

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.04.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ПОНАСЕНКО АНДРЕЙ СВЯТОСЛАВОВИЧ

**ҚОВОҚНИ КОНВЕКТИВ ҚУРИТИШ ЖАРАЁНИ ВА ҚУРИЛМАСИНИ
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**02.00.16 - Кимё технологияси ва озиқ-овқат ишлаб чиқариш жараёнлари ва
аппаратлари (техника фанлари)**

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

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата диссертации доктори философии (PhD)
Contents of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Понасенко Андрей Святославович

Қовоқни конвектив қуритиш жараёни ва қурилмасини такомиллаштириш3

Понасенко Андрей Святославович

Совершенствование конвективной установки и процесса сушки тыквы21

Panasenka Andrei

Improving convective equipment and pumpkin drying process39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....42

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.04.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ПОНАСЕНКО АНДРЕЙ СВЯТОСЛАВОВИЧ

**ҚОВОҚНИ КОНВЕКТИВ ҚУРИТИШ ЖАРАЁНИ ВА ҚУРИЛМАСИНИ
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**02.00.16 - Кимё технологияси ва озик-овқат ишлаб чиқариш жараёнлари ва
аппаратлари (техника фанлари)**

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2023.3.PhD/Т3840 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Сафаров Жасур Эсирганович

техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Маннанов Улугбек Васикович

техника фанлари доктори, профессор

Курбанов Жамшед Мажидович

техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Фаргона политехника институти

Диссертация ҳимояси Тошкент кимё-технология институти ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.04.01 рақамли Илмий кенгашнинг «12 03» 2024 йил соат «17:00» даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100011, Тошкент шаҳар, Шайхонтохур тумани, А.Навоий кўчаси, 32-уй. Тел.: (99871) 244-79-20, факс: (99871) 244-79-17; e-mail: tkti_info@edu.uz. Тошкент кимё-технология институти Маъмурий биноси, 2-қават, анжуманлар зали).

Диссертация билан Тошкент кимё-технология институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин 772 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100011, Тошкент ш., Шайхонтохур тумани, А.Навоий кўчаси 32-уй. Тел.: (99871) 244-79-20).

Диссертация автореферати 2024 йил «2» 03 кун тарқатилди.
(2024 йил «2» 03 даги №412 рақамли реестр баённомаси).



С.М.Туробжонов

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

Х.И.Қодиров

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, к.ф.д., доцент

К.П.Серкаев

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

КИРИШ (фалсафа доктори(PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Дунёда глобал миқёсда кузатилаётган экологик ўзгаришлар қишлоқ хўжалиги маҳсулотлари сифати ва ҳажмига салбий таъсир кўрсатмоқда. Дунё аҳолисининг тобора ортиб бориши мос равишда озиқ-овқат маҳсулотларига бўлган талабнинг кескин ошишига олиб келмоқда. Шу аснода озиқ-овқат маҳсулотларини қуритишнинг техник воситалари ва технологияларини такомиллаштириш орқали юқори сифатли ҳамда функционал маҳсулот олишга қаратилган қуритиш усулларини ишлаб чиқиш катта аҳамиятга эга ҳисобланади.

Жаҳонда иссиқлик оқимидан фойдаланган ҳолда қуритиш техникаси ва технологиясини оптималлаштириш устида бутун дунё бўйлаб кўплаб илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, энергия тежамкор қуритиш қурилмасини ишлаб чиқиш, маҳсулот таркибидаги биофаол моддаларни сақлаган ҳолда қуритиш жараёнларини математик моделлаштириш, хомашёни қуритиш усулларини ўрганиш орқали юқори сифатли маҳсулот олиш, маҳсулотларнинг иссиқликка таъсирчанлигини ҳисобга оладиган иссиқлик алмашилиш жараёнларига алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини етиштириш ва қайта ишлаш саноатини самарали ривожлантириш, қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини сифатли қайта ишлаш, импорт ўрнини босувчи озиқ-овқат ва фармацевтик маҳсулотларини ишлаб чиқаришга алоҳида эътибор қаратилиб, муайян илмий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «Ўзилмавий ислоҳотларни янада чуқурлаштириш ва қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қайта ишлаш қувватларини изчил ривожлантириш, мамлакатнинг озиқ-овқат хавфсизлигини янада мустаҳкамлаш, экологик тоза ҳамда сифатли маҳсулотлар ишлаб чиқаришни кенгайтириш, қишлоқ хўжалигининг экспорт салоҳиятини сезиларли даражада ошириш» бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, конвектив қуритиш жараёнининг самарадорлиги, қуритиш вақтини қисқартириш ва энергия сарфини камайтириш, диффузия ва иссиқлик ўтказувчанлиги ўртасидаги боғлиқликнинг математик моделларини ўрганиш, қуритиш жараёнида иссиқлик ва намликни ўтказиш, қуритиш ва иссиқлик ўтказувчанлигини ошириш, сифатли қуритилган маҳсулот олиш учун оптималлаштирилган техника ва технологияларни ишлаб чиқаришга жорий этиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022-йил 28-январдаги «2022-2026-йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»¹ги ПФ-60-сонли Фармони, 2019-йил 23-октябрдаги «2020-2030-йилларда Ўзбекистон Республикаси Қишлоқ хўжалигини ривожлантириш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида»ги ПҚ-5853-сонли қарори, 2019-йил 29-июлдаги «Қишлоқ хўжалигини чуқур қайта ишлашга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги ПҚ-4406-сонли қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти натижалари муайян даражада хизмат қилади.

¹Ш.М.Мирзиёев Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022-йил 28-январдаги “2022-2026-йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги ПФ-60-сонли Фармони.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг V. “Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш” устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси: Адабиётларни ўрганиш натижалари шуни кўрсатадики, олимлар қишлоқ хўжалиги маҳсулотлари шу жумладан қовоқни қуритиш қурилмалари ва қуритиш жараёнини моделлаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар қуйидаги хорижий олимлар томонидан олиб борилган: Г.А.Химич, И.В.Ерин, С.Б.Попова, А.Я.Хлебородов, И.Б.Развязная, Л.Хлеборобов, А.С.Данилюк, Р.М.П.Гутиеррез, С.А.Соле, А.Жунгбауер, К.Сасилик, И.Доймаз, А.Мидилли, М.Ж.Барросалар, А.В.Лыков, А.С.Гинзбург, В.В.Кафаров, Б.С.Сажин, П.А.Ребиндер, Б.М.Касымбаев, О.С.Натареев, А.В.Нестеров, П.Д.Лебедев, С.Г.Ильясов, И.Б.Левитин, шунингдек маҳаллий олимлардан: Н.Р.Юсупбеков, З.С.Салимов, А.Ф.Сафаров, Ж.М.Қурбонов, А.А.Ортиқов, Х.С.Нурмухамедов, К.О.Додаев, К.Т.Норқулова, Х.Ф.Жўраев ва бошқалар озик-овқат маҳсулотлари жараёнлари ва жиҳозларини такомиллаштириш бўйича самарали тадқиқотлар олиб бордишган ва самарали технологиялар ишлаб чиқилган.

Шу билан бирга, жаҳон ҳамжамияти олимлари қуритиш технологиялари ва ускуналарини такомиллаштириш, қуритиш технологияларини математик моделлаштириш, маҳсулотлар таркибидаги биофаол моддаларнинг сақлаган ҳолда қуритиш усулларини ишлаб чиқиш бўйича устувор йўналишларда фаол изланишлар олиб бормоқда. Бироқ қовоқ маҳсулотини конвектив қуритиш технологиясида диффузия жараёнини математик моделлаштириш йўли билан энергия тежамкор қуритиш қурилмасини ишлаб чиқиш етарли даражада амалга оширилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълимнинг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот режаларига мувофиқ IL-5421101760 – «Қуритиш технологиясида иссиқлик ва масса алмашинув жараёнини бошқариш орқали озик-овқат ва фармацевтика маҳсулотлари таркибидаги биофаол моддаларни сақлаб қолишнинг назарий усулларини ривожлантириш» (2023-2027 йй.) фундаментал илмий лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади қовоқ маҳсулотини конвектив қуритиш жараёни ва қурилмасини такомиллаштиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

каттик жисмдан сувнинг иссиқ ҳаво оқимларига буғланиши даврида импульс, энергия ва массанинг бир вақтнинг ўзида ўтиш жараёнларини тадқиқ этиш;

қовоқни қуритиш учун мақбул параметрларни аниқлаш ҳамда математик таҳлил ёрдамида қуритиш ҳавосининг тезлиги, ҳарорат ва намликдан фойдаланиб, қуритиш мосламасининг оптимал параметрларини ҳисоблаш;

қовоқни қуритиш жараёнида иссиқлик оқимининг математик моделини ишлаб чиқиш ҳамда турли хил ҳаво оқимининг тезлиги ва ҳароратнинг таъсирини тадқиқ этиш;

қовоқни қуритиш жараёни учун ҳаво оқимининг ҳарорати ва самарали диффузия коэффициентлари параметрларини асослаш ҳамда ҳар бир параметрлар (тезлик, ҳарорат ва намлик) учун қуритиш жараёнини тавсифловчи мақбул моделларни танлаш;

қовоқни юқори сифатли қуритиш учун энергия тежамкор конвектив қуритиш қурилмасини тасмиллаштириш ва тадқиқоти давомида олинган натижаларни саноатга тадбиқ этиш.

Тадқиқот объекти сифатида қовоқ маҳсулотини, «Sunny Land Products» МЧЖдаги мавжуд қуритиш техника ва технологиялари олинган.

Тадқиқотнинг предметини қуритиш жараёнига хос қонуниятлар, конвектив қуритиш қурилмасининг техника ва технологияси, жараёни моделлаштириш, қуритиш тезлиги ва бошқа режим параметрлари ташкил этган.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишини бажаришда мураккаб техник ва технологик тизимларни синтез ва тизимли таҳлил қилиш методологияси, ҳамда кимёвий ва озик-овқат технологиясининг назарий асослари, кимёвий технологиялар ва озик-овқат маҳсулотларини ишлаб чиқариш жараёнлари ва аппаратлари, кимёвий технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни математик моделлаштириш ва оптималлаштириш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

қовоқни қуритиш учун мақбул параметрлар аниқланган ҳамда Мидилли модели бўйича ҳар бир параметр (тезлик, ҳарорат ва намлик) учун қовоқни қуритишнинг оптимал модели ишлаб чиқилган;

самарали диффузия коэффициентини ҳаво ҳарорати 45, 55 ва 65 °С бўлган қийматларда ҳаво оқими тезликлари мос равишда эканлиги аниқланган;

қуритиш ҳарорати 65 °С учун детерминация коэффициентининг қиймати R^2 аниқланган, стандарт хатоликнинг χ^2 қиймати Мидилли моделига мос равишда 0,99, ва 0,0001 қийматлар аниқланган;

назарий ва тажриба тадқиқотларнинг регрессион таҳлилинини намлик миқдори бўйича маҳсулотни қисқариш самарадорлик қийматлари натижасида Мидилли модели мос эканлиги аниқланган;

қуритиш жараёни самарадорлигини ошириш мақсадида муқобил энергиядан фойдаланган ҳолда ишлайдиган энергия тежамкор конвектив қуритиш қурилмаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

қовоқни қуритиш жараёни учун 65 °С ҳароратда энталпия, энтропия ва эксергия самарадорлиги ҳисобланган ҳамда олинган натижалар MatLAB дастури ёрдамида қайта ишланган;

қовоқни қуритиш жараёни учун Мидилли модели бошқа моделлар орасида энг мос модел эканлигини ва тажриба натижаларига энг яқин намлик қийматлари олинган;

қовоқни қуритиш учун мақбул параметрлар қуйидагилар эканлиги аниқланган: қуритиш вақти - 360 минут, қуритиш ҳарорати - 65 °С, ҳаво тезлиги - 1 м/с, геометрик шакли - квадрат, дастлабки намлик - 72%, якуний намлик - 12-14%;

ҳисоблаш натижалари асосида 45, 55 ва 65 °C бўлган турли ҳароратлар учун ўртача қуритиш тезлигига мос равишда 0,0031, 0,004966 ва 0,0061 г сув/г бўлган натижалар аниқланган;

қовоқни сифатли қуритиш самарадорлигини ошириш ҳамда муқобил энергиядан фойдаланган ҳолда ишлайдиган энергия тежамкор конвектив қурилма ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги замонавий усул ва воситалар ёрдамида олиб борилган назарий ҳамда тажриба тадқиқотлар натижалари Windows операцион муҳити ёрдамида замонавий MatLAB, Microsoft Excel дастурлари ёрдамида амалга оширилганлиги, ҳамда лабораторияда олинган натижалар ҳамда ўтказилган тадқиқотлар асосида такомиллаштирилган қуритиш қурилмасининг саноат синовлари натижаларининг ўзаро мутаносиблиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти, моделлаштириш натижаларини ҳисобга олган ҳолда, қуритиш жараёнини тавсифловчи қурилманинг оптимал энергия тежамкор лойиҳаси ишлаб чиқилган бўлиб, унда қовоқни қуритиш жараёнида иссиқлик оқими тенг тақсимланади. Қовоқнинг 65 °C ҳароратда энталпия, энтропия, эксергия ва эксергия самарадорлиги ҳисоблаб чиқилган ва натижалар Matlab дастури ёрдамида қайта ишланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти, қуритиш хусусиятларига турли параметрларнинг таъсири, яъни 0,5, 0,7, 1,0 м/с бўлган уч хил иссиқлик оқими тезликларида турли 45, 55 ва 65 °C ҳароратларда қуритишнинг ўртача тезлиги 0,0031, 0,004966 ва 0,0061 г сув/г аниқланганлиги, қуритиш технологияси ва қурилмани такомиллаштирилганлиги, маҳсулотлар таркибининг яхшилаш орқали озиқ-овқат саноатида фойдаланиш учун асос бўлиб хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Қовоқни конвектив қуритиш жараёнини такомиллаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

қовоқни қуритиш учун энергия тежамкор технология “Sunny Land Products” МЧЖда ишлаб чиқаришга жорий этилган (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2023 йил 17 ноябрдаги №17-98/11-23-сон маълумотномаси). Натижада, юқори самарали технологияни қўллаш ҳисобига маҳсулот ишлаб чиқариш 1,1 баробар ошиб, хомашё йўқотилиши 9%га камайтириш имконини берган;

қовоқни қуритиш жараёни учун аниқланган оптимал параметрлар “Sunny Land Products” МЧЖ да ишлаб чиқаришга жорий этилган (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2023 йил 17 ноябрдаги №17-98/11-23-сон маълумотномаси). Натижада, бу юқори самарали усулдан фойдаланган ҳолда яқуний маҳсулотнинг 90-95% биологик фаол моддаларини сақлаш имконини берган;

қовоқни қуритиш учун такомиллаштирилган конвектив қуритиш қурилмаси ва технологияси “Sunny Land Products” МЧЖ да амалиётга жорий этилган (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2023 йил 17 ноябрдаги №17-98/11-23-сон маълумотномаси). Натижада, конвектив усулдан фойдаланган ҳолда юқори самарали энергия тежамкор қуритиш қурилмасининг жорий этилиши ва конструкциянинг мақбул танлови туфайли мавжуд технология ва қурилмаларга нисбатан 1,4 баробар кам энергия сарфлаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 8 та халқаро ва 9 та республика илмий-техник анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 26 та илмий иш, жумладан, 9 та илмий мақола, булардан 3 та халқаро журналларда, 6 та республика журналларида чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва 5 та иловалардан иборат. Диссертациянинг асосий қисми 118 бетни ташкил этиб, унда 43 та расм ва 42 та жадваллар келтирилган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг кириш қисмида мавзунинг долзарблиги, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган, шунингдек, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиясини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига тегишлилиги, ишнинг илмий янгилиги ва амалий натижаларининг ишончлилиги, ҳамда ушбу тадқиқот натижалари ишлаб чиқаришга жорий қилинганлиги тўғрисида маълумотлар келтирилган.

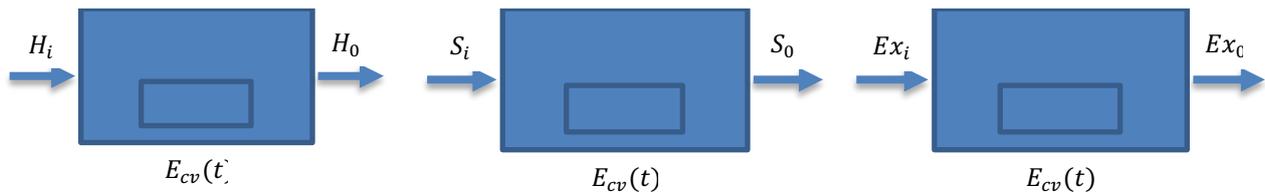
Диссертациянинг **«Қовокни қуритиш учун конвектив қуритиш қурилмасининг ҳолати ва ривожланиш истиқболлари»** номли биринчи бобида маҳаллий хомашё асосида маҳсулот ишлаб чиқаришнинг ҳозирги ҳолати ва ривожлантириш истиқболлари таҳлил қилинган. Мавжуд жараён ва аппаратлар, сифатли қайта ишлаш, қуритиш қурилмасида содир бўладиган жараёнларни математик моделлаштириш, қуритиш қурилмаларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш бўйича илмий адабиётларда таҳлилий шарҳ ўтказилган.

Мамлакат қишлоқ хўжалигида кенг тарқалган қуритиш қурилмаларини ҳозирги кундаги ҳолатини баҳолаган ҳолда, қовокни қуритишнинг саноат усуллариини такомиллаштириш лозим деган хулосага келинди. Ушбу бобда мавжуд материалларни таҳлил қилиш асосида ишнинг асосий мақсадлари ва вазифалари белгиланган.

Диссертация ишининг **«Иссиқ ҳаво оқимида масса мувозанатини тадқиқ қилиш»** номли иккинчи бобида иссиқ ҳаво оқимида масса мувозанатини тадқиқ қилиш орқали олинган натижалари келтирилган.

Ушбу бобда қаттиқ жисмдан сувнинг иссиқ ҳаво оқимларига буғланиши даврида импульс, энергия ва массанинг бир вақтнинг ўзида ўтказилишини ўрганишга қаратилган изланишлар келтирилган. Масса мувозанати, энталпия, энтропия, эксергия ва эксергия самарадорлиги қаттиқ моддадан чиқаётган намликнинг массаси ва оқим тезлиги, умуман олганда, ажраладиган намлик ва ҳавонинг оқим тезлиги конвектив қуритиш жараёнида иссиқ ҳаво оқимидаги намликни ҳисоблаш учун зарур бўлган дастлабки ва якуний маълумотлар сифатида олинди.

Энталпияни ҳисоблаш. Энталпия – иссиқлик динамик жараён бўлиб, унинг ўзгариши иссиқлик динамик тизим томонидан ютилган ёки ажралиб чиқадиган энергия миқдорини, яъни тизимнинг атроф-муҳит билан алмашинадиган энергия миқдорини ифодалайди (1-расм).



1-расм. Энталпия кириши ва чиқиши ифодаланган қурилма схемаси

2-расм. Энтропия кириши ва чиқиши ифодаланган қурилма схемаси

3-расм. Эксергия кириши ва чиқиши ифодаланган қурилма схемаси

Умумий энталпия қуйидаги тенгламалар ёрдамида ҳисобланади:

$$\Delta H = m C_p \Delta T \quad (1)$$

$$\Delta \dot{H} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (2)$$

бу ерда, H - энталпия, $кДж$; \dot{H} - энталпия оқими, $кДж$; C_p - доимий босимдаги солиштирма иссиқлик сифими, $кДж/кг \text{ } ^\circ C$; T -температура, $^\circ C$.

Энтропияни ҳисоблаш. Энтропия – бу мувозанатдаги иссиқлик динамик тизимнинг ҳарорати қўтарилганда ички энергиянинг ошиши учун мувозанатнинг макроҳолатига мос келадиган микроҳолатлар сонини ўлчайдиган физик катталиқдир (2-расм).

Энтропия тенгламалари:

$$\Delta S = m C_p \ln \frac{T_o}{T_i} \quad (3)$$

$$\Delta \dot{S} = \dot{m} C_p \ln \frac{T_o}{T_i}, \quad (4)$$

бу ерда, S - энтропия, $кВт$; m -масса, $кг$; C_p - доимий босимдаги солиштирма иссиқлик сифими, $кДж/кг \text{ } ^\circ C$; \ln - натурал логорифм; T - ҳарорат, $^\circ C$.

Эксергияни ҳисоблаш. Эксергия – бу тизим ва унинг муҳити ўртасидаги ўз-ўзидан ўзаро таъсир қилиш орқали эришиш мумкин бўлган маълум миқдордаги энергиянинг фойдали иш потенциалини аниқлашга имкон берувчи иссиқлик динамик хусусиятидир. Иш манбаи тизимнинг потенциал фойдалилигини билдиради (3-расм).

Эксергияни ҳисоблаш тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$E_x = H - H_0 - T_0(S - S_0), \quad (5)$$

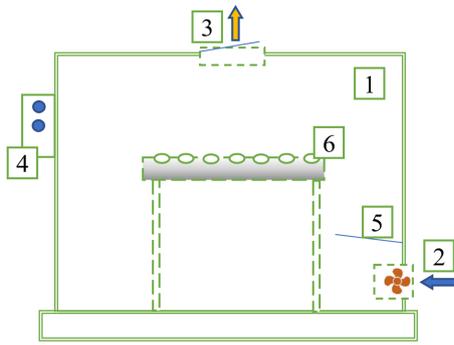
бу ерда, E_x - эксергия, $кВт$; H - энтальпия, $кДж$; S - энтропия, $кВт$; T - ҳарорат, $^\circ C$.

$$\psi = \frac{\dot{m}_{ag_{ev}}*(Ex_{ev}-Ex_{ev_0})}{\dot{m}_{a_i}*Ex_{a_i}} \quad (6)$$

бу ерда, ψ - эксергия самарадорлиги; \dot{m} - масса сарфи, $г/мин$; a - ҳаво; i - кириш.

Ушбу тадқиқотни амалга ошириш учун иссиқ ҳаво оқимини ҳисоблашда қуритиш жараёнларини таҳлил қилишга ҳамда зарур маълумотларни олиш бўйича тажрибалар олиб борилди. Қуйида, қурилманинг хусусиятлари, тадқиқот босқичлари ва унинг тажриба режаси батафсил ёритилган.

Мазкур қурилма тажриба шароитларни назорат қилиш ва маълумотларни йиғиш имконини берувчи конвектив қуритиш қурилмаси бўлиб, 4-расмда схематик тузилиши ифодаланган.

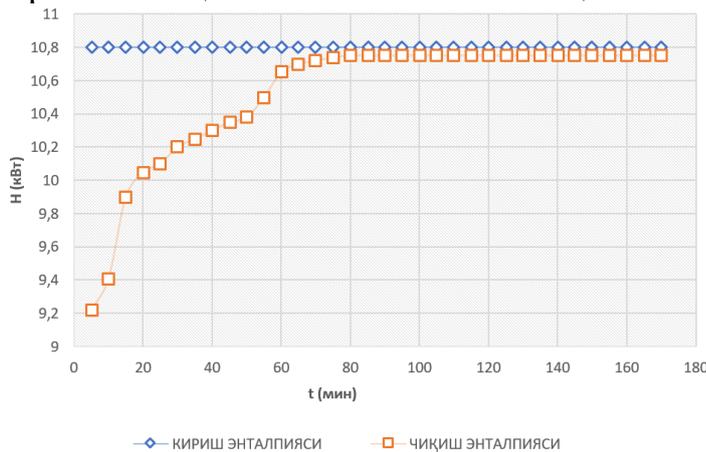


1-камера; 2-ҳаво кириш жойи; 3-ҳаво чиқиш жойи; 4-назорат-ўлчаш асбоблари ва автомат; 5-иссиқлик оқимини йўналтириш мосламаси; 6-маҳсулот.

4-расм. Лаборатория конвектив қуритиш қурилмасининг схемаси.

Тажрибалар натижасида олинган маълумотлар MatLAB дастурида қайта ишланган. Ушбу дастур Excel маълумотларини (намуналар массасининг вақтга боғлиқлиги маълумотлари) импорт қилиш вазифасини бажаради. Тенгламалар ёрдамида қовоқнинг $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ҳароратда энталпия, энтропия, эксергия ва эксергия самарадорлиги ҳисобланган.

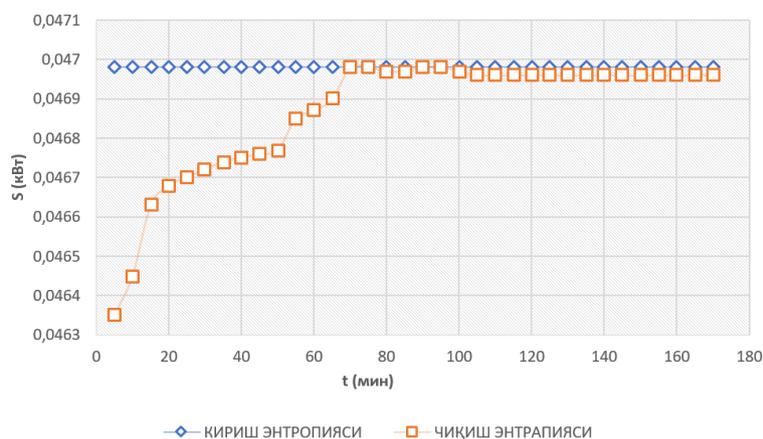
Қовоқ энталпиясининг ўзгариши унинг максимал қийматига эришиш учун зарур бўлган вақтни ва эгри чизиқнинг хусусиятларини аниқлаш учун ўлчанди. Иссиқ ҳаво оқими орқали қаттиқ жисмга ўтказиладиган бу энергия миқдори намликни буғлатиш учун зарур ҳисобланади. 5-расмда мос равишда қовоқ учун кириш ва чиқиш энталпиясининг вақтга боғлиқлиги кўрсатилган.



5-расм. $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ва $1,0\text{ м/с}$ да қовоқнинг H – энталпияси.

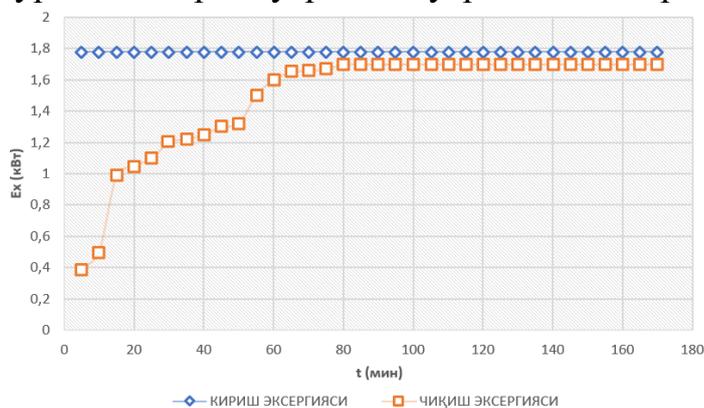
5-расмда ифодаланган графикга кўра қовоқнинг энталпияси вақт ўтиши билан ҳарорат ошишини кўриш мумкин. Мос равишда 75 дақиқа ва 40 дақиқагача бўлган вақт оралиғида қовоқнинг иккала намуналаридаги чиқиш энталпияси кириш қийматига жуда яқин келади ва жараён охиригача доимий бўлиб қолади. Бу нисбат тизимдаги умумий энталпиянинг камайиши ёки бошқача қилиб айтганда, иссиқ ҳаво оқимининг қуритилаётган маҳсулот томон самарали иссиқлик ўтказувчанлигининг пасайиши билан боғлиқ.

6-расмда энтропиянинг вақтга боғлиқлиги ифодаланган бўлиб, бунда унинг ҳаракати вақт бўйича энталпиянинг ўзгаришига ўхшашлигини кўриш мумкин. Жараён ичидаги тартибсизлик даражасини ҳамда фойдали энергияни ўлчаш учун энтропия ҳисобланади. Ушбу қиймат ва энталпия орқали тизимнинг эксергияси ҳисобланади.



6-расм. 65 °C
ҳароратда қовоқнинг
S – энтропияси

Сўнгра, E_x нинг вақтга боғлиқ ўзгариши ҳисоблаб чиқилади. Эксергияни ҳисоблаш вақт ўтиши билан энергия сифатини ва максимал эксергияга (максимал энергия сифати) эришилган моментни кўрсатади. 7-расмдаги кўрсаткичга мос келадиган эксергия ҳисоби (5) тенгламага мувофиқ, қовоқнинг энталпияси учун 5-расмда ва энтропияси учун 6-расмда келтирилган кўрсаткичларга тўғридан-тўғри боғлиқдир.



7-расм. 65 °C ҳароратда вақтга
нисбатан E_x -эксергияси

Диссертация ишининг «Қовоқни қуритиш жараёнини математик моделлаштириш» номли учинчи бобида конвектив усул ёрдамида қовоқни қуритиш жараёнини математик моделлаштириш натижалари келтирилган.

Самарали диффузия коэффициенти цилиндрсимон шакл учун ишлаб чиқилган Фикнинг диффузия қонуни ёрдамида ҳисобланган. Амалдаги ифода доимий диффузия коэффицентини ва диффузия орқали намлик ўтказишини назарда тутди. Самарали диффузия коэффицентини (7) тенглама ёрдамида ҳисоблаш мумкин.

$$W_{\text{бв}} = \frac{W_t - W_e}{W_i - W_e} = \frac{8r^2}{l^2} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \exp\left(-(\lambda_i^2 + \beta_j^2) \frac{D_{\text{эфф}} \cdot t}{r^2}\right) \quad (7)$$

бу ерда, $D_{\text{эфф}}$ - самарали диффузия коэффицентини, m^2/c , r -радиус; l -характерли узунлик, m ; t - қуритиш вақти, c ; λ_i - Бессел функциясининг илдизи.

$$\beta_j = \frac{(2j-1)\pi r}{2l} \quad j = 1, 2, 3 \quad (8)$$

Узоқ муддат қуритиш учун фақат тенгламанинг биринчи қисмидан фойдаланиш мумкин:

$$W_{\text{бв}} = \frac{W_t - W_e}{W_i - W_e} = \frac{32}{\lambda_1^2 \pi^2} \exp\left(-(\lambda_1^2 + \beta_j^2) \frac{D_{\text{эфф}} \cdot t}{r^2}\right) \quad (9)$$

$$\ln(W_{\text{бв}}) = \ln\left(\frac{32}{\lambda_1^2 \pi^2}\right) - \left(-(\lambda_1^2 + \beta_j^2) \frac{D_{\text{эфф}} \cdot t}{r^2}\right) \quad (10)$$

Самарали диффузия коэффициентлари экспериментал тадқиқот натижасида олинган $\ln(W_{\text{бв}})$ ҳамда қуритиш вақтининг эгри чизиғидан олинади. Қиялик қиймати (11) тенгламада кўрсатилганидек, қуритиш вақтига қараб (10) тенгламада берилган $\ln(W_{\text{бв}})$ қийматларининг ўзгариши графиги бўйича ҳисобланади.

$$\text{Қиялик} = \frac{(5.7831 + \beta_1^2 D_{\text{эфф.}})}{r^2} \quad (11)$$

Қиялик усули ёрдамида самарали диффузия коэффициентлари ҳисоблаб чиқилган. Тажрибада турли ҳароратлар учун олинган маълумотларни текшириш ва энг мос моделни танлаш учун турли хил қуритиш моделлари билан таққосланган. Бунинг учун адабиётларда қўлланиладиган юпқа қатламли қуритишнинг 5 хил экспериментал, квазэкспериментал ва назарий моделларидан фойдаланилди. Буларга Льюис модели, Хендерсон ва Папис модели, Икки қисмли модел, Ванг ва Сингх модели ҳамда Мидилли моделлари танлаб олинган (1-жадвал). Статистик ҳисоблар Статистика 6.0 дастури ёрдамида қайта ишланган. Қуритиш коэффициентлари (a , b , k , k_0 , k_1 , n) ва модел ифодаларининг детерминация коэффициенти (R^2), стандарт хато ($CO-C_{co}$) ҳамда хи-квадрати (χ^2) каби статистик параметрлари ҳисоблаб чиқилган.

$$C_{co} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{бвтажриба}} - W_{\text{бвҳисоб}})^2}{N-z}} \quad (12)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{бвтажриба}} - W_{\text{бвҳисоб}})^2}{N-z} \quad (13)$$

бу ерда, $W_{\text{бвтажриба}}$ ва $W_{\text{бвҳисоб}}$ тажрибалар натижасида олинган ва дастур ёрдамида ҳисобланган ўлчамсиз намлик коэффициенти; N -тажрибада вақтга боғлиқ маълумотлар миқдори; z -коэффициентлар сони.

1-жадвал

Қуритиш жараёни моделларининг константалари ва коэффициентлари

№	Модел номлари	Тенглама
1	Льюис	$W = \exp(-kt)$
2	Хендерсон и Папис	$W = a \exp(-kt)$
3	Икки қисмли модель	$W = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$
4	Ванг и Сингх	$W = 1 + at + bt^2$
5	Мидилли	$W = a \exp(-kt^n) + bt$

бу ерда: W -намлик коэффициенти; k , k_0 , k_1 -қуритиш доимийси; b -коэффициентлар; n -қуритиш доимийси.

Натижалар чизикли бўлмаган регрессия таҳлилини ўтказиш орқали солиштирилди. Бунинг учун детерминация коэффициенти (R^2), стандарт хатолик (CO) ва χ^2 ифодаси ҳисоблаб чиқилган. 65 ° C ҳароратда тажриба натижаларига энг яқин қийматлар Мидилли модели асосида олинган. Сўнгра, ҳар бир ҳаво ҳарорати учун самарали диффузия коэффициентлари ҳисобланиб, уларнинг ўзгаришларини ҳароратга боғлиқ ҳолда тасвирланган. Ҳаво ҳароратининг ошиши самарали диффузия коэффициенти учун мақбул параметр эканлиги кузатилди. Назарий таҳлил ва тажриба тадқиқотлардан олинган натижалар таққосланди ҳамда намлик ва ҳарорат қийматлари ўртасида юқори мутаносиблик топилди.



№1-квадрат шакл



№2-тўғрибурчакли шакл



№3-цилиндрик шакл



№4-квадрат шакл



№5-тўғрибурчакли шакл



№6-цилиндрик шакл

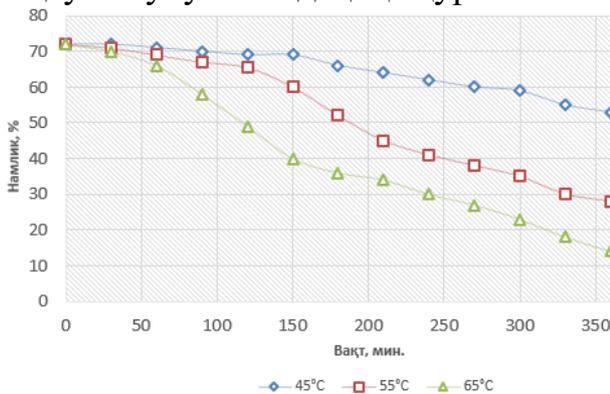
№1, №2, №3 – қуритишдан олдин; №4, №5, №6 – қуритишдан кейин;

8-расм. Турли шаклдаги қовоқ бўлаклари

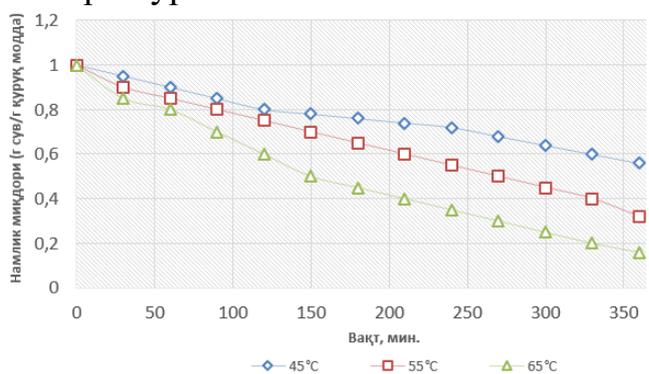
Қуритиш жараёни учун $45 \pm 0,3^\circ\text{C}$, $55 \pm 0,3^\circ\text{C}$ ва $65 \pm 0,3^\circ\text{C}$ ҳароратларда ҳамда 0,5, 0,7, 1,0 м/с бўлган ҳаво тезликларда ўтказилди (8-расм). Аввал қовоқ бўлақларга кесилиб, тагликларга 1 см қалинликларда жойлаштириб чиқилди. Ушбу амал бажарилгандан сўнг таглик қурилмага жойлаштирилди. Тажриба давомида 0,05 г сезгирликдаги рақамли тарозилар ёрдамида маҳсулот массасининг ўзгариши даврий равишда қайд этиб борилди. Тажриба натижалари 3 мартадан такрорланди.

Олинган лаборатория натижаларига кўра қуритиш вақти - 360 минут, қуритиш ҳарорати - 65°C , ҳаво тезлиги - 1 м/с, намуналарнинг квадрат шаклида, бошланғич намлик - 72%, охириги намлик - 12-14% бўлган оптимал параметрларда қуритилган қовоқ таркибидаги калий миқдори 0,93 мг/% ни ташкил қилади.

9-расмда вақтга боғлиқ ҳолда ўлчовсиз намлик коэффицентининг ўзгариши графиги натижалари кўрсатилган. 9а-расмда намлиги 72% бўлган 3 хил маҳсулот учун 360 дақиқа қуритиш натижалари кўрсатилган.



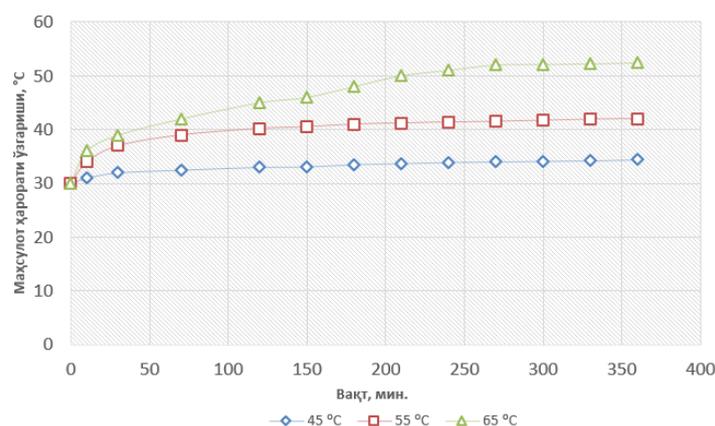
А



Б

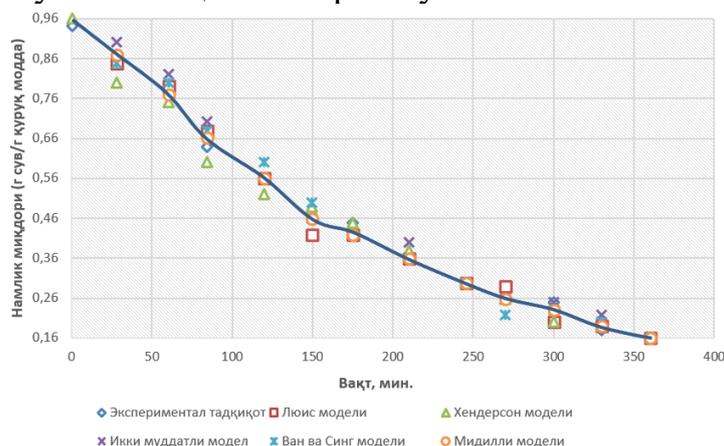
9-расм. Уч хил ҳароратларда қуритиш жараёни: А-намликнинг ўзгариши, %; Б-ўлчовсиз намлик коэффицентини (намлик миқдори)

Тажрибалар ўтказиш давомида қовоқ бўлақлари марказида вақт ўтиши билан ҳароратнинг ўзгариши ўлчаб борилди. Ўлчов натижалари 10-расмда келтирилган.



10-расм. Қовоқ бўлаклари ҳароратининг ўзгариши

11-расмда 45, 55 ва 65 °C ҳароратларда олинган турли моделлар ва тажрибалар учун вақт ўтиши билан ўлчамсиз намлик коэффицентларининг ўзгариши кўрсатилган. Расмда экспериментал маълумотлар эгри чизиғи регрессия таҳлили натижасида энг мос модел бўлган Мидилли моделининг намлик коэффицентининг ўлчамсиз қийматларини ўз ичига олганлигини ифодалайди.



11-расм. Вақтга боғлиқ ҳолда 65 °C ҳароратда турли моделлар ва тажрибалар учун ўлчамсиз намлик коэффицентининг ўзгариши

1-жадвалда келтирилган қуритишнинг турли моделлари учун регрессия таҳлили ўтказилди. Олинган коэффицентлар a , b , k , k_0 , k_1 , n , R^2 , CO ва χ^2 қийматлари 2-жадвалда жамланган.

2-жадвал

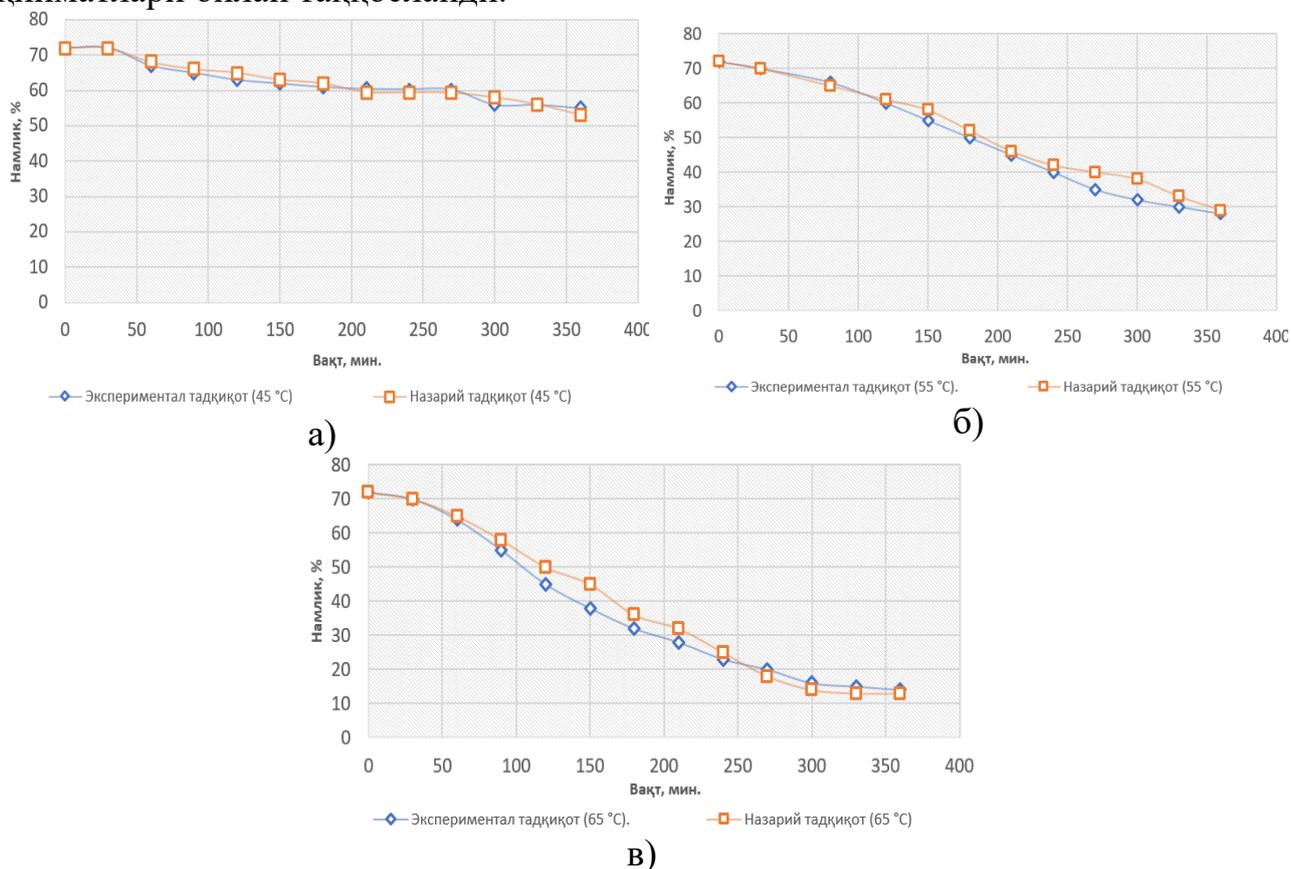
45, 55 ва 65 °C ҳароратлар учун олинган статистик параметрлар ва коэффицентларнинг қийматлари

Модел	45 °C			55 °C			65 °C		
	Константа	ва коэффицентлар		Константа	ва коэффицентлар		Константа	ва коэффицентлар	
	R^2	CO	χ^2	R^2	CO	χ^2	R^2	CO	χ^2
1	0,94	0,0315	0,001	0,98	0,0274	0,0008	0,99	0,0171	0,0003
2	0,97	0,0223	0,0005	0,99	0,0213	0,0005	0,99	0,0137	0,0002
3	0,99	0,0021	0,002	0,99	0,0047	0,006	0,99	0,0084	0,0003
4	0,99	0,0119	0,0001	0,99	0,0160	0,0003	0,99	0,0224	0,0005
5	0,99	0,0029	0,003	0,99	0,0041	0,002	0,99	0,0038	0,0001
1	k=0,0018			k=0,035			k=0,0049		
2	k=0,0016	a=0,95		k=0,0033	a=0,95		k=0,0047	a=0,97	
3	a=0,14	b=0,85		a=0,17	b=0,82		a=0,94	b=0,05	

	$k_0=0,0157$	$k_1=0,0011$	$k_0=0,0162$	$k_1=0,0027$	$k_0=0,0046$	$k_1=0,121$
4	$a=-0,0020$	$b=2,47 \times 10^{-6}$	$a=-0,0033$	$b=4,31 \times 10^{-6}$	$a=-0,0039$	$b=4,82 \times 10^{-6}$
5	$a=1,0$	$b=0,0002$	$a=1,00$	$b=8,07 \times 10^{-6}$	$a=1,0$	$b=0,0003$
	$n=0,77$	$k=0,0071$	$n=0,85$	$k=0,0083$	$n=0,78$	$k=0,0175$

45 °C ҳарорат учун R^2 , CO ва χ^2 қийматлари Мидилли моделида мос равишда 0,99, ва 0,003 деб ҳисобланган. R^2 , CO ва χ^2 қийматлари 55 °C ҳарорат учун Мидилли моделида мос равишда 0,99, ва 0,002 деб ҳисобланган. 65 °C ҳарорат учун R^2 , CO ва χ^2 қийматлари Мидилли моделида мос равишда 0,99, ва 0,0001 деб ҳисобланган. Ушбу натижаларга асосланиб, Мидилли модели бошқа моделлар орасида энг мос модел эканлигини ва тажриба маълумотларга энг яқин ҳисобланган намлик қийматларини беришини айтиш мумкин.

Модель тажрибалар ва рақамли моделлаштиришлар натижасида олинган намлик ҳамда ҳарорат қийматларини солиштириш орқали тасдиқланган. 12-расмда тажриба натижасида олинган намлик кўрсаткичлари қуриштириш ҳавосининг турли ҳароратлари учун таҳлил натижасида олинган ўртача намлик қийматлари билан таққосланди.

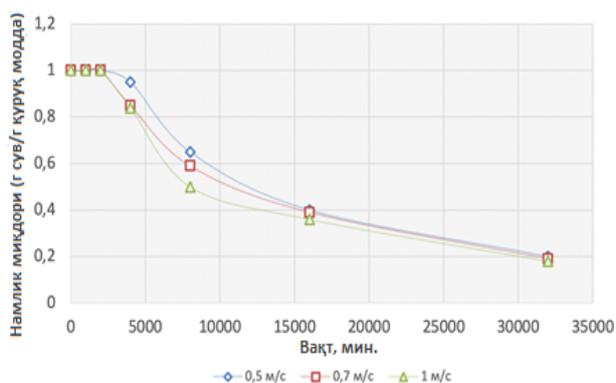


12-расм. Қуриштириш жараёнида маҳсулот намлигининг вақтга боғлиқ ҳолда ўзгариши: а) 45 °C, б) 55 °C, в) 65 °C

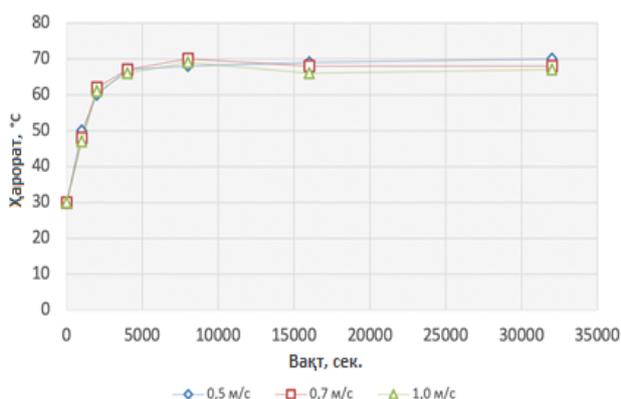
Тажриба ва назарий олинган маълумотлар бир-бири билан таққосланди ва натижалар ўзаро мос келиши аниқланди. Ушбу натижага кўра, қуриштириш давомида маҳсулотдаги намлик ва ҳароратнинг тақсимланишини тахмин қилиш учун бир вақтнинг ўзида иссиқлик ҳамда масса алмашинувини ифодаловчи математик моделдан фойдаланиш мумкин.

Диссертация ишининг «Қовоқни қуритиш бўйича тадқиқот натижалари» номли тўртинчи бобида тажриба тадқиқот натижалари ва қуритиш қурилмасининг лойиҳаси келтирилган.

13-расмда ўлчамсиз намлик коэффициентининг ўзгариши, қуритиш вақти ва қуритиш ҳавосининг турли тезликлари ўртасидаги боғлиқлиги келтирилган. 14-расмда қуритиш ҳавосининг турли тезликларда маҳсулот ички ҳарорати вақтга боғлиқ ҳолда ўзгариши ифодаланган. Бунда ҳавонинг тезлиги ортиб борган сари, вақт ўтиши билан маҳсулот марказидаги ҳарорат ортади ҳамда намлик миқдори камайиши кузатилди.

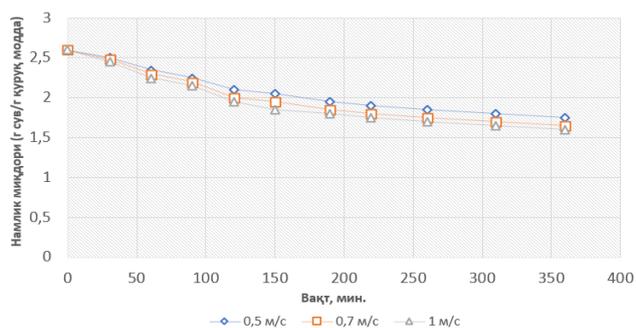


13-расм. Қуритиш ҳавосининг турли тезликларида вақтга боғлиқ ҳолда ўлчамсиз намлик коэффициентининг ўзгариши

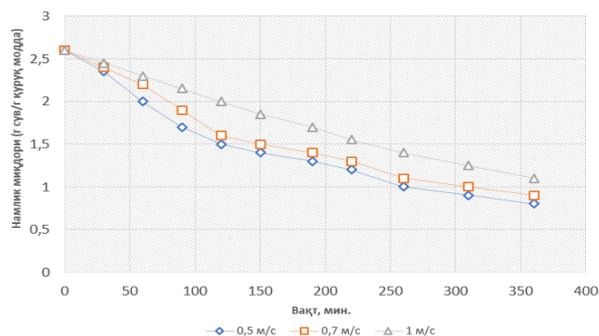


14-расм. Қуритиш ҳавосининг турли тезликларида вақтга боғлиқ ҳолда маҳсулотнинг ички ҳароратини ўзгариши

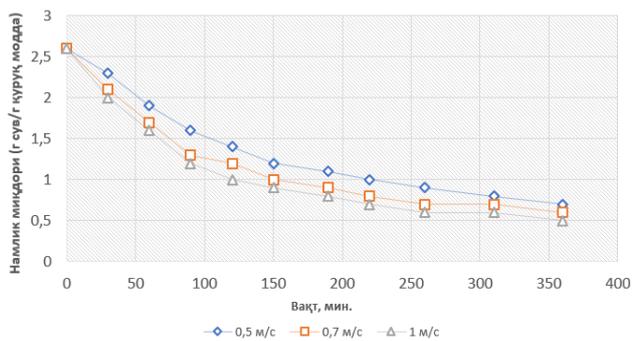
15-расмда турли тезликларда уч хил геометрик шаклларни қуритиш вақтида ҳисобланган намликнинг вақтинчалик ўзгаришлари кўрсатилган. Қуритиш ҳавосининг тезлигини ошириш ҳар уч ҳолатда ҳам қуритиш вақтини қисқартиришига олиб келади. Тезлик ошгани сари қуритиш жараёни қисқа вақт ичида амалга ошади. Квадрат шаклидаги қовоқ бўлаклари цилиндрсимон ва тўғрибурчакли шаклдаги маҳсулотларга нисбатан қисқа вақт ичида қуриши аниқланди.



а



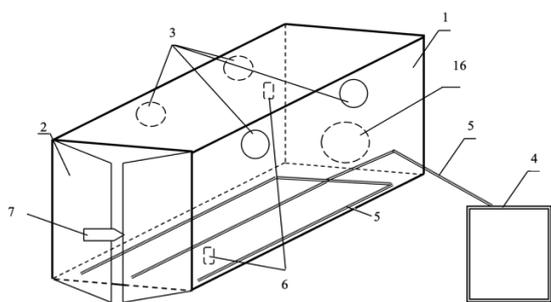
б



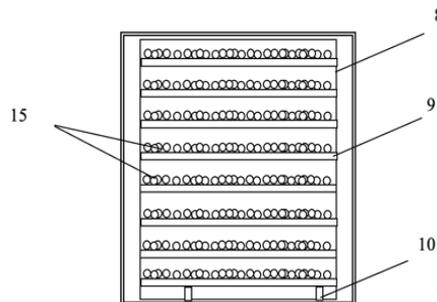
В

15-расм. 65 °С ҳароратда ва турли ҳаво тезликларида ҳар хил шаклдаги маҳсулотларнинг намлик профиллари: а-тўғрибурчакли шакл; б-цилиндрсимон шакл; в-квадрат шакл.

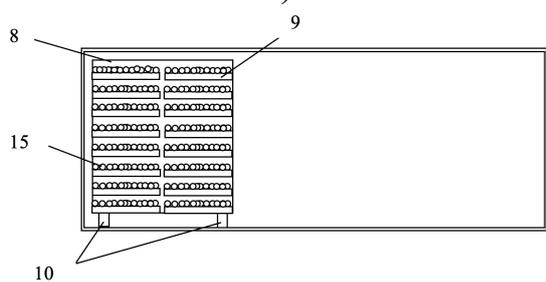
Қовоқнинг тўртбурчак шаклида 1 м/с қуритиш ҳаво тезлиги бўлганда, 6 соат давомида намлик миқдори 1,6 (г сув/г куруқ модда) ни ташкил этди.



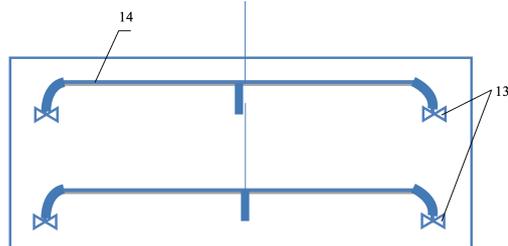
а)



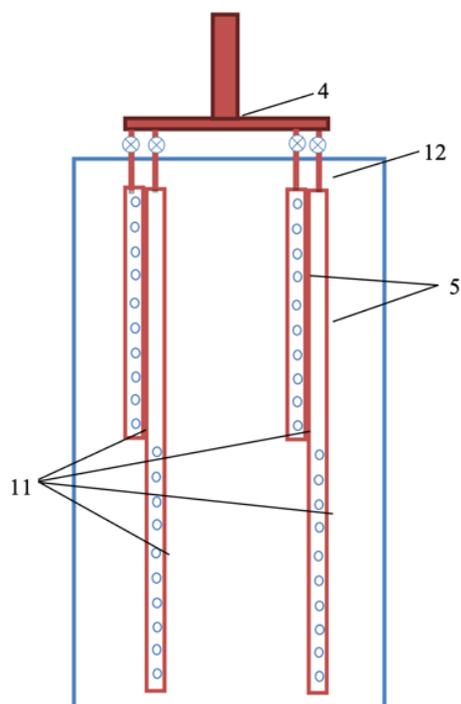
б)



в)



д)



1-каркас; 2-эшик; 3-вентилятор; 4-газ ёқиш мосламаси; 5-иссиқлик ташувчи; 6-камерадаги ҳароратни аниқлаш учун датчиклар; 7-қулф; 8-аравача; 9-зангламайдиган тўрли таглик; 10-ғилдирак; 11-форсунка; 12-газ таъминотини бошқариш учун вентил; 13-юқоридаги вентиляторлар; 14-эгзоз қувурлари; 15-хомашё; 16-циркуляция учун вентилятор; 17-иситиш қозони.

16-расм. Конвектив қуритиш қурилмасининг принцинал схемаси: а-асосий кўриниш; б-олд кўриниш; в-ён томони кўриниши; г-юқоридан иссиқлик қувурларини жойлаштирилиш схемаси; д-эгзоз қувурларининг жойлаштирилиш схемаси

Қурилманинг ишлаш принципи қуйидагича: аравачага 8 тозаланган ва қуритиш учун тайёрланган хомашёга 15 зангламайдиган тўрли тагликларга 9 жойлаштирилади. Эшиклар 2 очиқ ҳолатда хомашё юкланган аравачалар 8 конвектив қуритиш камерасига 1 юкланади. Қурилма кулф 7 билан маҳкам ёпилади. Газ ёқиш мосламаси 4 ишга туширилади, бунда иссиқ ҳаво газ таъминотини бошқариш учун вентил 12 орқали ўтади ҳамда форсункадан 11 иссиқлик ташувчи қувурлар 5 орқали камера майдонига тақсимланади. Шу тарзда ички камера ва қуритиш учун мўлжалланган хомашёга иссиқлик таъсир этади. Хомашё таркибидан ажралиб чиққан ва тўпланган буғ вентиляторлар 3 ва 13 қувурлар 14 ёрдамида камерадан чиқарилади. Бир хил иссиқлик оқимини таъминлаш мақсадида камерада ҳаво циркуляцияси учун вентилятор 16 ишлайди.

Тагликлар орасидаги иссиқлик агентнинг тақрорий айланиши хомашёнинг камера бўйлаб бир маъромда исишини таъминлайди. Қуритиш жараёнида иссиқ агент терможуфтлик ёрдамида бошқарилади ва ҳаво оқимининг белгиланган ҳароратда хомашёни ҳаддан ташқари қизиб кетишига йўл қўйилмайди (16-расм).

Шундай қилиб, тавсия этилаётган қурилманинг афзаллиги шундаки, ушбу қурилмадан фойдаланиш, қуритиш жараёнидан яқунлангандан сўнг таркибида биофаол моддаларни ва дастлабки фойдали хусусиятларга сақлаб қолган ҳолда қуритилган маҳсулот олиш, шунингдек, маҳсулотларнинг паст ҳароратли сувсизланиши якуний маҳсулотларнинг фойдали биофаол моддаларини максимал даражада сақлаб қолиш имконини беради.

ХУЛОСА

1. Чизикли бўлмаган регрессия таҳлили натижасида қуритиш ҳавоси 65 °С ҳароратида Мидилли моделидаги экспериментал маълумотларга энг яқин ҳисобланган намлик қийматлари берилганлиги исботланди. Ушбу натижага кўра, қовокнинг қуритиш кинетикасини аниқлаш учун энг яхши модел Мидилли модели эканлиги аниқланди.

2. Самарали диффузия коэффиенти ҳаво ҳарорати 45, 55 ва 65 °С бўлган қийматларда аниқланган ва ҳаво оқими тезликлари мос равишда қуритиш ҳавосининг ҳарорати самарали диффузия коэффиенти параметрлари аниқланди.

3. Энергия активлиги – кимёвий реакция содир бўлиши учун енгиб ўтиш лозим бўлган энергия миқдори сифатида тавсифланади. Қовокнинг энергия активлиги $\ln(D_{эфф.})-1/T$ соҳасининг қиялигидан фойдаланган ҳолда 61,1 кДж/мол деб ҳисобланди.

4. Маҳсулотдаги қисқариш коэффиенти қуритиш ҳавоси ҳароратининг ошиши билан мос равишда ортиши аниқланди. Тадқиқот натижаларига кўра, қуритиш вақтида маҳсулотдаги намлик ва ҳароратнинг тақсимланишини тахмин қилиш учун бир вақтнинг ўзида иссиқлик ва масса алмашинувини ифодаловчи математик моделдан фойдаланилди.

5. Қуритиш жараёнига турли параметрларнинг таъсири уч хил тезлик (0,5, 0,7, 1,0 м/с) ҳамда уч хил ҳарорат (45, 55, 65 °С) билан боғлиқлиги исботланди.

6. Қовоқни қуритиш учун мақбул параметрлар қуйидагилар эканлиги исботланди: қуритиш вақти - 360 минут, қуритиш ҳарорати - 65 °С, ҳаво тезлиги - 1 м/с, геометрик шакли - квадрат, дастлабки намлик - 72%, якуний намлик - 12-14%.

7. Математик таҳлил ёрдамида қуритиш параметрларидан (қуритиш ҳавосининг тезлиги, ҳарорат ва намлик) фойдаланиб, қуритиш мосламасининг оптимал параметрларини ҳисоблаш тажрибада исботланди.

8. Қовоқни қуритиш техникаси ва технологияси бўйича диссертация тадқиқоти ва тавсиялари «Sunny Land Products» МЧЖ корхонасида амалга оширилди (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2023-йил 17-ноябрдаги 17-98/11-23-сон маълумотномаси). Қуритиш жараёнини қўллаш натижасида йилига ўртача умумий иқтисодий самарадорлик 305 186 000 сўмни ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.04.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ХИМИКО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ПОНАСЕНКО АНДРЕЙ СВЯТОСЛАВОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ УСТАНОВКИ И
ПРОЦЕССА СУШКИ ТЫКВЫ**

**02.00.16 - Процессы и аппараты химических технологий и пищевых производств
(технические науки)**

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

Ташкент – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2023.3.PhD/T3840.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете. Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета по адресу (www.tdtu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Сафаров Жасур Эсиргапович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Маннанов Улутбек Васикович
доктор технических наук, профессор

Курбанов Жамшед Мажидович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится «12» 03 2024 г. в «14⁰⁰» часов на заседании научного совета DSc.03/30.12.2019.T.04.01 при Ташкентском химико-технологическом институте по адресу: (100011, г. Ташкент, Шайхонтахурский район, ул. А.Навои, 32. Тел.: (99871) 244-79-20; факс: (99871) 244-79-17; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Ташкентского химико-технологического института за № 772 которой можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре: (Адрес: 100011, Ташкент, Шайхонтахурский район, ул. А.Навои, 32. Тел.: (99871) 244-79-20).

Автореферат диссертации разослан «2» 03 2024 года.
(протокол рассылки № 412 от «2» 03 2024 г.).



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

Х.И.Кодиров
Учёный секретарь научного совета по
присуждению, учёных степеней,
д.х.н., доцент

К.П.Серкаев
Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Во всем мире экологические изменения, которые наблюдаются в глобальном масштабе, оказывают негативное влияние на качество и объем сельскохозяйственной продукции. Увеличение численности населения планеты приводит к росту спроса на продукты питания. В связи с этим большое значение приобретает разработка методов сушки, направленных на получение высококачественных, функциональных продуктов путем совершенствования технических средств и технологий сушки пищевых продуктов.

В мире ведутся научные исследования по оптимизации техники и технологии сушки с использованием теплового потока. В связи с этим большое внимание уделяется разработке энергосберегающей сушильной установки, математическому моделированию процессов сушки, сохраняющих биоактивные вещества в продукте при переработке, получению высококачественных продуктов путем изучения методов сушки сырья, теплообменных процессов с учетом чувствительности продуктов к теплу.

Республика Узбекистан уделяет особое внимание выращиванию сельскохозяйственной продукции и эффективному развитию перерабатывающей промышленности, высококачественной переработке сельскохозяйственной продукции, производству импортозамещающей пищевой и фармацевтической продукции, в результате чего достигаются определенные научные результаты. Стратегия действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан предусматривает “Углубление структурных реформ и последовательное развитие перерабатывающих мощностей сельского хозяйства, дальнейшее укрепление продовольственной безопасности страны, расширение производства экологически чистой, высококачественной продукции, значительное повышение экспортного потенциала аграрного сектора”. В этой связи важна эффективность процесса конвективной сушки, сокращение времени сушки и снижение энергозатрат, исследование математических моделей связи между диффузией и теплопроводностью, передача тепла и влаги в процессе сушки, оптимизация техники и технологий с внедрением производства для получения качества высушенных продуктов.

Настоящее диссертационное исследование служит выполнению задач, поставленных в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»¹, в постановлениях Президента Республики Узбекистан от 23 октября 2019 года ПП-5853 «Об утверждении Стратегии развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы», 29 июля 2019 г. № ПП-4406 «О дополнительных мерах по глубокой переработке сельхозпродукции и дальнейшему развитию пищевой промышленности», а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной деятельности.

¹ Мирзиёев Ш.М. Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы». Электронный источник: <https://lex.uz/uz/docs/5841077>.

Связь диссертации с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики V. «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды».

Степень изученности проблемы. Результаты обзора литературы показывают, что большое внимание учёными уделялось разработке установки и моделированию процесса сушки сельхозпродукции, в т.ч. переработки тыквы. В частности, Г.А.Химич, И.В.Ерин, С.Б.Попова, А.Я.Хлебородов, И.Б.Развязная, Л.Хлеборобов, А.С.Данилюк, R.M.P.Gutierrez, C.A.Cole, A.Jungbauer, K.Sacilik, I.Doymaz, A.Midilli, M.J.Varrosa проводили научные исследования, по разработке устройства, моделированию и усовершенствованию процессов сушки для производства продуктов с необходимым биоактивным качеством: А.В.Лыков, А.С.Гинзбург, В.В.Кафаров, Б.С.Сажин, П.А.Ребиндер, Б.М.Касымбаев, О.С.Натареев, А.В.Нестеров, П.Д.Лебедев, С.Г.Ильясов, И.Б.Левитин, занимались исследованиями, направленными на разработку теории процесса сушки, на изучение влияния теплового потока в процессе сушки. Узбекские ученые Н.Р.Юсупбеков, З.С.Салимов, А.Ф.Сафаров, Ж.М.Курбанов, А.А.Артиков, Х.С.Нурмухамедов, К.О.Додаев, К.Т.Норкулова, Х.Ф.Джураев и др. проводили результативные исследования по совершенствованию процессов и аппаратов в пищевой промышленности, в результате ими были разработаны эффективные технологии.

Наряду с этим, ученые мирового сообщества ведут активные изыскания в приоритетных направлениях по совершенствованию технологий и оборудования сушки, математическому моделированию технологий сушки, процессов сушки продуктов, разработке методов сушки, учитывающих сохранение биологически активных веществ, содержащихся в сырье. Однако, разработка энергосберегающей сушильной установки путём математического моделирования процесса диффузии в технологии конвективной сушки тыквы в достаточной степени не проводилась.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова в рамках научно-фундаментального проекта IL-5421101760 – «Развитие теории методов сохранения биологически активных веществ в составе пищевых и фармацевтических продуктов с помощью управления тепло- и массо обменными процессами в технологии сушки» (2023-2027 гг).

Целью исследования является совершенствование конвективной установки и процесса сушки тыквы.

Задачи исследования:

исследование одновременной передачи импульса, энергии и массы при испарении воды из твёрдого тела в потоки горячего воздуха;

определение оптимальных параметров сушки тыквы и расчёт оптимальных параметров сушильной установки по скорости, температуре и влажности сушильного воздуха с помощью математического анализа;

разработка математической модели теплового потока в процессе сушки тыквы и исследование влияния различных скоростей и температур воздушного потока;

Обоснование параметров температуры воздушного потока и эффективного коэффициента диффузии процесса сушки тыквы и выбор оптимальных моделей, описывающих процесс сушки для каждого параметра (скорость, температура и влажность);

разработка энергосберегающей конвективной сушильной установки для качественной сушки тыквы и внедрение результатов, полученных в ходе исследований, в промышленность.

В качестве **объекта исследования** была взята тыква, а также использованы существующие методы и технологии сушки компании ООО “Sunny Land Products”.

Предметом исследования являются закономерности, свойственные процессу сушки, техника и технология конвективной сушильной установки, моделирование процесса, исследование скорости сушки и других режимных параметров.

Методы исследования. В диссертации применена методология системного анализа и синтеза технологических систем, использованы методы теоретических основ химической и пищевой технологии, процессов и аппаратов химических технологий и пищевых производств, математическое моделирование и оптимизация процесса сушки.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определены оптимальные параметры сушки тыквы и разработана оптимальная модель сушки для каждого параметра (скорость, температура и влажность) в соответствии с моделью Мидилли;

установлено, что эффективный коэффициент диффузии соответствует скоростям воздушного потока при температуре воздуха 45, 55 и 65 °С;

установлено, что значение коэффициента детерминации R^2 при температуре сушки 65 °С, значение стандартной ошибки χ^2 составили 0,99 и 0,0001 в соответствии с моделью Мидилли;

в результате регрессионного анализа теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что модель Мидилли соответствует значениям эффективности усадки продукта в зависимости от содержания влаги;

с целью повышения эффективности процесса сушки была разработана энергосберегающая установка конвективной сушки, использующая альтернативную энергию.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

для процесса сушки тыквы при температуре 65°С рассчитаны энтальпийная, энтропийная и эксергетическая эффективности и полученные результаты обработаны с помощью программного обеспечения MatLAB;

определено, что модель Мидилли оказалась наиболее подходящей среди других моделей для процесса сушки тыквы и были получены значения влажности, наиболее близкие к экспериментальным результатам;

установлено, что оптимальными параметрами сушки тыквы являются:

время сушки - 360 минут, температура сушки - 65°C, скорость воздуха - 1 м/с, геометрическая форма - квадратная, начальная влажность - 72%, конечная влажность - 12...14%;

были рассчитаны средние скорости сушки при различных температурах 45, 55 и 65 °С, которые имели значение 0,0031, 0,004966 и 0,0061 г воды/г сухого вещества соответственно;

для повышения эффективности качественной сушки тыквы разработана энергосберегающая конвективная установка, использующая альтернативную энергию.

Достоверность полученных результатов подтверждается согласованностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, проведенных с использованием современных методов и средств, результатами компьютерного моделирования, выполненного с помощью Matlab, Windows, Microsoft Excel, а также взаимной соизмеримостью результатов, полученных в лаборатории, с опытно-промышленными результатами на усовершенствованной сушильной установке.

Научная и практическая значимость результатов исследований.

Научная значимость результатов исследований заключается в том, что с учётом результатов моделирования разработана оптимальная энергосберегающая конструкция сушильной установки, позволяющая установить процесс сушки, в котором тепловой поток при сушке тыквы равномерно распределяется. Рассчитаны энтальпия, энтропия, эксергия и эксергетическая эффективность тыквы при 65 °С. Полученные данные в результате экспериментов, были обработаны в программе Matlab.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что определено влияние различных параметров на свойства сушки, в частности, средней скорости сушки при различных температурах 45, 55 и 65 °С и при различных скоростях теплового потока 0,5, 0,7, 1,0 м/с, определяемое содержание воды/г 0,0031, 0,004966 и 0,0061 соответственно, что совершенствование установки и технологии служат основой для применения в пищевой промышленности за счёт улучшения состава продуктов.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных по совершенствованию процесса конвективной сушки тыквы было осуществлено:

внедрение в промышленное производство: разработка техники и технологии сушки тыквы с сохранением биологически активных добавок в ООО «Sunny Land Products» (справка Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана, №17-98/11-23 от 17 ноября 2023 года). В результате применения высокоэффективной технологии выход продукции увеличился в 1,1 раза, а потери сырья снизились на 9%;

метод сушки тыквы внедрен в производство ООО «Sunny Land Products» (справка Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана, №17-98/11-23 от 17 ноября 2023 года). В результате это дало возможность применения высокоэффективных технологий при сохранении 90-95% биологически активных веществ конечного продукта.

усовершенствованная конвективная сушильная установка и технология сушки тыквы внедрена в практику ООО «Sunny Land Products» (справка Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана, №17-98/11-23 от 17 ноября 2023 года). В результате внедрения высокоэффективной энергосберегающей сушильной установки с использованием конвекции и за счёт оптимального выбора конструкции получена возможность расходовать в 1,4 раза меньше электроэнергии по сравнению с существующими технологиями и установками.

Апробация результатов исследований. Результаты исследований представлены, обсуждены и одобрены на 8 международных и 9 республиканских научно-технических конференциях.

Опубликованность результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 26 научных работ, из них 9 научных статей, в том числе 3 в международных, 6 в республиканских журналах.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из четырёх глав, списка использованной литературы и 5 приложений. Объём диссертации включает 118 страниц, 43 рисунка и 42 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель, объект и задачи исследования, а также показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты работы, обоснована надёжность полученных результатов, раскрыта научная и практическая ценность, приведены сведения о внедрении результатов исследования в производство.

В первой главе диссертации **«Состояние и перспективы развития конвективных установок и сушки тыквы»** проанализировано современное состояние и раскрыты перспективы развития производства пищевой продукции на основе местного сырья. Выполнен аналитический обзор научной литературы о существующих процессах и аппаратах, промышленной переработки тыквы, при применении математического моделирования процессов, протекающих в сушильных установках, расчётах и проектировании схем сушильных установок.

Оценивая техническое состояние имеющихся конструкций сушильных установок, получивших распространение в агропромышленном комплексе Республики Узбекистан, а также способов сушки, сделаны выводы, что существуют проблемы, требующие совершенствования промышленных способов сушки тыквы. На основе анализа фактического материала главы были поставлены основные цели и задачи исследования.

Во второй главе диссертации **«Исследование баланса массы в тепловом воздушном потоке»** приведены результаты баланса массы в тепловом воздушном потоке.

В данном разделе описано исследование, которое направлено на изучение одновременного переноса количества энергии и массы в процессе испарения воды из твёрдых тел в потоке горячего воздуха. В процессе конвективной сушки,

баланса массы в тепловом воздушном потоке для нахождения начальных и конечных данных, необходимых для расчёта энтальпийной, энтропийной, эксергийной и эксергетической эффективности, рассматривается как поток теплового воздуха, поток влаги из теплового воздуха, массы и расхода влаги, удаляемой из твёрдого тела, в целом, общий расход выходящей влаги и воздуха.

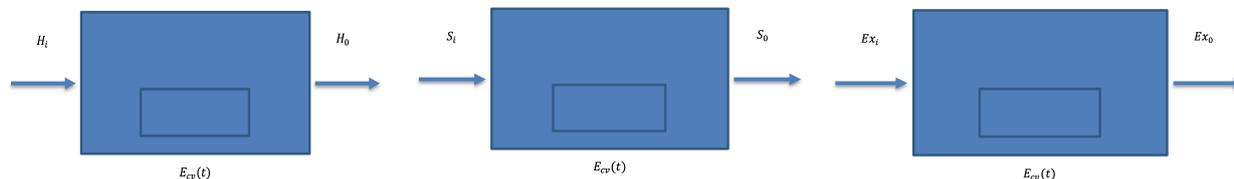


Рис. 1. Схема оборудования с его энтальпийными входами и выходами

Рис. 2. Схема оборудования с его энтропийными входами и выходами

Рис. 3. Схема оборудования с его входами и выходами эксергии

Расчёт энтальпии. Энтальпия – это термодинамическая величина, изменение которой выражает меру количества энергии, поглощаемой или выделяемой термодинамической системой, то есть количество энергии, которой система обменивается со своим окружением (рис. 1).

Полная энтальпия рассчитывается по следующим уравнениям:

$$\Delta H = m C_p \Delta T \quad (1)$$

$$\Delta \dot{H} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (2)$$

где H -энтальпия, $кДж$; \dot{H} -энтальпийный поток, $кДж$; C_p -удельная теплоёмкость при постоянном давлении, $кДж/кг \text{ } ^\circ C$; T -температура, $^\circ C$.

Расчёт энтропии. Энтропия – это физическая величина, которая для термодинамической системы, находящейся в равновесии, измеряет количество микросостояний, совместимых с макросостоянием равновесия. Увеличение внутренней энергии на фоне повышения температуры системы (рис. 2).

Уравнения энтропии:

$$\Delta S = m C_p \ln \frac{T_0}{T_i} \quad (3)$$

$$\Delta \dot{S} = \dot{m} C_p \ln \frac{T_0}{T_i}, \quad (4)$$

где S -энтропия, $кВт$; m -масса, $кг$; C_p -удельная теплоёмкость при постоянном давлении, $кДж/кг \text{ } ^\circ C$; \ln -натуральный логарифм; T -температура, $^\circ C$.

Расчёт эксергии. Эксергия – это термодинамическое свойство, позволяющее определить полезный потенциал работы определённого количества энергии, который может быть достигнут за счёт спонтанного взаимодействия между системой и окружающей её средой. Сообщает о потенциальной полезности системы как источника работы (рис. 3).

Уравнение для расчёта эксергии выглядит следующим образом:

$$E_x = H - H_0 - T_0(S - S_0), \quad (5)$$

где E_x -эксергия, $кВт$; H -энтальпия, $кДж$; S -энтропия, $кВт$; T -температура, $^\circ C$.

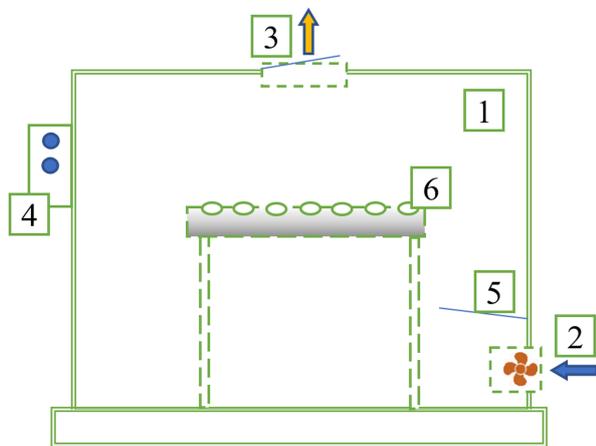
$$\psi = \frac{\dot{m}_{agv} * (E_{x_{ev}} - E_{x_{ev0}})}{\dot{m}_{a_i} * E_{x_{a_i}}} \quad (6)$$

где ψ -эксергетическая эффективность; \dot{m} -массовый расход, г/мин; a -воздух; i -вход.

Для проведения настоящего исследования была начата экспериментальная работа по получению необходимых данных, позволяющих провести анализ поведения при сушке в расчёте теплового воздушного потока. Далее будут подробно описаны характеристики оборудования, этапы исследования и его экспериментальный план.

Используемое оборудование представляет собой конвективную сушильную установку, схематически показанную на рис. 4, с её компонентами, которые позволяют контролировать условия эксперимента и сбор данных.

Данные, полученные в результате экспериментов, были обработаны в программе Matlab. Эта работа началась с импорта данных Excel (данные о весе образца в зависимости от времени). С помощью уравнений, рассчитываются энтальпия, энтропия, эксергия и эксергетическая эффективность тыквы при 65 °С.



1-камера; 2-вход воздуха; 3-выход воздуха; 4-КИП и автоматика; 5-направляющий тепловой поток; 6-продукция.

Рис. 4. Схема лабораторной конвективной сушильной установки

Изменение энтальпии тыквы было измерено, чтобы определить время, необходимое для достижения максимального её значения, и характеристики кривой. Это количество энергии, переданной потоком горячего воздуха твёрдому телу, необходимой для удаления влаги. На рисунке 5 показано поведение входной и выходной энтальпии тыквы во времени.

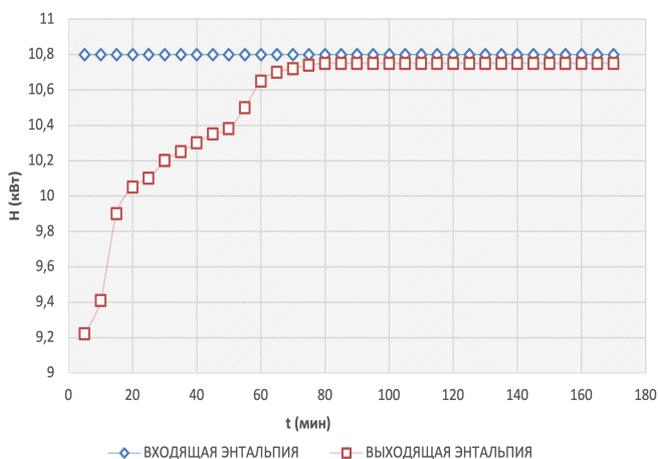


Рис. 5. H-энтальпия тыквы при 65 °С и 1,0 м/с.

На рисунке 5 можно определить, что энтальпия тыквы увеличивается со временем в соответствии с повышением температуры. Для тыквы с энтальпией

до 75 минут и 40 минут, соответственно, выходная энтальпия в обоих образцах достигает максимума, при этом её значение очень близко к входному и остаётся постоянным до конца процесса. Такое отношение связано с уменьшением полной энтальпии в системе, или, другими словами, с уменьшением эффективной теплоотдачи потока горячего воздуха в направлении продукта сушки.

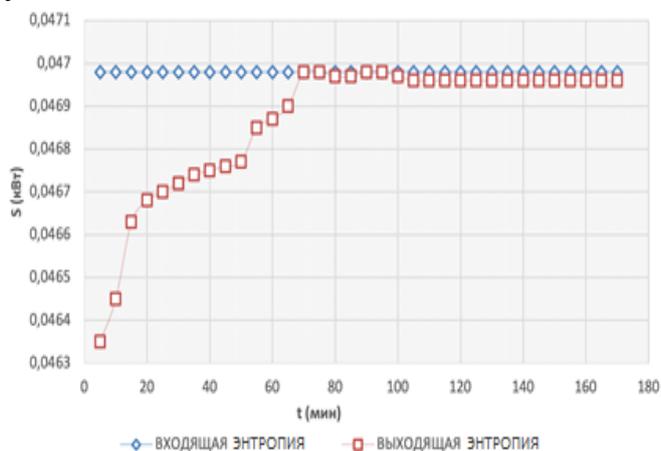


Рис. 6. S-энтропия тыквы при 65 °C

Затем рассчитывается зависимость энтропии от времени, как показано на рисунке 6, где её поведение аналогично изменению энтальпии от времени. Энтропия вычисляется потому, что она используется для измерения степени беспорядка внутри процесса и позволяет отличить полезную энергию, то есть то, что полностью превращается в работу, от бесполезной энергии, которая теряется в окружающей среде. С этим значением и энтальпией мы рассчитаем эксергию системы.

Затем рассчитывается изменение E_x в зависимости от времени. Расчёт эксергии во времени показывает качество энергии и момент, когда достигается максимальная эксергия (максимальное качество энергии). Расчёт эксергии, соответствующий показаниям на рисунке 7, является прямой зависимостью, данной на рисунке 5 энтальпии и на рисунке 6 энтропии тыквы соответственно рассчитанной по уравнению 5.

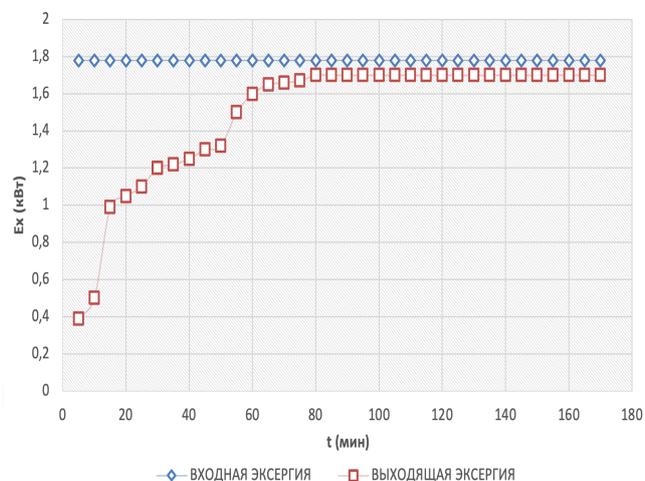


Рис. 7. E_x -эксергия зависимости от времени сушки тыквы при 65 °C

В третьей главе диссертации «**Математическое моделирование процесса сушки тыквы**» представлены результаты исследования математического моделирования процесса сушки тыквы конвективным способом.

Эффективный коэффициент диффузии рассчитывается с использованием закона диффузии Фика, разработанного для конечной цилиндрической формы. В используемом выражении предполагается наличие постоянного коэффициента диффузии и переноса влаги путем диффузии. Эффективный коэффициент диффузии можно рассчитать с помощью уравнения (7).

$$W_{\text{бв}} = \frac{W_t - W_e}{W_i - W_e} = \frac{8r^2}{l^2} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \exp\left(-(\lambda_i^2 + \beta_j^2) \frac{D_{\text{эфф.}} t}{r^2}\right) \quad (7)$$

где $D_{\text{эфф.}}$ -эффективный коэффициент диффузии, m^2/c , r -радиус; l -характерная длина, m ; t -время сушки, c ; λ_i -корень функции Бесселя.

$$\beta_j = \frac{(2j-1)\pi r}{2l} \quad j = 1, 2, 3 \quad (8)$$

Для длительного времени высыхания можно использовать только первый член серийного решения:

$$W_{\text{бв}} = \frac{W_t - W_e}{W_i - W_e} = \frac{32}{\lambda_1^2 \pi^2} \exp\left(-(\lambda_1^2 + \beta_1^2) \frac{D_{\text{эфф.}} t}{r^2}\right) \quad (9)$$

$$\ln(W_{\text{бв}}) = \ln\left(\frac{32}{\lambda_1^2 \pi^2}\right) - \left(-(\lambda_1^2 + \beta_1^2) \frac{D_{\text{эфф.}} t}{r^2}\right) \quad (10)$$

Эффективный коэффициент диффузии получают из кривой изменения времени сушки с $\ln(W_{\text{бв}})$, полученной в результате экспериментального исследования. Значение наклона рассчитывается, как указано в уравнении (11), из графика изменения значений $\ln(W_{\text{бв}})$, приведенных в уравнении (10), в зависимости от времени высыхания.

$$\text{Наклон} = \frac{(5.7831 + \beta_1^2 D_{\text{эфф.}})}{r^2} \quad (11)$$

Эффективный коэффициент диффузии был рассчитан с использованием метода наклона. С целью проверки данных, полученных для разных температур сушки в эксперименте, и выбора наиболее подходящей модели были проведены сравнения с разными моделями сушки. Для этого использовали 5 различных экспериментальных, квазиэкспериментальных и теоретических моделей тонкослойной сушки, используемых в литературе. Это модель Льюиса, модель Хендерсона и Пабиса, Двухчленная модель, модель Ванга и Сингха и модель Мидилли (табл.1). Статистические расчёты проводились с помощью программы Statistika 6.0. Были рассчитаны коэффициенты сушки (a, b, k, k_0, k_1, n) и статистические параметры, такие как коэффициент детерминации (R^2), стандартная ошибка ($CO-C_{co}$) и хи-квадрат (χ^2) выражения моделей.

$$C_{co} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{бвэксперимент}} - W_{\text{бврасчёт}})^2}{N-z}} \quad (12)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{бвэксперимент}} - W_{\text{бврасчёт}})^2}{N-z} \quad (13)$$

где безразмерный коэффициент влажности, полученный в результате экспериментов $W_{\text{бвэксперимент}}$ и $W_{\text{бврасчёт}}$ рассчитанный с помощью программы; N -количество считываемых в эксперименте данных в зависимости от времени; z -количество коэффициентов.

Константы и коэффициенты моделей сушки

№	Название моделей	Уравнение
1	Льюис	$W=\exp(-kt)$
2	Хендерсон и Пабис	$W=a\exp(-kt)$
3	Двухчленная модель	$W=a\exp(-k_0t)+b\exp(-k_1t)$
4	Ван и Сингх	$W=1+at+bt^2$
5	Мидилли	$W=a\exp(-kt^n)+bt$

здесь: W -коэффициент влажности; k, k_0, k_1 -константа сушки; b -коэффициенты; n -константа сушки.

Результаты сравнивались путем проведения нелинейного регрессионного анализа. Для этого рассчитывали коэффициент детерминации (R^2), стандартную ошибку (СО) и χ^2 -квадрат (χ^2) выражения моделей. Наиболее близкие значения к экспериментальным данным были получены на основе теоретических исследований в модели Мидилли при температуре 65 °С. Затем рассчитывали эффективные коэффициенты диффузии отдельно при каждой температуре сушильного воздуха и построили график их изменения в зависимости от температуры. Было замечено, что повышение температуры воздуха является оптимальным параметром эффективного коэффициента диффузии. Результаты, полученные теоритическим анализом и экспериментальным исследованием, были сопоставлены, и таким образом обнаружено высокое соответствие между значениями влажности и температуры.



№1-квадратная форма



№2-прямоугольная форма



№3-цилиндрическая форма



№4-квадратная форма



№5-прямоугольная форма



№6-цилиндрическая форма

№1, №2, №3 – до сушки; №4, №5, №6 – после сушки;

Рис. 8. Ломтики тыквы различной формы

Для изучения влияния сушильного воздуха на сушку над продукцией пропускали воздух при температурах $45\pm 0,3$ °С, $55\pm 0,3$ °С и $65\pm 0,3$ °С со скоростью 0,5, 0,7, 1,0 м/с (рис. 8). Для эксперимента тыква была нарезана ломтиками толщиной 1 см и разложена на поддоне. При достижении нужных условий поддон с тыквой помещался в сушильное устройство. В ходе эксперимента изменение массы продукта периодически регистрировали с

помощью цифровых весов с чувствительностью 0,05 г. Результаты эксперимента были повторены 3 раза.

Согласно полученным лабораторным исследованиям, максимальная сохранность калия – 0,93 мг/%, была обнаружена при следующих оптимальных параметрах сушки продукции: время сушки – 360 минут; температура сушки – 65 °С; скорость сушильного воздуха – 1 м/с; форма образцов квадратная; начальная влажность – 72%; конечная влажность – 12-14%.

На рис. 9 приведены результаты изменения содержания влаги на влажной основе и безразмерного коэффициента влажности во времени. На рисунке 9а вначале показаны результаты 360-минутной сушки для 3-х различных температур продукта с содержанием влаги 72% в пересчёте на влажную основу.

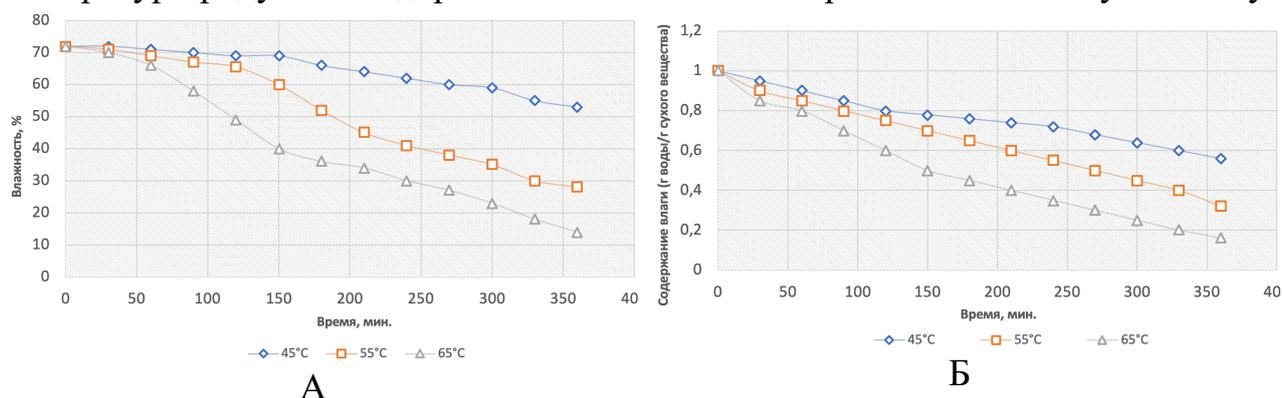


Рис. 9. Процесс сушки для 3-х различных температур: а-изменение содержания влаги на влажной основе, %; б-безразмерный коэффициент влажности (содержания влаги)

В ходе экспериментов измеряли изменение температуры центра ломтиков тыквы с течением времени. Результаты измерений представлены на рис. 10.

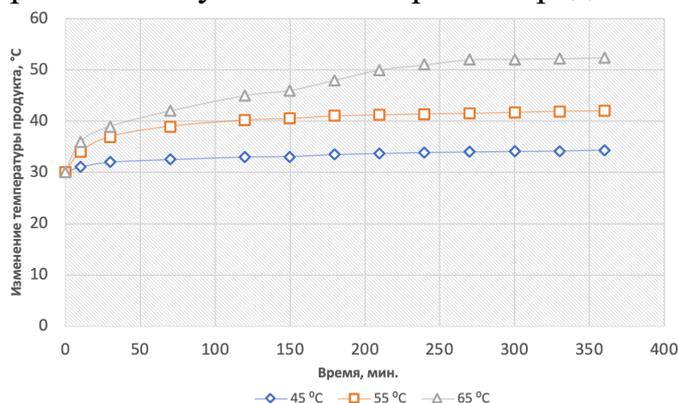


Рис. 10. Изменение температуры ломтиков тыквы

На рис. 11 показано изменение безразмерных коэффициентов влажности во времени для различных моделей и экспериментов, полученных при температурах 45, 55 и 65 °С. На рисунке видно, что на кривой экспериментальных данных находятся безразмерные значения коэффициента влажности модели Мидилли, которая в результате регрессионного анализа, оказалась наиболее подходящей моделью.

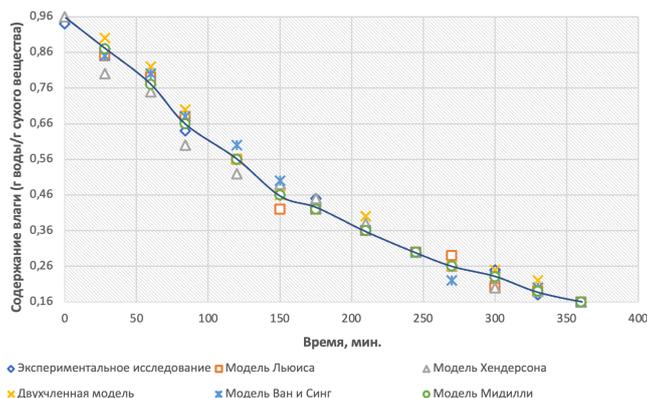


Рис. 11. Изменение безразмерных коэффициентов влажности для различных моделей и экспериментов при 65 °C во времени

Регрессионный анализ был выполнен для различных моделей сушки, представленных в таблице 1. Полученные коэффициенты, значения a , b , k , k_0 , k_1 , n , R^2 , CO и χ^2 приведены в совокупности в таблице 2.

Таблица 2

Значения статистических параметров и коэффициенты, полученные для температур 45, 55 и 65 °C

Модель	45 °C			55 °C			65 °C		
	R^2	CO	χ^2	R^2	CO	χ^2	R^2	CO	χ^2
1	0,94	0,0315	0,001	0,98	0,0274	0,0008	0,99	0,0171	0,0003
2	0,97	0,0223	0,0005	0,99	0,0213	0,0005	0,99	0,0137	0,0002
3	0,99	0,0021	0,002	0,99	0,0047	0,006	0,99	0,0084	0,0003
4	0,99	0,0119	0,0001	0,99	0,0160	0,0003	0,99	0,0224	0,0005
5	0,99	0,0029	0,003	0,99	0,0041	0,002	0,99	0,0038	0,0001
1	k=0,0018			k=0,035			k=0,0049		
2	k=0,0016			k=0,0033			k=0,0047		
3	a=0,14		b=0,85	a=0,17		b=0,82	a=0,94		b=0,05
	k ₀ =0,0157		k ₁ =0,0011	k ₀ =0,0162		k ₁ =0,0027	k ₀ =0,0046		k ₁ =0,121
4	a=-0,0020		b=2,47x10 ⁻⁶	a=-0,0033		b=4,31x10 ⁻⁶	a=-0,0039		b=4,82*10 ⁻⁶
5	a=1,0		b=0,0002	a=1,00		b=8,07x10 ⁻⁶	a=1,0		b=0,0003
	n=0,77		k=0,0071	n=0,85		k=0,0083	n=0,78		k=0,0175

При температуре сушильного воздуха 45 °C были рассчитаны значения R^2 , CO и χ^2 , для модели Мидилли они составили 0,99 и 0,003 соответственно. Также при температуре сушильного воздуха 55 °C были рассчитаны значения R^2 , CO и χ^2 для модели Мидилли они составили 0,99 и 0,002 соответственно, а при температуре сушильного воздуха 65 °C они составили 0,99 и 0,0001 соответственно.

По этим результатам можно сделать вывод, что модель Мидилли является наиболее подходящей моделью среди других моделей и дает наиболее близкие расчётные значения влажности по отношению к данным, полученным экспериментальным путем. Модель была проверена путем сравнения значений содержания влаги и температуры, полученных в результате экспериментов и математического моделирования. На рис. 12 дано сравнение значений влагосодержания, полученных в результате эксперимента, со средними значениями влагосодержания, полученными в результате расчета для различных температур сушки воздуха.

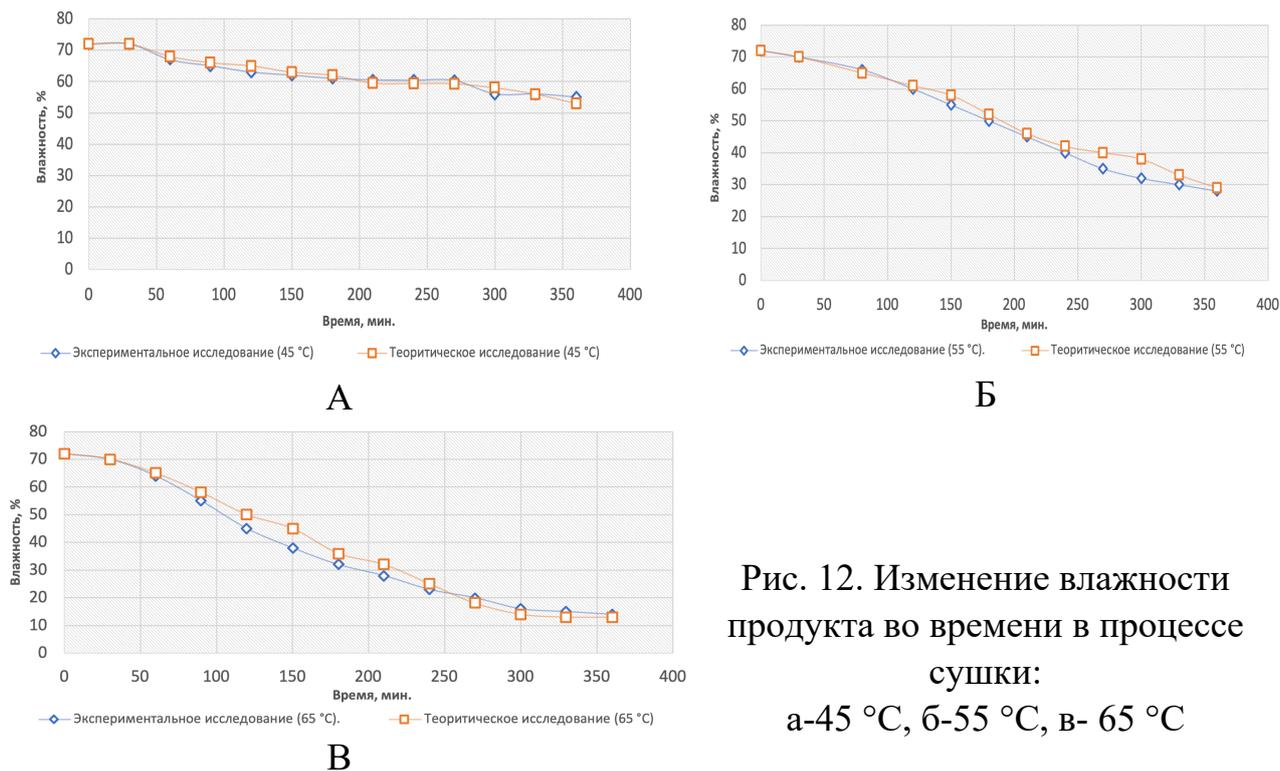


Рис. 12. Изменение влажности продукта во времени в процессе сушки:
а-45 °С, б-55 °С, в- 65 °С

Данные, полученные экспериментальным путем и математическим вычислением, были сопоставлены, и было видно, что результаты совместимы друг с другом. Согласно полученным данным, математическая модель, выражающая одновременный тепломассоперенос, может быть использована для прогнозирования распределения влаги и температуры в продукте при сушке.

В четвертой главе диссертации «**Результаты исследования сушки тыквы**» приведены результаты экспериментальных исследований и конструкции сушильной установки.

На рис. 13 приведена зависимость между безразмерным изменением коэффициента влажности и временем сушки при различных скоростях сушильного воздуха.

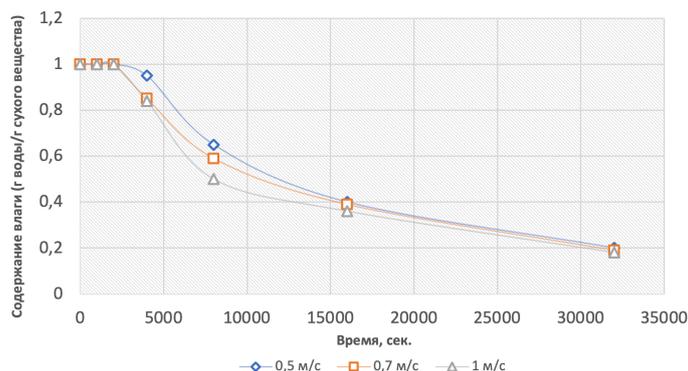


Рис. 13. Изменение безразмерного коэффициента влажности во времени при различных скоростях сушильного воздуха

На рис. 14 показано изменение внутренней температуры продукта во времени при различных скоростях сушильного воздуха. Было замечено, что с увеличением скорости сушильного воздуха со временем увеличивается температура в центре продукта, а количество влаги уменьшается.

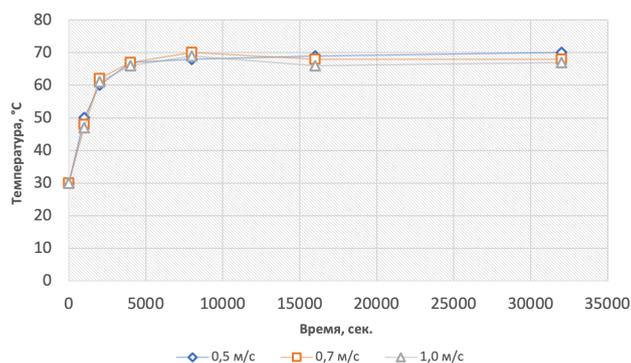


Рис. 14. Изменение внутренней температуры продукта с течением времени при различных скоростях сушильного воздуха

На рис. 15 показаны временные изменения содержания влаги, рассчитанные во время сушки трех различных геометрических форм при разных скоростях. Увеличение скорости сушильного воздуха сократило время сушки во всех трех случаях. С увеличением скорости сушка обеспечивается за более короткое время. Тыква квадратной формы высыхает за более короткое время, чем продукты цилиндрической и прямоугольной формы. При скорости сушильного воздуха 1 м/с в прямоугольной форме продукта через 6 часов сушки содержание влаги составило 1,6 (г воды/г сухого вещества).

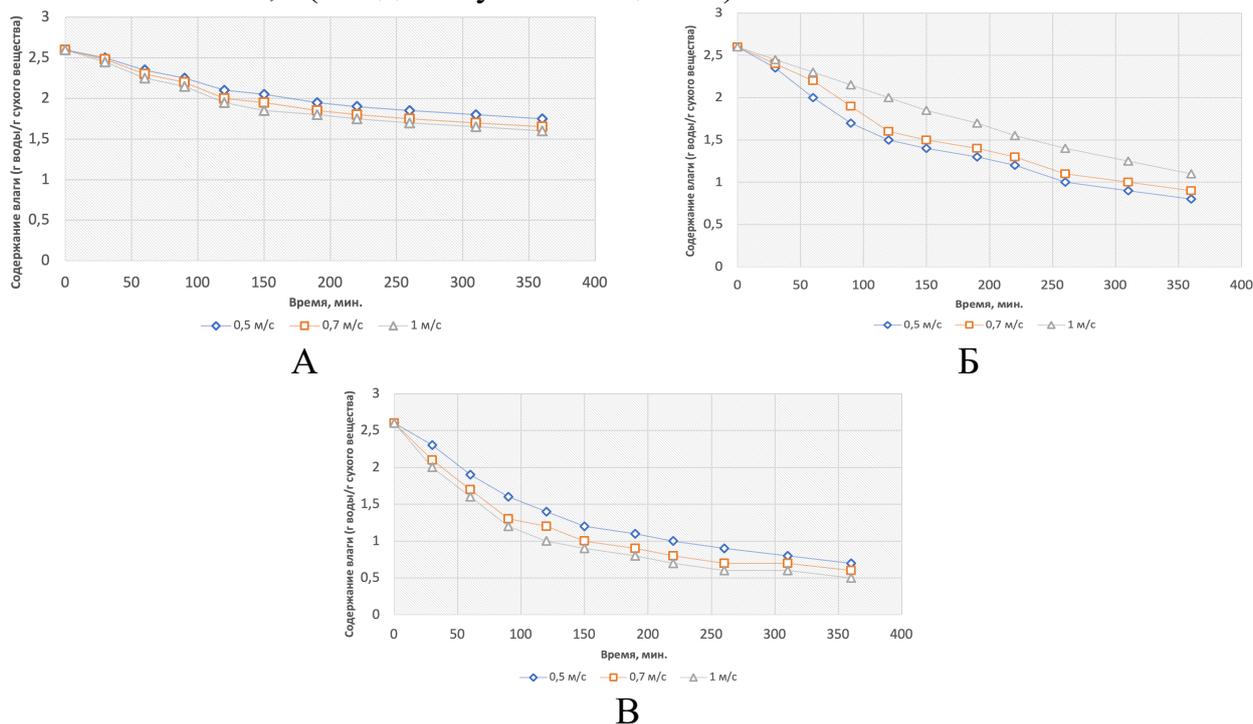


Рис. 15. Профили влажности продукции различной формы, а-прямоугольной, б-цилиндрической, в-квадратной, при температуре сушильного воздуха 65 °С и различных скоростях движения сушильного воздуха

Разработанная конвективная сушильная установка работает с минимальными затратами электроэнергии, а также управляет процессом высушивания путем регулирования подачи горячего воздуха и с повышением эффективности работы за счёт его объёма и ускорения процесса сушки с сохранением биологически активных веществ в конечной продукции.

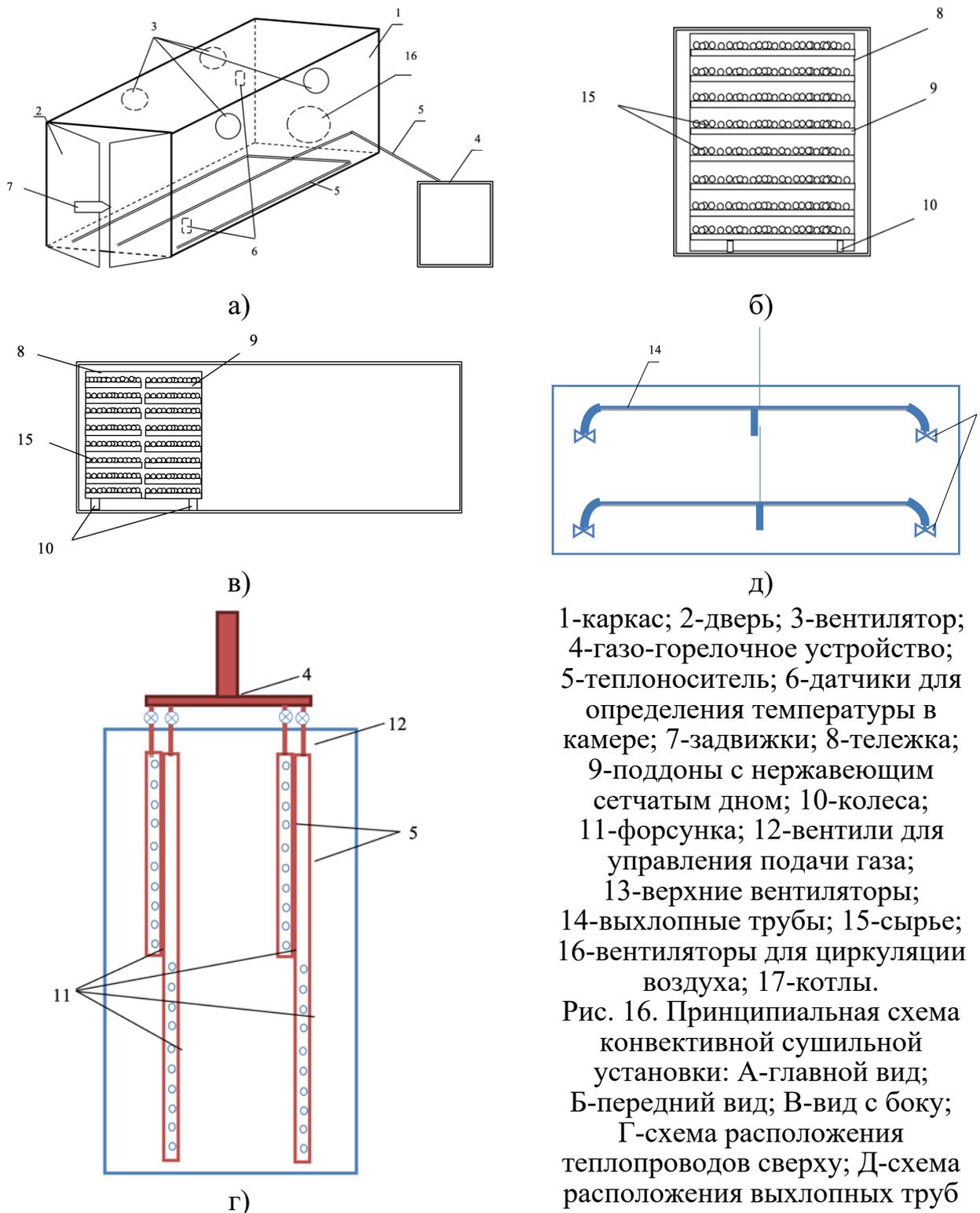


Рис. 16. Принципиальная схема конвективной сушильной установки: А-главной вид; Б-передний вид; В-вид с боку; Г-схема расположения теплопроводов сверху; Д-схема расположения выхлопных труб

Установка работает следующим образом. В тележке 8 размещают поддоны с нержавеющей сетчатым дном 9 с очищенным и подготовленным к сушке сырьём 15. С открытыми дверями 2 в контейнерно-конвективную сушильную камеру 1 сырьё загружают тележками 8. Плотныо закрывают двери сушильной установки задвижкой 7. Включают газо-горелочное устройство 4, по которому идёт горячий воздух, подача которого регулируется с помощью вентиля 12, затем он распределяется с помощью форсунок 11 по трубам 5 на площадь камеры.

Поданный горячий воздух проходит по теплопроводным трубам 5, нагревая внутреннюю камеру установки тем самым и сырьё, предназначенное для сушки. Накопленный пар от испарения влаги с сырья выводят с помощью вентиляторов 3 и 13 по выхлопным трубам 14. Для обеспечения равномерного теплового потока работает вентилятор рециркуляции воздуха в камере 16. Рециркуляция теплового агента между поддонами обеспечивает равномерное прогревание сырья. В процессе сушки тепловой агент управляется с помощью терморегулятора и не позволяет потоку воздуха перегреть сырьё от заданной температуры (рис. 16).

Таким образом, преимуществом предлагаемой установки является то, что при использовании предлагаемой установки возможно получение продуктов сушки, обогащенных веществами, растворенными в свежих овощах и фруктах, с заранее заданным распределением по объему продукта. То есть, в итоге мы получаем продукт с заранее заданными свойствами. Кроме того, низкотемпературное обезвоживание продуктов позволяет максимально сохранить полезные биологически активные вещества в конечных продуктах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Доказано, что при нелинейном регрессионном анализе были получены наиболее близкие расчётные значения влажности к экспериментальным данным в модели Мидилли при температуре сушильного воздуха 65 °С. В соответствии с этим результатом можно сказать, что наилучшей моделью для определения кинетики сушки тыквы является модель Мидилли.

2. На основании полученных исследований было установлено, что температура сушильного воздуха является эффективным параметром эффективного коэффициента диффузии.

3. В исследовании показано, что энергия активации – это количество энергии, которое необходимо преодолеть, чтобы произошла химическая реакция. В этом исследовании энергия активации тыквы была рассчитана с использованием наклона графика $\ln(D_{эфф.})-1/T$ и составила 61,1 кДж/моль.

4. Установлено, что коэффициент усадки в продукции увеличивался одновременно с повышением температуры сушильного воздуха. Согласно этому результату, математическая модель, выражающая одновременный тепломассоперенос, может быть использована для прогнозирования распределения влаги и температуры в продукте при сушке.

5. Доказано влияние различных параметров сушки на процесс сушки продукта при 3-х различных скоростях сушильного воздуха (0,5, 0,7, 1,0 м/с) и при 3-х различных температурах сушильного воздуха (45, 55, 65 °С).

6. Доказано, что оптимальные параметры для сушки тыквы это: время сушки – 360 минут, температура сушки – 65 °С, скорость сушильного воздуха – 1 м/с, форма образцов для сушки продукта - квадратная, начальная влажность продукта – 72%, конечная влажность продукта – 12-14%.

7. Экспериментально доказано, что используя параметры сушки (скорость сушильного воздуха, температура и влажность) с помощью математического анализа можно рассчитать оптимальные параметры сушильной установки.

8. Разработка и рекомендации диссертационной работы по технике и технологии сушки тыквы внедрены на предприятии по производству сушильных установок ООО «Sunny Land Products» (справка Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана, №17-98/11-23 от 17 ноября 2023 года). В результате применения энергосберегающих технологии сушки сырья в среднем за год общая экономическая эффективность составила 305 186 000 сумов.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON THE CONFERMENT OF SCIENTIFIC
DEGREES DSc.03/30.12.2019.T.04.01 AT THE
TASHKENT CHEMICAL - TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

PANASENKA ANDREI

**IMPROVING CONVECTIVE EQUIPMENT AND PUMPKIN DRYING
PROCESS**

**02.00.16 - Processes and apparatuses of chemical technologies and food production
(technical sciences)**

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

Tashkent – 2024

The theme of dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation in technical sciences is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2023.3.PhD/T3840.

The dissertation was carried out at the Tashkent state technical university.

The thesis abstract in three languages (uzbek, russian, english (resume)) is placed on the web page of the academic council at (www.tdtu.uz) and information-educational portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:

Safarov Jasur Esirgapovich

doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Mannanov Ulugbek Vasikovich

doctor of technical sciences, professor

Kurbanov Jamshed Majidovich

doctor of technical sciences, professor

Leading organization:

Fergana polytechnic institute

The defense of the dissertation will take place 12 » 03 2024 at 14⁰⁰ the meeting of Scientific council DSc.03/30.12.2019.T.04.01 at the Tashkent chemical-technological institute. (Address:100011, Tashkent, Shaykhontohur region, A.Navoi St., 32. phone.: (99871 244-79-21, fax: +99871 244-79-17, email: tkti_info@edu.uz).

The dissertation has been registered at the information resource of the Tashkent chemical technological institute under № 772 address: Navoi str., 32, Tashkent, 100011, Administrative building of the Tashkent chemical technological institute, Tel.: +998-71-244-79-20).

The dissertation author's abstract was sent out on 2 » 03 2024.
(mailing protocol № 412 of « 2 » 03 2024.



S.M.Turabdjонов

Chairman of scientific council for
awarding of scientific degree,
doctor of technical sciences, professor, academician

Kh.I.Qodirov

Scientific secretary of scientific council
awarding of scientific degree,
doctor of chemical sciences, docent

K.P.Serkaev

Chairman of scientific seminar under scientific
council on award of scientific degree,
doctor of technical sciences, docent

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the study is to improve the convective equipment and pumpkin drying process.

The object of the study pumpkin was taken as the object of study, and existing drying methods and technologies of the company Sunny Land Products LLC were used.

The scientific novelty of the study is as follows:

the optimal parameters for pumpkin drying were determined and an optimal drying model was developed for each parameter (speed, temperature and humidity) in accordance with the Midilli model;

it was found that the effective diffusion coefficient corresponds to air flow rates at air temperatures of 45, 55 and 65 °C;

it was found that the value of the coefficient of determination R^2 for a drying temperature of 65 °C, the value of the standard error χ^2 were 0,99 and 0,0001 in accordance with the Midilli model;

as a result of regression analysis of theoretical and experimental studies, it was found that the Midilli model corresponds to the product shrinkage efficiency values depending on the moisture content;

in order to increase the efficiency of the drying process, an energy-saving convective drying equipment using alternative energy was developed.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained on the improvement of the heat flow process of the convective pumping dryer:

introduction into industrial production: development of equipment and technology for drying pumpkin while preserving biologically active additives at Sunny Land Products LLC (certificate of the Association of the Food Industry of Uzbekistan, №17-98/11-23 dated November 17, 2023). As a result of the use of highly efficient technology, product yield increased by 1,1 times, and losses of raw materials decreased by 9%;

the pumpkin drying method has been introduced into the production of Sunny Land Products LLC (certificate of the Association of the Food Industry of Uzbekistan, №17-98/11-23 dated November 17, 2023). As a result, this made it possible to use highly effective technologies while preserving 90-95% of the biologically active substances of the final product.

the improved convective drying equipment and pumpkin drying technology was introduced into the practice of Sunny Land Products LLC (certificate of the Association of the Food Industry of Uzbekistan, №17-98/11-23 dated November 17, 2023). As a result of the introduction of a highly efficient energy-saving drying unit using convection and due to the optimal choice of design, it was possible to consume 1,4 times less electricity compared to existing technologies and installations.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation work consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of the used literature and appendices. The volume of the dissertation is 118 pages, includes 43 figures and 42 tables.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Понасенко А.С., Самандаров Д.И., Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э. Разработка технологии сушки растительного сырья. // *Universum: технические науки.* –Москва, 2022. №12(105), часть 2. –С.33-37. (02.00.00; №1).
2. Ponasenko A., Safarov J., Sultanova Sh. Mathematical modelling of the pumpkin drying process. // *Technical science and innovation.* –Tashkent, 2023. №3. P.180-188. (www.uzjournals.uz).
3. Понасенко А.С., Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э. Результаты экспериментальных исследований процесса сушки. // *Universum: технические науки.* –Москва, 2023. №5(110), часть 3. –С.36-39. (02.00.00; №1).
4. Safarov J.E., Sultanova Sh.A., Ponasenko A.S., Dadaev G.T. Results of the study of the pumpkin drying process. // *Chemical technology control and management.* -Tashkent. №4 (112), 2023. P.9-14. (02.00.00; №10).
5. Ponasenko A.S., Safarov J.E., Sultanova Sh.A. Improvment convective drying equipment. *Technical science and innovation.* –Tashkent, 2023. №4. P.65-69.
6. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Понасенко А.С. Расчёт эффективного коэффициента диффузии и энергии активации // *Проблемы энерго- и ресурсосбережения.* –Ташкент. 2023. №4. -С.422-432. (05.00.00; №21).
7. Понасенко А.С., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Исследование баланса массы в тепловом потоке воздуха. // *Проблемы энерго- и ресурсосбережения.* – Ташкент. 2023. Спец. Вып. №84. -С.439-446. (05.00.00; №21).
8. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Понасенко А.С., Дадаев Г.Т. Численное исследование сушки пищевых продуктов различной геометрической формы методом принудительной конвекции. // *Central Asian Food Engineering and Technology.* -Tashkent. Vol.1. 2024. -С.86-96. (ОАК раёсатининг 2023 йил 28 февралдаги 333/5-сон қарори).
9. Понасенко А.С., Султанова Ш.А., Самандаров Д.И., Сафаров Ж.Э. Результаты экспериментального исследования теплового воздушного потока в процессе сушки. // *Universum: технические науки.* –Москва, 2024. №01(118), часть 3. –С.5-9. (02.00.00; №1).

II бўлим (II часть; II part)

10. Ponasenko A.S., Saparov D.E., Sulstonova S.A., Samandarov D.I., Azimov A.T. Theoretical study and mathematical calculations of the pumpkin drying process. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* AEGIS-III-2023. 1231 (2023) 012040. P.1-7.
11. Султанова Ш.А., Понасенко А.С., Сафаров Ж.Э. Энергосберегающая способ сушка тыквы. III Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы системы электроснабжения». Ташкент, 2023. -С.60-61.

12. Ponasenko A.S., Safarov J.E. Fruit drying technologies. Materials of the republican scientific-practical conference on the topic «Introduction of innovative technologies in the food and chemical industry». Part 1. Namangan, 2023. – P.223-225.

13. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Понасенко А.С. Теоретическое исследование процесса сушки. Материалы республиканской научно-практической конференции на тему «Внедрение инновационных технологий в пищевой и химической промышленности». Часть 1. Наманган, 2023. – С.221-223.

14. Понасенко А.С., Сафаров Ж.Э. Анализ сушильных установок и способов сушки сельскохозяйственных и пищевых продуктов. III-Международный научно и научно-технической конференции «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2023. Часть 1. - С.364-365.

15. Понасенко А.С., Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э. Исследование факторов, влияющих на процесс сушки пищевых продуктов. III-Международный научно и научно-технической конференции «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2023. Часть 1. -С.374-375.

16. Понасенко А.С., Сафаров Ж.Э. Исследование конвективной сушки пищевых продуктов. Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские Чтения-19» Посвященной 110-летию М.А.Гендельмана». –Астана, 2023. -С.374-377.

17. Понасенко А.С., Сафаров Ж.Э. Исследование технологии сушки растительного сырья. Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские Чтения-19» Посвященной 110-летию М.А.Гендельмана». –Астана, 2023. -С.369-371.

18. Ponasenko A., Safarov J., Sultanova Sh. Studying the technology of drying products. Proceedings of the XXIX International Multidisciplinary Conference «Prospects and Key Tendencies of Science in Contemporary World». Bubok Publishing S.L., Madrid, Spain. 2023. -P.45-50.

19. Понасенко А.С., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Состояние и перспективы развития конвективных установок и сушки тыква. III Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы системы электроснабжения». Ташкент, 2023. -С.235-237.

20. Понасенко А.С., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Исследование характеристики тыквы. Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в промышленной инженерии». Бухара, 2023. -С.127-128.

21. Сафаров Ж.Э., Самандаров Д.И., Понасенко А.С., Султанова Ш.А. Исследование конвективной сушки тыквы. Международная научно-практическая конференция «Инновационные решения проблем в области химической технологии, химической и пищевой промышленности». Наманган, 2023. С.528-531.

22. Понасенко А.С., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Состояние и пути совершенствования способов сушки тыквы. Международной научно-

практической конференции «Инновационные решения в промышленной инженерии». Бухара, 2023. С.129-130.

23. Panasenko A.S., Safarov J.E. Development of experimental equipment for vegetables and fruits. Proceedings of the 3rd International Conference on Raw Materials to Processed Foods Istanbul, Turkey, 18-19 May, 2023. P.53.

24. Safarov J.E., Panasenko A.S., Sultanova Sh.A. Energy efficient technology for drying food. Proceedings of the 3rd International Conference on Raw Materials to Processed Foods Istanbul, Turkey, 18-19 May, 2023. P.54.

25. Sultanova Sh.A., Ponasenko A.S., Safarov J.E., Usenov A.B. Research on drying pumpkin. International scientific conference “Academic research in modern science”. USA, 2024. P.134-139. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10522002>

26. Sultanova Sh.A., Ponasenko A.S., Safarov J.E. Analysis of food drying plants. International scientific conference “Models and methods in modern science”. France, 2024. P.123-129. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10522022>.

Автореферат «Кимё ва кимё технологияси» журнали таҳририятида тахрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Босмахона лицензияси:



9338

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.

Рақамли босма усулда босилди.

Шартли босма табағи: 2,75. Адади 100 дона. Буюртма № 15/24.

Гувоҳнома № 851684.

«Тірографф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.

Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.