлаш мақсадида фенол табиатли антиоксидантларнинг антирадикал фаоллигини ўрганиш натижалари келтирилган. Фенол табиатли антиоксидантларнинг ўрганилиши тўрта лиглан: икки бензо [kI] ксантенли лиглан ва икки дигидробензо фуранли неолиглан (синтетик аналоглар)ни тадқиқ этиш мисолида амалга оширилган. Танлаб олинган бирикмалар нафақат индивидуал компонентлар сифатида, балки антиоксидант композициялар сифатида ҳам концентрацияларнинг маълум диапазонларида ўрганилган.

Бу ерда алоҳида компонентларнинг ўртасидаги синергизми ҳисобига аралашманинг антиоксидант фаоллигининг ошиши кузатилган ва натижада липидларнинг юқори оксидланиш стабиллигини таъминлаш учун янги самарали био-антиоксидантлар – алоҳида бирикмалар ва композицияларни доривор воситалар ва озиқ-овқат қўшимчалари сифатида фойдаланиш мумкинлиги кўрсатилган. Липидларнинг автооксидланиши кинетикасининг асосий схемалари келтирилиб, фенол табиатли бирималарнинг антирадикал ва антиоксидант фаоллигини ўрганиш усулини танлашда комплекс ёндашув тақлиф этилган. Ўрганилаётган лигнанларнинг DPPH• билан ўзаро таъсири жараёнини қамраб олган 20 минут вақт интервалида «умумий» кинетикасидан фойдаланиш тақлиф этилган. 1-расмда (А-Г) қуйидаги тенглама орқали ҳисобланган ўрганилаётган лигнанлар мавжудлигида антирадикал фаоллигининг фоизи ошиши ва ютилишнинг сустлашиши кинетик эгри чизиқлари келтирилган:

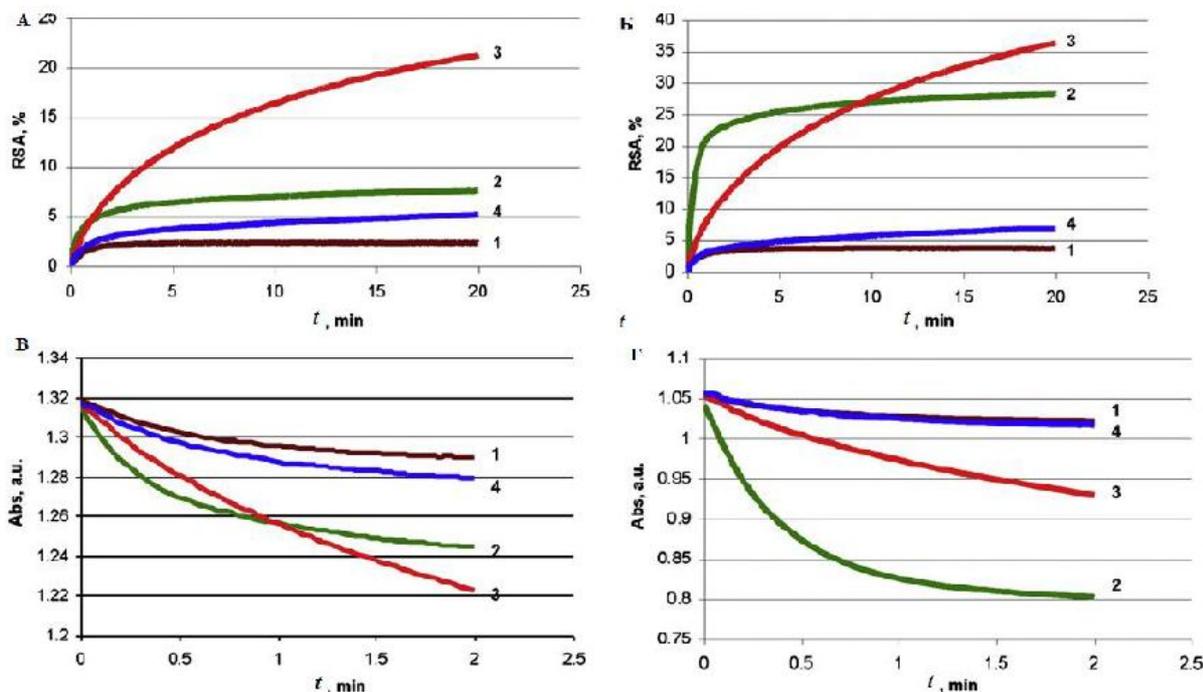
$$\% \text{RSA} = [\text{Abs}_{(t)} - \text{Abs}_{(0)} / \text{Abs}_{(0)}] \times 100\%$$

Водород фенол гуруҳининг атомини парчалаганида ўрганилаётган бирикмаларнинг энталпияси токоферолга нисбатан юқори бўлганида икки

компонентли аралашмада синергизм, пасроқ бўлганида эса – антагонизм кузатилиши аниқланган.

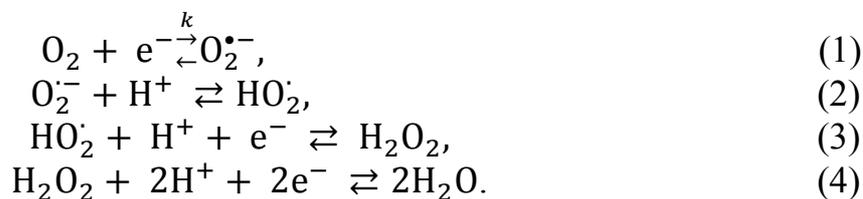
$$[\text{АОН}] / [\text{DPPH}^{\bullet}] = 0,25$$

$$[\text{АОН}] / [\text{DPPH}^{\bullet}] = 0,40$$

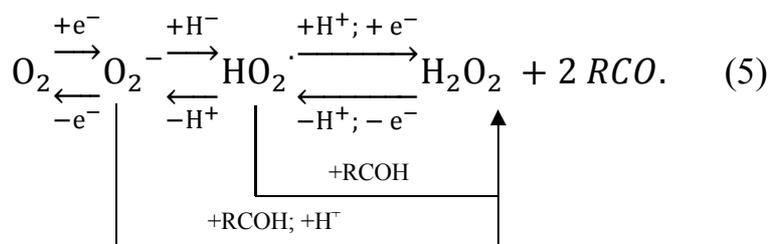


1-расм. Икки турли нисбат $[\text{АОН}] / [\text{DPPH}^{\bullet}] = 0,25$; $[\text{АОН}] / [\text{DPPH}^{\bullet}] = 0,40$ учун УФ-спектрофотометрик усул ёрдамида олинган DPPH^{\bullet} нинг оптик зичлиги сустрлашиши кинетикаси ($\lambda = 517 \text{ нм}$ ва $T = 37^{\circ} \text{C}$)

Бундан ташқари, антиоксидант фаоллигини аниқлашнинг электр кимёвий усулларида электр кимёвий ячейканинг электродда кислороднинг электр тикланиш ($\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2^{\bullet -}$) жараёни мисолида тирик хужайрадаги кислороднинг тикланишига антиоксидантларнинг таъсири ўрганилган. Одатда электродларда супероксид анион ва гидропероксид каби кислороднинг фаол шакллари (КФШ) генерацияланади. Электродли жараён учун КФШрининг электродда шаклланиши қуйидаги схема бўйича кечади:

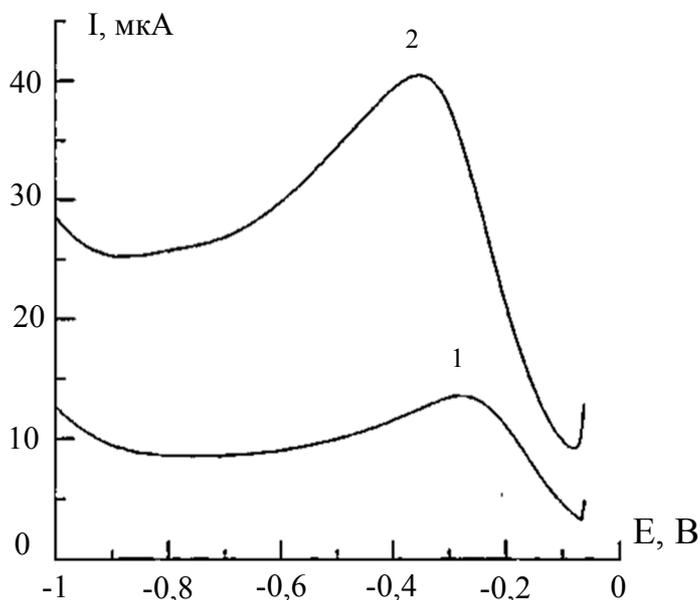


Баъзи электродларда (масалан, симоб-платиналиларда) схема босқичларини ажратиб, алоҳида кўриб чиқиш мумкин. КФШ билан ўзаро таъсир қиладиган антиоксидантлар (АО) жараён кинетикасига қуйидагича таъсир қиладилар:



Турли антиоксидантлар ушбу жараёнга фарқлича таъсир этилиши аниқлаган. Жумладан, антиоксидант-ферментлар: каталаза, супер оксид дисмутаза, редуктаза, ҳамда гуминли кислоталар мавжудлигида электр тикланиш токининг ошириб, потенциални манфий қийматлар томон силжиши кузатилади, биринчи электродли, сўнг эса жараённинг кимёвий босқичи реакция маҳсулотининг диспропорционланиши ва кислороднинг регенерацияси кечиши аниқланган. Стандартант антиоксидантлар (витами́нлар, флавоноидлар, коэнзим Q₁₀ ва ўсимликлар экстрактлари) мавжудлигида жараёнининг токи камайиб, потенциали мусбат қийматлар томон силжиши кузатилади; биринчи электродли, сўнг эса жараённинг кимёвий босқичи ва АОларнинг КФШ билан ўзаро таъсирининг кимёвий реакцияси амалга оширилиши аниқланган (2-расм).

Таркибида селен ва азот мавжуд АО мавжудлигида жараёнининг токини камайиши, потенциалнинг манфий қийматлар томон силжиши кузатилади. Тегишлича жараённинг электродли ва кимёвий босқичларидан сўнг АО кислород ва унинг тикланиш маҳсулотлари билан ўзаротаъсирининг кимёвий реакцияси амалга оширилиши аниқланган.



2-расм. Аскорбин кислотаси ($C = 1 \times 10^{-5}$ г/мл) мавжудлигида фосфат буфердаги O_2 ЭТ жараёнининг токи вольтамперограммаси: 1 $W=30$ мВ/с; 2- $W=300$ мВ/с.

Электркимёвий усулларнинг асбобли амалга оширилиши кўриб чиқилиб, ўз ичига таҳлил этилаётган ва стандарт модданинг оксидланишини

қамраб олган йиғинди антиоксидант фаоллигини баҳолаш учун усул таклиф этилган. Модель реакцияси сифатида ишчи кумуш электроддаги O₂ ЭТ жараёни реакциясидан фойдаланилган. Таклиф этилган усул электрон кучайтиргич ва радиотехника қурилмаларида қўлланиладиган микроконтроллер (масалан, Atmega8) дан фойдаланган ҳолда оддий уч электродли электр кимёвий ячейкада амалга оширилиши мумкин.

Бир қатор маҳсулотлар учун олинган йиғинди антиоксидант фаоллиги қийматлари 1–жадвалда келтирилган.

1-жадвал.

Йиғинди антиоксидант фаоллиги қийматлари

Номланиши	АКга кўра АОФ, %
Олма шарбати	17
Қора қорағат шарбати	52
Лавлаги шарбати	31
Помидор шарбати	21
Сабзи шарбати	10
Қора чой Darjeeling	72
Кўк чой Greenfield	85

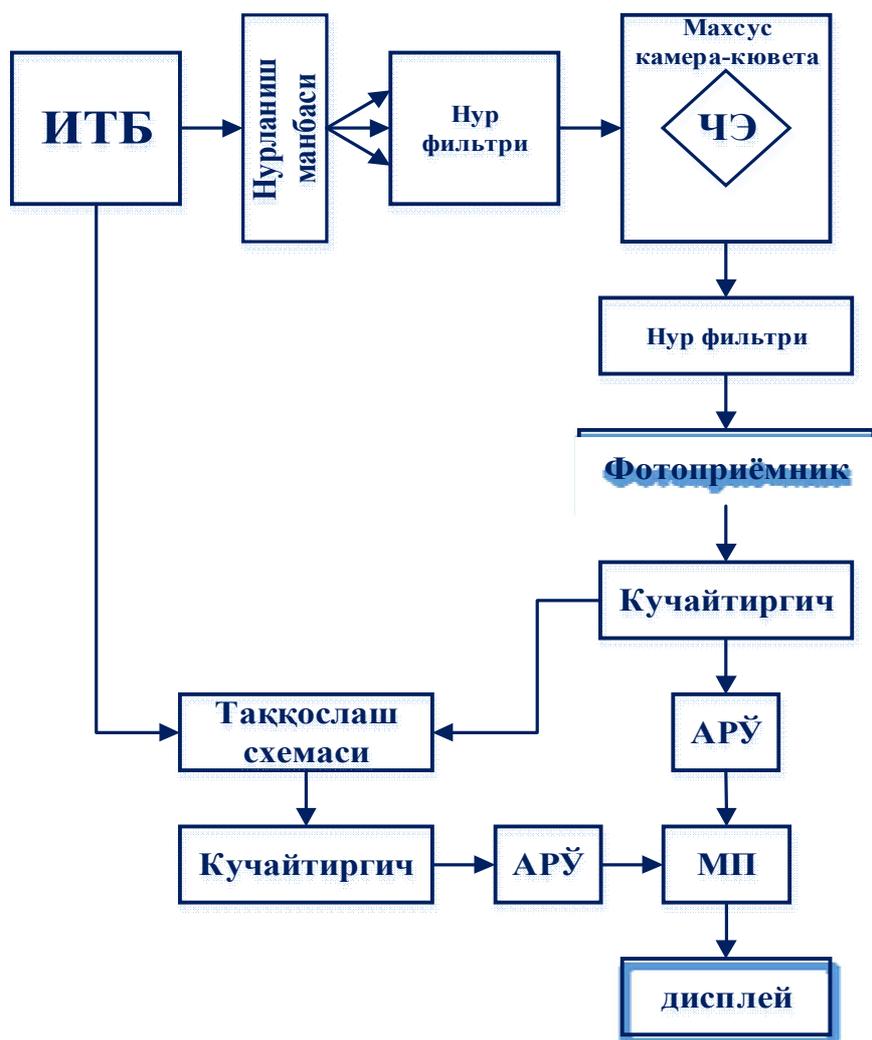
АОФ баҳолаш учун таклиф этилган усул асбобли амалга оширишни соддалаштириш ва хавфсиз материаллардан фойдаланган ҳолда экспресслигини ошириб, намуналарнинг тайёрланишини талаб қилмасдан маҳсулотларнинг йиғинди антиоксидант фаоллигини баҳолаш имконини берган.

Диссертациянинг учинчи боби «**Маҳсулотларнинг антиоксидант фаоллигини аниқлаш учун оптик усулларнинг асбобли амалга оширилиши**» деб номланиб, унда кўзғатилган люминофорларва кислородларнинг молекулалари қатнашган асосий фотофизикавий жараёнлар кўриб чиқилиб, оксидланган кислород концентрацияси бўйича АОФ аниқлаш учун қурилма асбобли амалга оширилган. Мавжуд анализаторлар таҳлил қилиниб, аппаратли қисми импульсли таъминот блоки, нурланиш манбаси, икки нур фильтри, сезгир элемент, реакцион аралашмаси мавжуд махсус камера-кювета, фотоприёмник, икки доимий ток кучайтиргичи, икки аналог-рақамли ўзгарткич, таққослаш схемаси, микропроцессор ва дисплейдан ташкил топган қурилма таклиф этилган.

Белгиланган воситаларнинг йиғиндиси реакция аралашмаси ва люминесценция активатори сифатида акрифлавин бўёғи ва германий абсорбатидан пластина шаклида амалга оширилган кислородга сезгир люминисценцияловчи элементдан фойдаланилиши ҳисобига намунанинг юқори аниқликдаги АОФ аниқланиши билан таъминланадиган қурилма ишининг универсаллигига эришилган.

Техник натижага эришилиши кислородга сезгир люминисценцияловчи элемент люминесценциянинг юқори квантли чиқишига эга акрифлавин

бўёғидан фойдаланилган люминофор киритилган германий абсорбати пластинаси шаклида амалга оширилганлиги билан таъминланади.



3-расм. Люминесценция нури бўйича АОФни аниқлаш қурилмасининг схемаси

Вақт диаграммаларининг бир-бирига солиниши ва вақт бўйича кетма-кетликка бўлиниши турли вақт интервалларида люминесценция амплитудасини ўлчаш имконини беради, бу эса таққослаш ва ўлчаш схемаси ишидаги шовқинлар, нурланиш манбаси параметрларидаги ўзгаришлар каби ғалаёнли ташқи омилларнинг камайиши (ёки тўлиқ чиқариб юборилиши) га олиб келади. Буларнинг барчаси люминесценция сўниш вақтини аниқлаш, интенсивлигига кўра эса намунанинг антиоксидант фаоллигини белгилайдиган оксидланган кислород концентрациясини аниқлаш имконини беради. Булар фойдали сигналнинг шовқинга нисбатини сезиларли даражада яхшилайдиган ва оксидланган кислороднинг кичик концентрацияларига сезгирлигини оширадиган люминесценциянинг фойдали сигналнинг ошишига олиб келади. Люминесценция сўниш вақти ва унинг интенсивлигини ўзгаришини аниқлаш люминесцент сигналнинг интенсивлик қийматларига асосланган бўлиб, ўлчаш стабиллигини ошишига сабаб бўлади.

Маҳсулотларнинг АОФни баҳолаш учун энергетик интеграл кўрсаткич, яъни кислород мавжуд бўлганида ва мавжуд бўлмаганидаги люминесценция интеграл интенсивлиги нисбатидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ:

$$\% = 100 \left(1 - \frac{I}{I_0} \right) = 100 \left(1 - \frac{1}{1+X} \right).$$

Диссертациянинг «**Антиоксидант фаолликни аниқлашда моделлаштириш ва оптималлаштириш усулларидан фойдаланиш**» деб номланган тўртинчи боби диссертациянинг натижаларини муҳокама қилиш ва жорий этишга бағишланган.

Марказий ортогонал композицион планнинг усулидан фойдаланган ҳолда бир қатор флавоноидлар учун регрессия тенгламалари олинган:

Рутин: $y = 0.0699 + 0.0212x_1 - 0.0112x_2 + 0.0078x_1^2$;

Кверцетин: $y = 0.1504 - 0.0373x_2 - 0.0112x_1x_2 - 0.0731x_1^2 + 0.0250x_2^2$;

Дигидрокверцетин: $y = 0.0859 - 0.029x_1 - 0.0134x_2 - 0.0116x_1x_2 + 0.125x_1^2$;

Катехин: $y = 0.0275 + 0.0083x_1 + 0.0090x_2 + 0.0030x_1x_2 - 0.0104x_1^2 - 0.0144x_2^2$.

Намуналарнинг оптимал концентрацияларини интерваллари, фаол иш вақти, ҳамда самарали концентрациялар ва ўзаро таъсир вақтида O_2 ЭТ жараёнининг нисбатан намуналарнинг антиоксидант фаоллиги аниқланган ($p=0.95$, $n=5$). (2–жадвал). Моделлар коэффицентлари аҳамиятлилигининг текшируви кўриб чиқилган омиллар (концентрация (x_1) ва фаол иш вақти (x_2)) коэффицентларининг аҳамиятлилиги тўғрисида гипотезани тасдиқлади. Олинган иккинчи даражали моделлар монанддир. Эффе́ктлар (концентрация, фаол иш вақти ва уларнинг ўзаро таъсири) коэффицентлари ўрганилган моддалар учун турли даражада аҳамиятлидир. Ўтказилган тадқиқотлар натижасида вақт ва квадратик концентрациянинг чизиқли коэффицентлари кўпроқ нимага таъсир қилишини айтиш мумкин.

2-жадвал

Самарали концентрациялар ва ўзаро таъсир вақтида O_2 ЭТ жараёнининг нисбатан намуналарнинг АОФ($p=0,95;n=5$)

Флавоноид	$C_{эф.} \cdot 10^6$, моль/л	$T_{эф.}$, мин	k , мкмоль/(л мин)
Рутин	0,82004	40	0,120 09
Катехин	1,40006	20	0,23005
Кверцетин	1,55004	45	0,27003
Дигидрокверцетин	3,20003	30	0,14006

Циклик вольтамперометрия усули билан бир қатор флавоноидларнинг электр кимёвий хоссалари ўрганилиб, қуйидаги қатор бўйича ошадиган оксидланиш-қайтариш потенциаллари аниқланган: кверцетин-, катехин-,

дигидрокверцетин-, рутин. Назарий ва тажрибавий вольтамперограммалари таққосланганда олинган моделларнинг монандлигини назарий ва тажриба эгри чизиқлардаги нуқталар фарқи бўйича ҳисобланган детерминантлаш коэффициентлари – D бўйича баҳоланган:

$$D=1-\frac{\sum_{i=1}^N(y_{\text{exp}}-y_{\text{teor}})^2}{\sum_{i=1}^N(y_{\text{exp}}-y_{\text{teor}})^2+\sum_{i=1}^N(\bar{y}_{\text{exp}}-y_{\text{teor}})^2}, \quad (13)$$

бу ерда y_{exp} – тажриба эгри чизиғининг N -нуқтасидаги жавоб функциясининг қиймати, y_{teor} – назарий олинган эгри чизиқнинг N -нуқтасидаги жавоб функциясининг қиймати; N – кўриб чиқиладиган эгри чизиқлардаги нуқталар сони.

Тадқиқот ишида, шунингдек регрессия тенгламаларини ечишнинг махсус оптималлаштирилган диссоциатив қадамли усулидан фойдаланган ҳолда АОлар мавжудлигида мальвидиннинг узумни сиқиб, экстракциялаш жараёнининг модели олинган. Узлуксиз Кононинг Д-оптимал режасидан фойдаланилган.

Қизил бўёқ мальвидиннинг узум сиқишидан экстракциялаш жараёнининг математик тавсифидан тадқиқ этиладиган жараённинг статик оптималлаштирилиши учун фойдаланилган:

$$\hat{y}(x, b) = 14,00 + 24x_1 + 0,65x_2 + 2,40x_3 - 0,90x_2x_3 - 1,28x_2^2 + 1,02x_3^2$$

бу ерда x_1 – ҳарорат; x_2 – экстрактордаги қаттиқ жисм: суюқлик нисбати (Қ:С); x_3 – жараённинг давомийлиги; y – экстрактордаги қизил бўёқ миқдори.

Қизил бўёқ мальвидиннинг узумни сиқиб, экстракциялаш жараёнининг оптималлаштириш масаласи қуйидагича шаклланади: кириш катталиклари қуйидаги чекловларга мос келиши шароитида $y(x, b)$ максимал қийматга эга бўлиши учун ростланадиган кириш параметрларининг x_1, x_2 ва x_3 қийматларини аниқлаш лозим:

$$-1,215 \leq x_i \leq +1,125; \quad i=1, 2, 3.$$

Оптималлаштириш қуйидаги тенглама бўйича амалга оширилган:

$$y(x, b) = 9,460 + 1,020x_1 + 0,543x_2 + 1,975x_3 - 0,900x_1x_3 - 1,280x_2^2 + 1,020x_3^2,$$

бу ерда $x_i = -\frac{x_i}{1,25}; \quad -1 \leq x_i \leq +1.$

Оптималлаш натижасида $x_{1\text{опт}} = +1; x_{3\text{опт}} = +1$ бўлганида қуйидагилар олинган:

$$y(x, b) = 12,595 + 0,543x_2 - 1,28x_2^2.$$

x_2 параметри бўйича экстремум қуйидаги нуқтада аниқланган:

$$x_{2\text{ext}} = -\frac{b_2}{2b_{22}} = 0,209;$$

бу ерда

$$y_{ext} = y(x_{2\ ext}) = b_0 - \frac{b_2^2}{4b_{22}} = 12,651.$$

Жараённинг олинган оптимал параметрлари куйидагича: $x_{1\ опт}=1,215$; $x_{2\ опт}= 0,254$; $x_{3\ опт}=1,215$; $y_{ext}=18,2$. Ҳисоб-китоб орқали аниқланган оптимал ечимларнинг экспериментал текшируви 18% мальвидиннинг экстрактга чиқишини берди.

Бундан ташқари, бир қатор флавоноидлар учун антиоксидант фаоллигини аниқлашнинг спектрофотометрик ва вольтамперометрик усулларининг ўтказилган таҳлили натижалари 3- жадвалда келтирилган.

Келтирилган маълумотларга кўра, натижаларнинг сонли бир-бирига тўғри келиши кузатилмаган, ушбу усулларнинг модели реакциялари турлича бўлгани сабабли кутилган.

3-жадвал

Бир қатор флавоноидлар учун спектрофотометрик ва вольтамперометрик усуллар билан аниқланган $1C_{50}$ мезон қийматлари ($p=0,75$; $n=5$)

Модданинг номи	Спектрофотометрик усул, $1C_{50} \times 10^2 (M)$	Вольтамперометрик усул, $1C_{50} \times 10^2 (M)$
Рутин	0.13±0.02	0.82±0.04
Дигидрокверцетин	0.53 ±0.04	1.03 ±0.05
Бензоик кислота	0.55 ±0.03	4.19±0.05
Аскорбин кислота	0.72±0.03	4.87±0.03
Кверцетин	1.17±0.02	5.89±0.03
Катехин	3.92±0.04	8.22±0.04

Аммо спектрофотометрик ва вольтамперометрик усуллар билан олинган натижаларнинг корреляцияси тўғрисида сўз юритиш мумкин. Шунингдек, вольтамперометрик усул ёрдамида биологик фаол моддаларнинг фаоллигини аниқлаш натижалари бошқа усуллар ва турли операторлар билан турли хил лабораторияларда олинган маълумотлари билан ҳам яхши корреляцияланади.

ХУЛОСА

1. Ўсимлик ва синтетик табиатли маҳсулотларнинг умумий антиоксидант фаоллигини аниқлашнинг янги самарали усулларини топиш ва мавжуд техник воситаларни такомиллаштириш доирасида фаол кислород радикалларининг ОАлар билан ўзаро таъсирининг кейинги реакциялари мавжудлиги билан мураккаблашган чизиқли ярим чексиз диффузия шароитида кислороднинг электр тикланиш жараёнининг қонуниятлари ўрганилган, натижада маҳсулотлар таркибидаги антиоксидантларнинг табиатини аниқлаш имконини берган.

2. Классик ёки дифференциал ўлчов режимида вольтамперограммаларни қайд этиб, стандарт фосфат буферда ($pH=6,86$) уч электродли электркимовий

ячейкадаги кумуш электрод юзасида кечадиган O_2 ЭТ модели реакцияси сифатида ишлатиладиган ҳамда таҳлил қилинадиган ва стандарт моддаларнинг электр–кимёвий оксидланишини ўз ичига олган умумий АОФ ни баҳолаш усули таклиф этилган, натижада стандарт қурилма ва реагентлардан фойдаланган ҳолда антиоксидант фаоллик кўрсаткичи бўйича маҳсулот сифатини баҳолаш имконини берган.

3. Маҳсулотлар АОФ ни аниқлашнинг оптик усуллари асбобли амалга оширилиши тақдим этилган, қўзғатилган люминофорлар ва кислородларнинг молекулалари қатнашган фотофизикавий жараёнлар таҳлили ва Штерн-Фольмер тенграмаси бўйича намунадаги кислород концентрациясига кўра юқори аниқликда АОФни аниқлаш учун қурилма синтези амалга оширилган, натижада объектларнинг антиоксидант фаоллиги бўйича кимёвий, озик-овқат фармацевтика ва косметик маҳсулотларини сертификатлаш имкони яратилган.

4. Фенол гуруҳдаги флавоноидларнинг АОФни ўлчаш жараёнининг моделлари олинган ва оптималлаштириш масаласининг ечилиши билан флавоноидларнинг фаол кислород радикаллари билан фаол ўзаро таъсирининг вақти ва концентрациянинг экстремал қийматлари аниқланган, натижада ўзаро таъсири вақти ва концентрациянинг антиоксидантларга таъсир этиш даражаси тўғрисида фикр юритиш имконини берди.

5. Циклик вольтамперометрия усули билан моддаларнинг оксидланиш-қайтариш потенциаллари аниқланган, натижада ушбу моддаларнинг оксидланиш тоқларининг сигналларини уларни миқдорий аниқлаш фойдаланиш имкони мавжудлиги кўрсатилган.

6. Озик-овқат маҳсулотлари, ичимликлар ва БАҚни баҳолашнинг содда ва хавфсиз усули таклиф этилган ва хемилюминесценция реакциясидан фойдаланган ҳолда кислород концентрациясини ўлчаш натижалари бўйича АОФни аниқлаш қурилмаси синтезланган, натижада маҳсулотларнинг умумий АОФ ни аниқлашнинг мавжуд услубиятларини такомиллаштириш имконини беркан.

7. Моддаларнинг антиоксидант фаоллигини концентрациявий (сигимли), интеграл кўрсаткичлари ҳамда кинетик мезони бўйича баҳоланиши таклиф этилган, натижада турли параметрларга кўра маҳсулотларнинг АОФ ни баҳолаш имконини берган.

8. Кверцетин-, катехин-, дегидроқверцетин-, рутин каторида ошадиган ўсимлик табиатли бир гуруҳ моддаларининг оксидланиш-қайтарилиш потенциаллари аниқланган, натижада ушбу моддаларнинг оксидланиш тоқларини уларни миқдорий аниқлаш услубияти ва қурилмалари учун фойдаланиш имконини мавжудлиги кўрсатилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.03.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ШАМСУТДИНОВА ВИНЕРА ХАФИЗОВНА

**МЕТОДЫ И АНАЛИЗАТОРЫ СУММАРНОЙ
АНТИОКСИДАНТНОСТИ ПРОДУКТОВ**

05.03.01 – Приборы. Методы измерения и контроля (технические науки)

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

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2017.3.PhD/Т364.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyo.net.

Научный руководитель: **Гулямов Шухрат Манапович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Исматуллаев Патхулла Рахматович**
доктор технических наук, профессор

Назаров Абдулазиз Муминович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Ташкентский химико-технологический институт**

Защита диссертации состоится «09» __12__ 2019 года в 12.00 часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.Т.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете по адресу: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано № 123). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «26» __11__ 2019 года.
(реестр протокола рассылки № 22 от «_9_» __11__ 2019 года)

Н.Р. Юсупбеков

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

У.Ф. Мамиров

Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии (PhD) по техническим наукам

Х.З. Игамбердиев

Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире интенсивное распространение получают антиоксиданты (АО) – вещества, препятствующие протеканию окислительных процессов в различных средах и характеризующиеся как ингибиторы или стабилизаторы свободно радикальных процессов окисления. В последнее время они также широко используются в качестве регуляторов окислительного метаболизма в живых организмах и как вещества, защищающие биологическую мишень от окислительного разрушения. В этой связи уделяется особое внимание совершенствованию методов и анализаторов определения антиоксидантной активности и антиоксидантов, признанных эффективными средствами борьбы с опасными заболеваниями и преждевременным старением.

В мире необходимость всемирного развития системы оценки антиокислительной активности обусловлена их способностью свободных радикалов блокировать вредное воздействие на живой организм, а также возможностью защищать человека от различных опасных заболеваний. Подтверждением этому выступают многочисленные исследования, свидетельствующие о том, что все современные теории старения организмов основываются на свободно-радикальных процессах, объединенных в рамках нового научного направления – биологии свободных радикалов, где на первый план выдвигается актуальная проблема количественного измерения содержания антиоксидантов в объектах растительного и искусственного происхождения.

В настоящее время в республике ведутся стратегически целевые и последовательные мероприятия, направленные на устойчивое обеспечение населения качественными продуктами питания, поддержка производителей сельскохозяйственной продукции, в том числе оценка безопасности продуктов питания страны. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017 – 2021 гг отмечен ряд задач, в частности: «...дальнейшее укрепление продовольственной безопасности страны, расширение производства экологически чистой продукции»². В этой связи в стране по антиоксидантной проблематике существует много нерешенных вопросов, в том числе: определение ежедневной нормы потребления антиоксидантов; исследование совместимости различных антиоксидантов; изучение биопроницаемости основных антиоксидантов; реализация методов и приборов контроля антиоксидантной активности (АОА) объектов природного и синтетического происхождения; создание новых продуктов пищевой, фармацевтической и косметической промышленности и биологически активных добавок, обогащенных антиоксидантами. Для реализации этих задач совершенствование методов и анализаторов для определения антиоксидантов и антиоксидантной активности является

¹Указ Президента Республики Узбекистан «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы» УП–4947 от 7 февраля 2017 года.

востребованной задачей.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы», № УП-5853 от 23 октября 2019 года «Об утверждении Стратегии развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы», № УП-5099 от 30 июня 2017 года «О мерах по коренному улучшению условий развития отрасли информационных технологий в республике», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан № КМ-251 от 29 августа 2015 года «Об утверждении концепции и комплекса мер по обеспечению здорового питания населения Республики Узбекистан на 2015-2020 годы», а также других нормативно-правовых документов, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики. Настоящее исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий IV. “Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий” и VII. «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. Природные антиоксиданты широко используются для лечения и включены в программы диетического питания. Что же касается биологически активных добавок (БАД), то в рекламах, как правило, подчеркивается их высокая антиоксидантная активность. Впрочем, содержание антиоксидантов в пищевых продуктах, напитках, БАДах в подавляющем большинстве случаев неизвестно. Поэтому измерение и контроль содержания АО в объектах растительного и синтетического происхождения – актуальная научно-техническая задача, имеющая важнейшее социально-здравоохранительное значение.

Анализ научно-технической литературы последних лет, связанной с разработкой теоретических основ методов и анализаторов определения антиоксидантов и антиоксидантной активности указывает на значительные теоретические и практические достижения в этой области. Существенный вклад в исследование и разработку методов и приборов для определения суммарной антиоксидантной активности объектов пищевой, фармацевтической и косметической промышленности внесли многие зарубежные ученые, такие как R. Aapak, A.Blauz, G.Cao, B.Halliwel, C.Lopez-Alarcon, B.X.Ou, N.Pellegrini, A.M.Pisoschi, R.L.Prior, X.L.Wu, M.Serafini, P.Srinivasan, F.Shahidi, B.Yang, X.З.Браинина, Е.И.Короткова, П.А.Федина, Я.И.Яшин, а также отечественные ученые С.Х.Абдуразакова, К.Дадаев, Т.Д.Раджабов, О.Ш.Ҳақимов, С.Ю.Юнусов, Н.Р.Юсупбеков и другие.

Вместе с этим в Узбекистане до сих пор нет способа или устройства для измерения антиоксидантной активности. На сегодняшний день не осуществлен обзор всех имеющихся методов и устройств для определения антиоксидантной активности, не в полной мере изучены механизмы реакций и химических преобразований, составляющих основу измерения

антиоксидантной активности, в частности не полностью исследовано влияние различных факторов: материала электрода, природы растворителя; диапазона рН среды, концентрации антиоксидантов, природы среды, концентрации молекулярного кислорода и других на окислительно-восстановительные процессы. Однако исследования в этой сфере сулят нахождение новых инновационных подходов к методам и средствам измерения антиоксидантной активности объектов природного и синтетического происхождения.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Исследования выполнялись в рамках научно-исследовательских проектов: Ф4-56 – «Разработка теоретических основ и методов структурно-параметрического синтеза интеллектуальных систем управления сложными технологическими объектами на основе нечетко-множественных представлений» (2012 – 2016 гг.); Ф7-47 – «Теоретические основы процессов разделения многокомпонентных смесей» (2012-2016 гг.) и ОТ-Ф7-88 – «Совершенствование теоретических основ перспективных энерго- и ресурсосберегающих тепло- и массообменных процессов сложных химико-технологических систем получения чистых продуктов» (2017-2020 гг.).

Цель диссертации является: совершенствование известных методов и приборов для определения суммарной антиоксидантной активности продуктов природного и искусственного происхождения на основе изучения закономерностей процесса электровосстановления кислорода, а также фотофизических процессов с участием возбужденных молекул люминофоров и кислорода.

Задачи исследования:

исследование закономерностей процесса электровосстановления кислорода (ЭВ O_2) в условиях линейной полубесконечной диффузии, осложненной наличием последующих реакций взаимодействия активных кислородных радикалов с АО;

обоснование критериев оценки суммарной антиоксидантной активности объектов природного и искусственного происхождения;

обоснование экспрессного способа оценки суммарной АОА;

приборная реализация оптических методов определения АОА продукции растительного происхождения;

синтез устройства для определения АОА по результатам измерения концентрации кислорода с использованием хемилюминесцентной реакции;

изучение электрохимических, оптических и ряда других методов определения АОА продукции с целью совершенствования методик и средств измерения;

моделирование и оптимизация процесса измерительного преобразования АОА;

сравнительный анализ метрологических характеристик методов и

средств измерения АОА объектов природного и искусственного происхождения.

Объектом исследования являются процессы измерительного преобразования антиоксидантной активности продуктов.

Предмет исследования – методы и технические средства измерения антиоксидантной активности растительного сырья.

Методы исследований. При выполнении диссертации применялись методы и научные положения системного анализа, методы технологических измерений, методы и приборы контроля природной среды, материалов, веществ и изделий, математическая обработка результатов измерений, а также методы метрологии, сертификации и стандартизации.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана методика измерения суммарной антиоксидантной активности продукции растительного происхождения в условиях электровосстановления кислорода;

разработан способ оценки суммарной антиоксидантной активности, включающий электрохимическое окисление анализируемого и стандартного веществ, использующего в качестве модельной реакцию электровосстановления кислорода на рабочем серебряном электроде в трехэлектродной электрохимической ячейке в стандартном фосфатном буфере ($\text{pH}=6,23$) с регистрацией вольтамперограмм в классическом или дифференциальном режиме измерения;

обоснованы критерии оценки суммарной антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения;

построены модели процессов измерительного преобразования суммарной антиоксидантной активности веществ растительного и искусственного происхождения и определены оптимальные значения параметров;

осуществлена приборная реализация оптических методов определения антиоксидантной активности продукции, анализ фотофизических процессов измерительного преобразования с участием возбужденных молекул люминофоров и кислорода и разработано высокоточное устройство для количественного определения антиоксидантной активности по концентрации кислорода в образце по формуле Штерна-Фольмера.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

предложен способ аналитического контроля суммарной АОА объектов растительного и синтетического происхождения с помощью вольтамперометрии, характеризующийся высокой чувствительностью, простотой исполнения, экспрессностью и универсальностью;

обоснованы критерии оценки АОА веществ по концентрационному (ёмкостному) и интегральному показателям, а также кинетическому критерию;

определены потенциалы окисления-восстановления группы веществ растительного происхождения, которые увеличиваются в ряду: кверцетин-,

катехин-, дегидрохверцетин-, рутин и показано, что сигналы токов окисления данных веществ можно использовать для методик их количественного определения и приборной реализации;

усовершенствованы методики измерения суммарной АОА продукции и создан простой и безопасный способ оценки АОА продуктов питания, напитков, а также БАДов к пище;

предложено устройство для определения АОА по результатам измерения концентрации кислорода с использованием хемилюминесцентной реакции.

Достоверность результатов исследования обеспечена корреляцией полученных экспериментальных результатов с теоретическими, хорошей согласованностью с литературными данными, получением согласованных данных сравнительного анализа методов измерения АОА объектов исследования, оценкой основных метрологических характеристик результатов измерения.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость диссертационной работы заключается в том, что дано теоретическое обоснование существующих методик экспериментального определения суммарной АОА и показана целесообразность их модификации с целью обеспечения метрологической достоверности процессов измерительного преобразования АОА.

Практическая значимость результатов исследования состоит в реализации подхода к математическому моделированию и оптимизации процесса электровосстановления кислорода и измерительного преобразования АОА фенольной группы веществ растительного происхождения.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по методам и анализаторам суммарной антиоксидантной активности продуктов:

совершенствование методик измерения суммарной антиоксидантной активности продукции растительного происхождения принято к использованию в деятельности Института общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан и ГП «Чирчикский центр испытаний и сертификации» (Справка агентства «УЗСТАНДАРТ» № 01/5453 от 4 ноября 2019 года). В результате это позволило восполнить недостающие данные о влиянии ряда существенных факторов на антиоксидантные свойства продукции и пополнить базу данных и знаний информацией о суммарной антиоксидантной активности веществ новыми данными;

способ количественной оценки антиоксидантной активности продуктов питания, алкогольных и безалкогольных напитков, а также биологически активных добавок к пище прошел опытно-промышленные испытания и принят к использованию в деятельности Института общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан и ГП «Чирчикский центр испытаний и сертификации» (Справка агентства «УЗСТАНДАРТ» № 01/5453

от 4 ноября 2019 года). В результате это позволило, используя стандартные устройства и реагенты, определять качество продукции по показателю антиоксидантной активности;

устройство для определения антиоксидантной активности по результатам измерения концентрации кислорода в жидких средах с использованием хемилюминесцентной реакции прошло опытно-промышленные испытания и внедрено в деятельность Института общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан и ГП «Чирчикский центр испытаний и сертификации» (Справка агентства «УЗСТАНДАРТ» № 01/5453 от 4 ноября 2019 года). В результате это позволило на основе антиоксидантной активности объектов сертифицировать продукцию химической, пищевой, фармацевтической и косметической промышленности.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования докладывались, обсуждались и получили одобрение на 7 международных и 4 республиканских научно-технических конференциях.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 научных работ, из них 5 журнальных статей, в том числе 1 в зарубежных и 4 в журналах, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, получено 1 свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 108 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, приведена научная новизна, отражена теоретическая и практическая значимость полученных результатов, даны сведения об апробации и внедрении результатов работы.

В первой главе диссертации «**Анализ современного состояния методов исследования антиоксидантной активности материалов, веществ и изделий**» проанализировано состояние предметной области исследования и выявлены тенденции их дальнейшего развития и совершенствования.

В последние годы предложены разные методы определения АОА материалов, синтезированы новые реагенты, модельные системы и приборы, опубликовано много аналитических обзоров по тематике диссертации.

В работе методы исследования АОА предложено классифицировать по типу источника окисления, собственно окисляемого соединения и способа измерения окислительного соединения. Эти методы измерения разделены на методы, основанные на реакциях переноса атома водорода (НАТ) и на способы, основанные на реакциях переноса электрона (ЕТ).

В анализах на основе НАТ применяется конкурентная схема реакции, в

которой антиоксидант и субстрат конкурируют за термически генерируемые пероксильные радикалы за счет разложения азотсоединений. Эти анализы включают: ингибирование индуцированного аутоокисления липопротеинов низкой плотности, способность поглощать кислородные радикалы (ORAC), антиоксидантный параметр полного захвата радикалов (TRAP) и анализы отбеливания кроцином.

Анализы на основе ET измеряют способность антиоксиданта восстанавливать окислитель, который меняет цвет при восстановлении. Степень изменения цвета коррелирует с концентрацией антиоксиданта в образце. Анализы на основе ET включают: анализ общего количества фенолов с помощью реагента Фолина-Чокальтеу (FCR), эквивалентную антиоксидантную способность Trolox (TEAC), антиоксидантную силу, понижающую ион железа (FRAP), анализ общего потенциала антиоксиданта с использованием комплекса Cu (II) в виде окислителя и DPPH.

В работе осуществлена систематизация и обобщенное изучение метода анализа ORAC, метода FRAP-анализа, CUPRAC-анализа, TEAC-анализа, TRAP-анализа, TOSC-анализа, а также анализа на основе отбеливания каротиноидов и др.

Метод ORAC (дословно «объем поглощения кислородных радикалов») основан на определении адсорбционной емкости по отношению к кислородным радикалам. Единицей измерения ORAC является микромоляр тролокса на единицы массы ($\mu\text{TE}/100 \text{ г}$).

Метод TRAP основан на измерении латентного периода хемилюминесценции и может быть использован для определения таких антиоксидантов, как тролокс или аскорбиновая кислота, характеризующихся высоким значением константы скорости реакции с радикалами.

Метод FRAP основан на восстановлении Fe (III) – трипиридил триазинового комплекса в Fe (II) комплекс при низких pH. Метод используется для определения АОА биологических жидкостей, пищевых продуктов, растительных экстрактов и определяет антиоксиданты с тиольными группами.

Метод TEAC основан на измерении обесцвечивания долгоживущего катион-радикала голубого цвета при воздействии антиоксиданта. Стабильный раствор ABTS (2,2-азинавис, 3-этиленбензтеазолино, 6-серная кислота) получается при воздействии на водный раствор последнего персульфата калия определенной концентрации.

Кроме того, в работе проведена сопоставительная оценка существующих методик, выведена достоинства и недостатки существующих методов определения АОА.

С учетом электроактивности большинства антиоксидантов особое внимание в диссертации уделено электрохимическим методам анализа переноса электронов с участием свободно-радикальных реакций, что позволяет быстро проверять АО способность ряда органических соединений даже в сложных или окрашенных образцах.

Сравнение электрохимических методов анализа антиоксидантной активности показало, что вольтамперометрия может предложить пределы обнаружения до 10^{-12} М и обеспечивает преимущества по сравнению с дорогостоящими традиционными инструментальными методами.

Вторая глава диссертации озаглавлена “Исследование антиоксидантной активности фенольных антиоксидантов”. В ней приведены результаты исследования антирадикальной активности фенольных антиоксидантов с целью исследования кинетики взаимодействия между новыми синтетическими аналогами природных антиоксидантов и модельными свободными радикалами (антирадикальная активность) и ингибирования липидного окисления (антиоксидантная активность) и выявления вероятных механизмов их действия. Исследование фенольных антиоксидантов осуществлялось на примере изучения четырех лигланов: двух бензо [kl] ксантовых лиглана и двух дигидробензо фурановых неолиглана (синтетические аналоги). Подобранные соединения исследованы не только в качестве индивидуальных компонентов в определенном диапазоне концентрации, но и в виде антиоксидантных композиций.

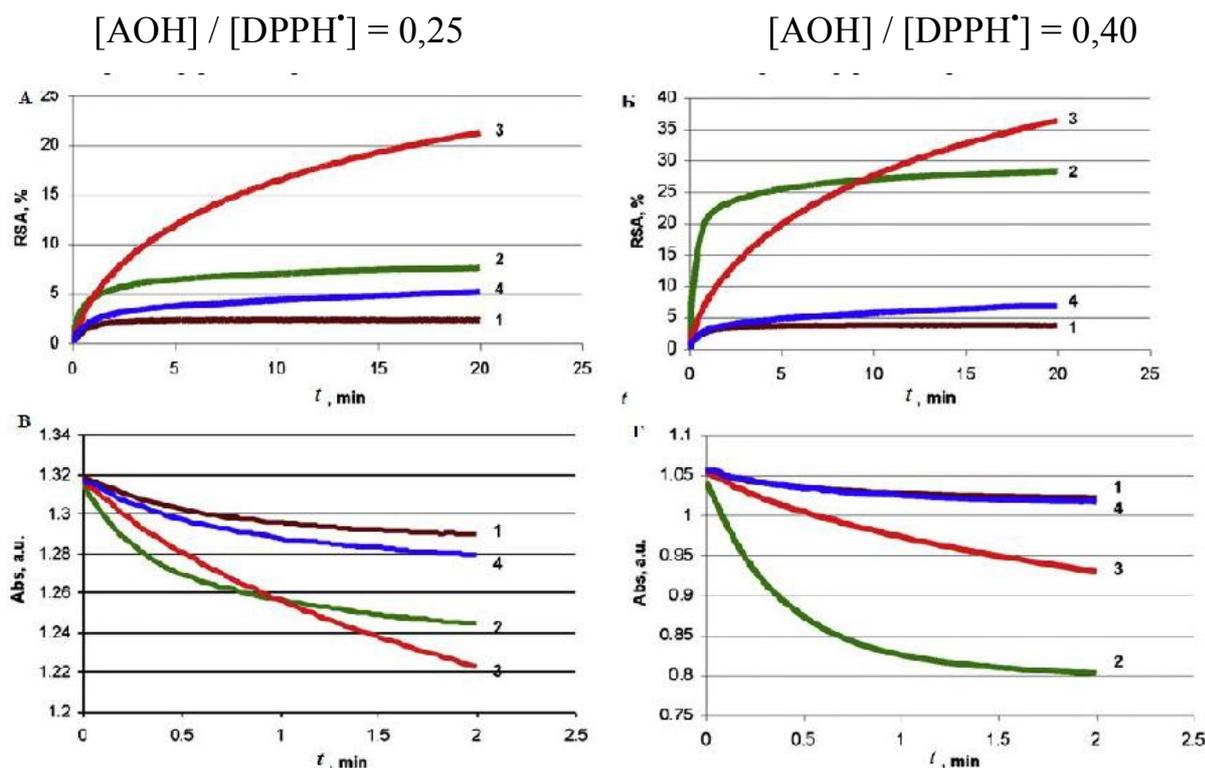


Рисунок 1. Кинетика снижения оптической плотности DPPH^\bullet , получается применением УФ-спектрофотометрического метода при $\lambda = 517$ нм и $T = 37^\circ \text{C}$, при двух различных соотношениях - $[\text{AOH}] / [\text{DPPH}^\bullet] = 0,25$; $[\text{AOH}] / [\text{DPPH}^\bullet] = 0,40$

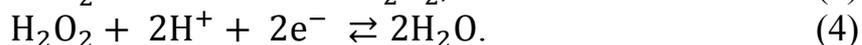
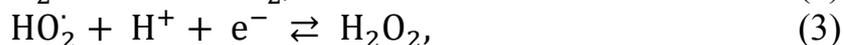
При этом преследуется повышение антиоксидантной активности смеси вследствие синергизма между отдельными компонентами и в конечном итоге

предложение вероятно новые эффективных био-антиоксидантов – индивидуальных соединений и композиций для обеспечения высокой окислительной стабильности липидов в качестве лекарственных средств и пищевых добавок. Приведены основные схемы кинетики липидного автоокисления и предложен комплексный подход к выбору метода исследования антирадикальной и антиоксидантной активности соединений фенольной природы. Предложена «тотальная» кинетика в интервале времени 20 минут, охватывающий процесс взаимодействия исследуемых лигнанов с DPPH[•]. На рис.1. (А-Г) показаны кинетические кривые снижения поглощения и увеличения процента антирадикальной активности в присутствии тестируемых лигнанов, рассчитанный по уравнению:

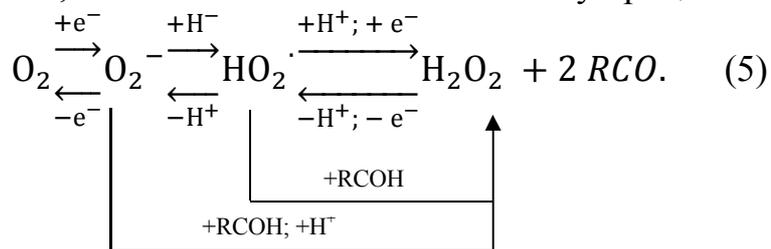
$$\% \text{ RSA} = [\text{Abs}_{(0)} - \text{Abs}_{(t)} / \text{Abs}_{(0)}] \times 100\%$$

Выявлено, что когда значения энтальпии отщепления атома водорода от фенольной группы испытуемых соединений выше, чем токоферола, синергизм наблюдается в двойных смесях в большинстве случаев и антагонизм, когда он ниже.

Кроме того, рассмотрено влияние, оказываемое антиоксидантами на восстановления кислорода в живой клетке на примере процессов электровосстановления кислорода (ЭВ O₂) на электродах в электрохимической ячейке при определении антиоксидантной активности электрохимическими методами. В основном, на электродах генерируются такие активные формы кислорода (АКФ), как супероксид анион и гидропероксид. Для электродного процесса АКФ на электроде образуются по схеме



На некоторых электродах (например, ртутно-платиновый) стадии схемы можно разделить и рассматривать отдельно. Те антиоксиданты (АО), которые взаимодействуют с АКФ, оказывают влияние на кинетику процесса:



Выявлено, что разные типы антиоксидантов по-разному влияют на этот процесс. Так, в присутствии антиоксидантов-ферментов: каталаза, супер оксид дисмутаза, редуктаза, а также гуминовых кислот происходит увеличение тока электровосстановления и сдвиг потенциала в отрицательную область, сперва протекает электродная, а затем химическая стадии процесса с диспропорционированием продуктов реакции и регенерацией кислорода. В присутствии стандартных антиоксидантов

(витамины, коэнзим, флавоноиды и экстракты растений) происходит уменьшение тока и сдвиг потенциала в область положительных значений; сперва протекает электродная, а затем химическая стадии процесса и последующее взаимодействие АО с АКФ (рис. 2).

В присутствии селен и азотсодержащих АО происходит уменьшение тока и увеличение перенапряжения процесса. После соответственно химической и электродной стадий процесса происходит реакция взаимодействия АО с кислородом и его продуктами восстановления.

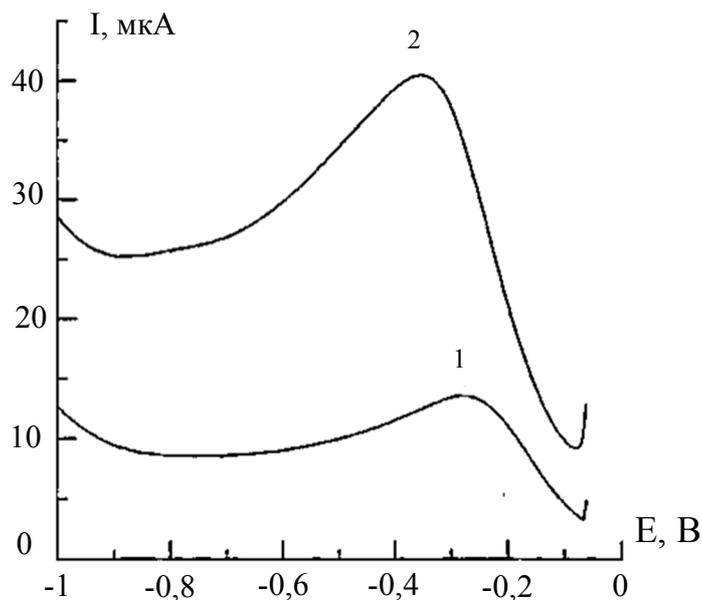


Рисунок 2. Вольтамперограмма тока ЭВ O_2 в фосфатном буфере в присутствии аскорбиновой кислоты ($C = 1 \times 10^{-5}$ г/мл) при: (1) $W=30$ мВ/с, (2) $W=300$ мВ/с.

Рассмотрена приборная реализация электрохимических методов, в частности, предложен способ оценки суммарной антиоксидантной активности, включающий электрохимическое окисление анализируемого и стандартного веществ. В качестве модельной использовалась реакция ЭВ O_2 на рабочем серебряном электроде в стандартной трехэлектродной электрохимической ячейке с использованием серийных операционных усилителей и микроконтроллера (например, Atmega8), используемого в радиотехнических схемах.

Значения суммарной антиоксидантной активности, полученные для ряда продуктов, приведены в таблице 1.

Предложенный способ оценки АОА позволил эффективно оценивать суммарную антиоксидантную активность продуктов с упрощением приборной реализации и использованием безопасных материалов, повышая экспрессность определения и не требуя пробоподготовки.

Таблица 1.

Значения суммарной антиоксидантной активности

Наименование	ССАО, % от АК
Сок яблока	17
Сок черной смородины	52
Сок свеклы	31
Сок помидора	21
Сок моркови	10
Черный чай листовой Darjeeling	72
Зеленый чай листовой Greenfield	85
Зеленый чай в пакетиках	13

В третьей главе диссертации «**Приборная реализация оптических методов определения антиоксидантной активности продукции**» рассмотрены основные фотофизические процессы с участием возбужденных молекул люминофоров и кислорода и осуществлена приборная реализация устройства для определения АОА по концентрации кислорода. Проанализированы существующие анализаторы и предложено устройство, аппаратная часть которого содержит импульсный блок питания, источник излучения, два светофильтра, чувствительный элемент, специальную камеру-кювету с реакционной смесью, фотоприемник, два усилителя постоянного тока, два аналогово-цифровых преобразователя, схему сравнения, микропроцессор и устройство отображения информации.

Указанная совокупность средств за счет использования реакционной смеси и чувствительного к кислороду люминесцирующего элемента, выполненного в виде пластины из адсорбата германия, и красителя акрифлавина в качестве активатора люминесценции позволила достигнуть универсальности работы устройства, обусловленной обеспечением высокой точности количественного определения АОА образца. Достижение технического результата обеспечивается тем, что чувствительный к кислороду люминесцирующий элемент выполнен в виде пластины, из адсорбатов германия с введенным в него люминофором, где в качестве красителя используется акрифлавин с высоким квантовым выходом люминесценции.

Накладывание временных диаграмм друг на друга и разделение на временную последовательность позволяет измерить амплитуду люминесценции в различных временных интервалах, что, в свою очередь, провоцирует ослабление (или полное исключение) таких внешних возмущающих факторов, как шумы в работе схемы сравнения, изменения в параметрах источника излучения. Все это позволяет определять время затухания люминесценции, а через интенсивность выявить концентрацию окислившегося кислорода, характеризующую антиоксидантную активность образца.

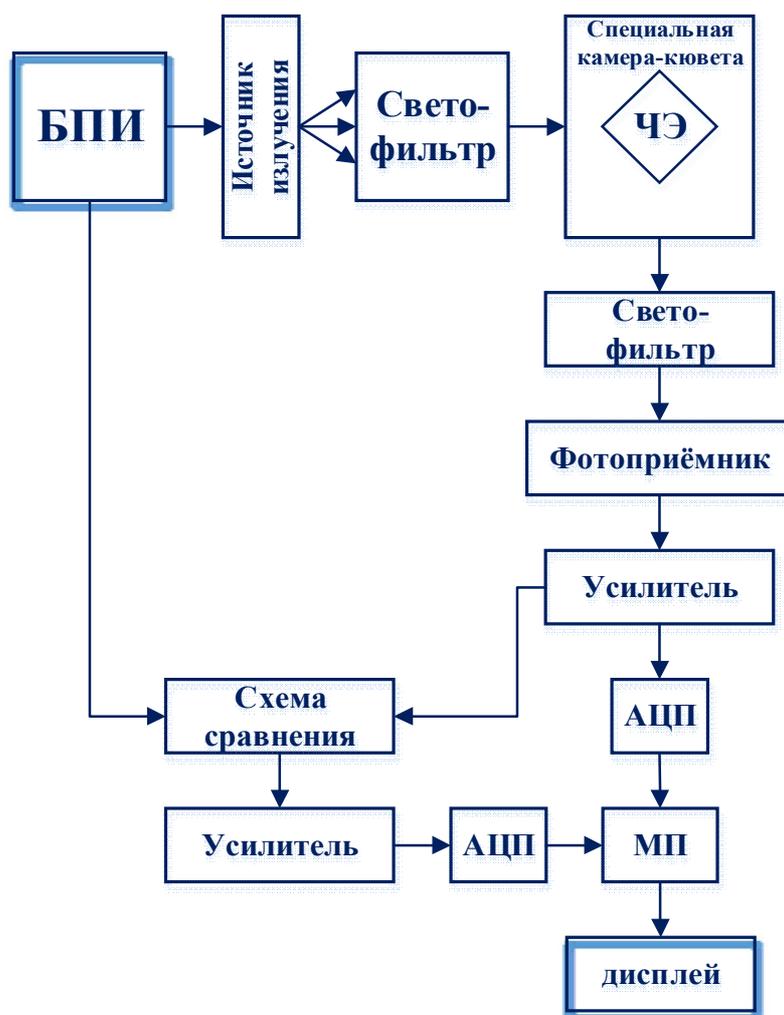


Рисунок 3. Схема устройства для определения АОА по свечению люминесценции

Все это порождает увеличение полезного сигнала люминесценции, которое в значительной степени улучшает отношение полезного сигнала к шуму и повышает восприимчивость малых концентраций окислившегося кислорода. Выявление времени затухания люминесцентного сигнала и изменений его интенсивности основывается на значениях интенсивности люминесцентного сигнала, что и обуславливает повышение стабильности измерений.

Для оценки АОА продуктов принято использование энергетического интегрального показателя, т.е. отношение интегральных интенсивностей люминесценции в отсутствии и в присутствии кислорода:

$$\% = 100 \left(1 - \frac{I}{I_0} \right) = 100 \left(1 - \frac{1}{1 + X} \right),$$

Четвертая глава диссертации «**Применение методов моделирования и оптимизации в определении антиоксидантной активности**» посвящена обсуждению результатов реализации и разработок диссертации.

Используя метод центрального ортогонального композиционного плана, были получены уравнения регрессии для ряда флавоноидов

$$\begin{aligned}
\text{Рутин:} & \quad y=0.0699+0.0212x_1-0.0112x_2+0.0078x_1^2 \\
\text{Кверцетин:} & \quad y=0.1504-0.0373x_2-0.0112x_1x_2-0.0731x_1^2+0.0250x_2^2 \\
\text{Дигидрокверцетин:} & \quad y=0.0859-0.029x_1-0.0134x_2-0.0116x_1x_2+0.125x_1^2 \\
\text{Катехин:} & \quad y=0.0275+0.0083x_1+0.0090x_2+0.0030x_1x_2-0.0104x_1^2-0.0144x_2^2
\end{aligned} \quad (12)$$

Были определены: оптимальные интервалы концентраций, время активного действия, а также антиоксидантная активность образцов по отношению к процессу ЭВ O_2 при эффективных значениях концентрации и времени взаимодействия ($p=0.95$, $n=5$). (таблица 2).

Таблица 2.

АОА образцов по отношению к процессу ЭВ O_2 при эффективных значениях концентрации и времени взаимодействия ($p=0.95$, $n=5$)

Флавоноид	$C_{эф.} \cdot 10^6$, моль/л	$T_{эф.}$, мин	k , мкмоль/(л мин)
Рутин	0.820.04	40	0.120.09
Катехин	1.400.06	20	0.230.05
Кверцетин	1.550.04	45	0.270.03
Дигидрокверцетин	3.200.03	30	0.140.06

Проверка значимости коэффициентов моделей подтвердила гипотезу о значимости коэффициентов рассматриваемых факторов (концентрации (x_1) и времени активного действия (x_2)). Полученные модели второго порядка адекватны. Коэффициенты эффектов (концентрации, времени активного действия и их взаимодействия) значимы в различной степени для исследуемых веществ. На основании проведенных исследований и расчетов можно сказать, что наиболее важную роль вносят линейные коэффициенты времени и квадратичные концентрации.

В результате исследования электрохимических свойств ряда флавоноидов методом циклической вольтамперометрии определены потенциалы окисления-восстановления веществ, которые увеличиваются в ряду: кверцетин-катехин-дигидрокверцетин-рутин. При сравнении теоретических и экспериментальных вольтамперограмм адекватность полученных моделей оценивали по коэффициенту детерминации — D , рассчитываемому по разности точек на теоретической и экспериментальной кривых:

$$D=1-\frac{\sum_{i=1}^N (y_{\text{exp}}-y_{\text{teor}})^2}{\sum_{i=1}^N (y_{\text{exp}}-y_{\text{teor}})^2 + \sum_{i=1}^N (\bar{y}_{\text{exp}}-y_{\text{teor}})^2},$$

где y_{exp} — значение функции отклика в N -й точке на экспериментальной кривой, y_{teor} — значение функции отклика в N -й точке на теоретически

полученной кривой, N – количество точек на рассматриваемых кривых.

В работе также получены модель процессв экстрагирования красного красителя мальвидина из виноградных выжимок с участием АО с применением специального оптимизационного диссоциативно-шагового метода решения регрессионных уравнений. Использовался непрерывный Д-оптимальный план Коно.

Математическое описание процесса экстрагирования красного красителя мальвидина из виноградных выжимок

$$\hat{y}(x, b) = 14,00 + 24x_1 + 0,65x_2 + 2,40x_3 - 0,90x_2x_3 - 1,28x_2^2 + 1,02x_3^2$$

(где x_1 – температура, x_2 – соотношение твердое тело: жидкость (Т:Ж) в экстракторе, x_3 – продолжительность процесса, y – содержание красного красителя в экстракторе) было использовано для статической оптимизации исследуемого процесса.

Для частного случая многофакторных экспериментально-статистических моделей в виде полиномов второй степени при условии, что область экспериментирования представляет собой гиперкуб, разработан, названный диссоциативно-шаговым методом оптимизации (ДШМ), позволяющий последовательно анализировать технологические решения по каждому из n – факторов.

Задача оптимизации процесса экстрагирования мальвидина из виноградных выжимок формализуется следующим образом: необходимо найти такие значения входных регулируемых параметров x_1, x_2 и x_3 , при которых $y(x, b)$ принимало бы максимальное значение – при условии, что входные величины удовлетворяют следующим ограничениям:

$$-1,215 \leq x_i \leq +1,125; \quad i = 1, 2, 3.$$

Оптимизация проводилась по уравнению:

$$y(x, b) = 9,460 + 1,020x_1 + 0,543x_2 + 1,975x_3 - 0,900x_1x_3 - 1,280x_2^2 + 1,020x_3^2,$$

где $x_i = -\frac{x_i}{1,25}, -1 \leq x_i \leq +1$.

В процессе оптимизации при $x_{1\text{опт}} = +1, x_{3\text{опт}} = +1$, получено

$$y(x, b) = 12,595 + 0,543x_2 - 1,28x_2^2,$$

Экстремум по x_2 представляется в точке

$$x_{2\text{ext}} = -\frac{b_2}{2b_{22}} = 0,209,$$

причем

$$y_{\text{ext}} = y(x_{2\text{ext}}) = b_0 - \frac{b_2^2}{4b_{22}} = 12,651.$$

Найденные значения оптимальных параметров процесса: $x_{1\text{опт}} = 1,215$; $x_{2\text{опт}} = 0,254$; $x_{3\text{опт}} = 1,215$; $y_{\text{ext}} = 18,2$. Экспериментальная проверка найденных расчетным путем оптимальных решений дала выход в экстракт

мальвидина 18%.

Кроме того, был проведен сравнительный анализ спектрофотометрического и вольтамперометрического методов определения антиоксидантной активности для ряда флавоноидов, данные которого приведены в таблице 3.

Как видно из представленных данных, численного совпадения результатов определения нет, что было ожидаемо, поскольку модельные реакции методов различны. Однако можно говорить о корреляции результатов, полученных СФМ и вольтамперометрическими методами. Также установлено, что результаты определений активности биологически активных веществ, полученные методом вольтамперометрии, достаточно хорошо коррелируют с данными, полученными другими методами и разными операторами в разных лабораториях.

Таблица 3.

Значения критерия $1C_{50}$, определенные спектрофотометрическим и вольтамперометрическими методами, для ряда флавоноидов ($p=0.75$, $n=5$)

Название вещества	Спектрофотометрический метод, $1C_{50} \times 10^2$ (М)	Вольтамперометрический метод, $1C_{50} \times 10^2$ (М)
Рутин	0.13±0.02	0.82±0.04
Дигидрокверцетин	0.53 ±0.04	1.03 ±0.05
Бензойная кислота	0.55 ±0.03	4.19±0.05
Аскорбиновая кислота	0.72±0.03	4.87±0.03
Кверцетин	1.17±0.02	5.89±0.03
Катехин	3.92±0.04	8.22±0.04

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В контексте изыскания новых эффективных и совершенствования существующих технических средств измерения суммарной АОА продуктов выявлено влияние, оказываемое антиоксидантами на восстановления кислорода в живой клетке на примере процессов электровосстановления кислорода на электродах в электрохимической ячейке при определении антиоксидантной активности электрохимическими методами, что позволило судить о природе антиоксидантов, присутствующих в продуктах.

2. Предложен способ оценки суммарной АОА, включающий электрохимическое окисление анализируемого и стандартного веществ, использующий в качестве модельной реакции ЭВ O_2 на рабочем серебряном электроде в трехэлектродной электрохимической ячейке в стандартном фосфатном буфере с регистрацией вольтамперограмм, осуществляемой в классическом или дифференциальном режиме измерения, что позволило, используя стандартные устройства и реагенты, определять качество продукции по показателю антиоксидантной активности.

3. Осуществлена приборная реализация оптических методов определения АОА продукции; проанализированы основные фотофизические процессы измерительного преобразования с участием возбужденных молекул люминофоров и кислорода; предложено оригинальное устройство для количественного АОА по концентрации кислорода в образце по формуле Штерна-Фольмера, что позволило на основе антиоксидантной активности объектов сертифицировать продукцию химической, пищевой, фармацевтической и косметической промышленности.

4. Построены модели процессов измерительного преобразования АОА фенольной группы флавоноидов и при решении задачи оптимизации найдены экстремальные значения параметров, влияющих на процесс, что позволило судить о степени влияния концентрации и времени активного действия антиоксидантов.

5. С помощью метода циклической вольтамперометрии выявлены окислительно-восстановительные потенциалы флавоноидов, что позволило использовать сигналы токов при их количественном определении.

6. Обоснован простой и безопасный способ оценки АОА продуктов питания, напитков, а также БАДов к пище и синтезировано устройство для определения АОА по результатам измерения концентрации O_2 с использованием хемилюминесцентной реакции, что позволило усовершенствовать существующие методики определения суммарной АОА продукции.

7. Предложены критерии оценки антиоксидантной активности веществ по концентрационному (ёмкостному), интегральному показателей и кинетическому критериям, что позволило оценить АОА продуктов при определении различных параметров.

8. Выявлены потенциалы большой группы веществ растительного происхождения, что позволило судить о возможности использования сигналов токов этих флавоноидов в методах достоверного определения их количества и приборной реализации.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.27.06.2017.T.03.02
ON THE ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SHAMSUTDINOVA VINERA KHAFIZOVNA

**METHODS AND ANALYZERS OF TOTAL ANTIOXIDANT ACTIVITY
OF PRODUCTS**

05.03.01 – Devices. Methods of measurement and control (by industry)

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

Tashkent – 2019

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number B2017.3.PhD/T364.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

The Abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Gulyamov Shukhrat Manapovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Ismatullaev Pathulla Rakhmatovich**
doctor of technical sciences, professor

Nazarov Abdulaziz Muminovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization: **Tashkent Institute of Chemical Technology**

Defense of dissertation will take place in «9» _12_ 2019 at 12.00 o'clock at a meeting of the scientific council DSc.27.06.2017.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-46-00; fax: (+99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University (registration number 123). Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation sent out on «26» ___11___ 2019 year.
(mailing report № 22, on «9» __11__ 2019 year).

N.R. Yusupbekov
Chairman of the Scientific council,
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

U.F. Mamirov
Scientific Secretary of the Scientific council,
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy (PhD) in technical sciences

Kh.Z. Igamberdiyev
Chairman of the Academic seminar under the
Scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is to improve the well-known methods and instruments for determining the total antioxidant activity of products of natural and artificial origin based on the study of the laws of the process of oxygen electro reduction, as well as photo physical processes involving excited phosphor and oxygen molecules.

The object of the research work are the processes of measuring conversion of antioxidant activity of products.

Scientific novelty of the research work is as follows:

development of methods for measuring the total antioxidant activity of plant-derived products under conditions of oxygen electro reduction;

development of a method for evaluating the total antioxidant activity, including electrochemical oxidation of the analyzed and standard substances, using the electro oxygen reduction as a model reaction on a working silver electrode in a three-electrode electrochemical cell in a standard phosphate buffer (pH = 6.23) with registration of voltamperograms in the classical or differential measurement mode;

substantiated criteria for assessing the total antioxidant activity of objects of plant and synthetic origin;

modeling and optimization of measurement conversion processes of total antioxidant activity of substances of plant and artificial origin;

instrumental implementation of optical methods for determining antioxidant activity products, analysis of photo physical processes of measurement conversion involving excited phosphor and oxygen molecules, and the synthesis of a high-precision device for the quantitative determination of antioxidant activity by the concentration of oxygen in a sample using the Stern-Folmer formula.

Implementation of the research results. Based on the results obtained by methods and analyzers of the total antioxidant activity of the products:

improvement of methods for measuring the total antioxidant activity of plant products has been accepted for use in the activities of the Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Chirchik Center for Testing and Certification” (UZSTANDART Agency reference No. 01/5453 dated November 4, 2019), which made it possible to fill in the missing data on the influence of a number of significant factors on the antioxidant properties of the products and to replenish the database and knowledge with information on the total antioxidant activity STI substances with new data;

A method for quantitative assessment of the antioxidant activity of food, alcoholic and non-alcoholic drinks, as well as biologically active food supplements passed pilot industrial tests and was accepted for use in the activities of the Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Chirchik Testing and Certification Center ” (UZSTANDART Agency reference No. 01/5453 dated November 4, 2019), which allowed, using standard devices and reagents, to determine the quality of products by the antioxidant index hydrochloric activity;

A device for determining antioxidant activity by measuring the concentration of oxygen in liquid media using a chemiluminescent reaction passed pilot tests and was introduced into the activities of the Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Chirchik Center for Testing and Certification” (UZSTANDART Agency reference No. 01/5453 dated November 4, 2019), which allowed the certification of chemical, food, pharmaceutical products on the basis of the antioxidant activity of the facilities and cosmetics industry

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of used literature and applications. The total volume of the dissertation is 108 pages of typewritten text.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Жоров С.В., Шамсутдинова В.Х. Виртуальный мониторинг технологических процессов и производств // Вестник ТашГТУ, 2014 (05.00.00 № 16).

2. Шамсутдинова В.Х. Исследование электрохимических свойств веществ и методика определения антиоксидантной активности образцов // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление», №2, Ташкент, 2015, –С. 18-21 (05.00.00 № 12).

3. Гулямов Ш.М., Шамсутдинова В.Х. Результаты анализа методов определения суммарной активности антиоксидантов в объектах природного и искусственного происхождения // Вестник ТашГТУ, Специальный выпуск, 2016, –С. 31-35 (05.00.00 № 16).

4. Shamsutdinova V.Kh. Electrochemical method of measuring the antioxidant activity of compounds of phenol nature // International Scientific and Technical Journal «Chemical technology. Control and management», Tashkent, 2018, №4-5, -PP. 161-164 (05.00.00; №12).

5. Шамсутдинова В.Х. Методы исследования антиоксидантной активности чая // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление», Ташкент, №1 (85), 2019, –С. 49-57 (05.00.00 № 12).

6. Шамсутдинова В.Х., Абдукамилов Ж. К разработке устройства на основе люминесцентного чувствительного элемента для определения антиоксидантной активности по концентрации кислорода // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление», Ташкент, №3 (87), 2019, –С. 49-57 (05.00.00 № 12)

II бўлим (Часть II; Part II)

7. Abdullaeva B.A., Irgasheva G.R., Toshpulatova F.I., Tuychieva S.T., Shamsutdinova V.Kh. Comparative analysis of spectrophotometric and voltammetric methods for the determination of antioxidant activity / Proceedings of Eighth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. WCIS-2012, November 25-27, 2012, Tashkent, -PP. 361-365.

8. Abdullaeva B.A., Irgasheva G.R., Toshpulatova F.I., Tuychieva S.T., Shamsutdinova V.Kh. Research of Laws of Process of Oxygen Electro reduction in Conditions Steady-State and Unsteady-State Diffusion / International Scientific "European Science and Technology" Germany, Munich, 2012, -PP. 67-70.

9. Иргашева Г.Р., Шамсутдинова В.Х., Оценка оптимальной концентрации и времени активного действия антиоксидантов фенольной природы / Ишлаб чиқаришдаги машиналар ва механик жихозлар инновацион

технологиялари, ютуқ ва вазифалар» Республика илмий ва илмий-техник анжумани материаллари, Фарғона, 2013 йил 17 апрель, 2013, 30-32 б.

10. Иргашева Г.Р., Шамсутдинова В.Х., Хасанов И.Р. Анализ методов определения антиоксидантов и антиоксидантной активности продуктов растительного происхождения / «Ишлаб чиқариш ва олий таълимда инновациялар ва инновацион технологиялар» республика илмий-амалий конференцияси материаллари (2-қисм), Андижон, 2013 йил 16-17 май, 226-228 б.

11. Абдуллаева Б.А., Иргашева Г.Р., Васильева С.В., Шамсутдинова В.Х., Туйчиева С.Т. Применение методов ортогонального композиционного планирования экспериментов к оптимизации процесса выделения красного красителя из виноградных выжимок / Материалы Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие, экологически безвредные композиционные материалы», Ташкент, 19-21 сентября 2013 г., – С. 290-292.

12. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Bystrov D.V., Irgasheva G.R., Shamsutdinova V.Kh. Basic Properties, Classification and Distribution of Compounds Phenolic Nature / International Scientific Conference “UNITECH 2013”, Gabrovo, –PP. 329-333.

13. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Каландаров П.И., Иргашева Г.Р., Шамсутдинова В.Х.. Методы определения суммарной активности антиоксидантов в объектах природного и искусственного происхождения // Международный сборник научных трудов “Электротехнические системы и комплексы”, Выпуск 21, Магнитогорск, 2013, –С. 310-315.

14. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Shamsutdinova V.Kh., Aytbaev J.A., Irgasheva G.R., Determination of the Optimal Conditions of the Process of Measuring Conversion Antioxidant Activity Foods and Beverages from Plant Material by Cyclic Voltammetry /Сборник трудов международной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики информационных технологий – Аль-Хорезми», т.1. Самарканд, 2014, –С. 61-64.

15. Шамсутдинова В.Х., Темербекова Б.М., Иргашева Г.Р., Айтбаев Ж.А. Оптимизация процесса электровосстановления кислорода в присутствии антиоксидантов / Материалы Республиканской научной конференции «Перспективы науки и производства химической технологии в Узбекистане», Навои. 22 мая 2014 г., –С. 48-54.

16. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Ataullayev A.O., Shamsutdinova V.Kh. Synthesis of the Servo System with the Wave Channels // Journal of the Technical University of Gabrovo, Vol. 51, 2015, –PP. 48-52.

17. Гулямов Ш.М., Шамсутдинова В.Х., Айтбаев Ж.А. Механизм амперометрического детектирования при измерении антиоксидантной активности продуктов и напитков из растительного сырья / Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясида ахборот-коммуникация технологияларини

қўллашнинг ҳозирги замон масалалари. Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами 3-қисм. Нукус, 2015, 191-195 б.

18. Шамсутдинова В.Х. Моделирование и оптимизация процесса экстрагирования мальвидина из виноградных выжимок / Сборник научных трудов V-ой Международной научно-практической конференции «Инновации, качество и сервис в технике и технологиях», Курск, 2015, –С. 345-34.

19. Samadov E.E., Shamsutdinova V.Kh. Amperometric Method of Measurement of Concentration of Antioxidants in Vegetable Raw Materials / Сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции «Технологии производства пищевых продуктов питания и экспертиза товаров» Курск, 6 апреля 2017 г., –С. 7-10.

Автореферат «Техника фанлари ва инновация» илмий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими: 60x84 ¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма №66.

Гувоҳнома №10-3719
«Тошкент кимё-технология институти» босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.