



ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2025_1_93
MFTAA 55.65.41

А.Х. Хамитбек¹, А.Е. Кайрбаева², М.Х. Бутабаев³, С.Ж. Оралбаев⁴, К.К. Мухамадиева⁵

Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

¹E-mail: khamitbekov00@mail.ru*

²E-mail: erkenovna111@mail.ru

³E-mail: butabaevmir@mail.ru

⁴E-mail: 60sarsen@mail.ru

⁵E-mail: kalima.02@mail.ru

БАЛҚАРАҒАЙ ЖАҢҒАҒЫНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕР КЕЗІНДЕ ҚАБЫҒЫНЫҢ БҰЗЫЛУЫНА ЖӘНЕ ЯДРОНЫҢ САҚТАЛУЫНА ЫЛҒАЛДЫЛЫҚТЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА РАЗРУШЕНИЕ СКОРЛУПЫ КЕДРОВОГО ОРЕХА И СОХРАННОСТЬ ЯДРА ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HUMIDITY ON THE DESTRUCTION OF THE CEDAR NUT SHELL AND THE PRESERVATION OF THE KERNEL UNDER MECHANICAL LOADS

Аңдатпа. Бұл зерттеудің мақсаты – ядроның тұтастығын сақтауға баса назар аударар отырып, балқарағай жаңғағының қабығының қысу және соққы жүктемелеріндегі механикалық қасиеттерін зерттеу. Жаңғақтарды өңдеу процесінде қабықтың тиімді бөлінуін қамтамасыз ету маңызды, сонымен бірге ядроның зақымдануын азайтады, өйткені ол жоғары тауарлық құндылықты білдіреді. Сынақтар қабықтың ылғалдылығының екі деңгейі (9 % және 13 %) бар балқарағай жаңғағының үлгілерінде жүргізілді, бұл ылғалдылықтың материалдың жүктеме әрекетіне әсерін бағалауға мүмкіндік берді.

Жұмыстың эксперименттік бөлігі қабықтың қысылу кезінде шағылуының шекті күшін және оны шағуға қажетті соққы энергиясын өлшеуді қамтыды. Ылғалдылығы 9 % болатын жаңғақтар сыну күшінің (85-90 Н) және соққы энергиясының (2.5-2.9 Дж) жоғары көрсеткіштерін көрсетті, бұл материалдың жоғары беріктігін көрсетеді. Ылғал үлгілер (13 %) статикалық және динамикалық жүктемелерге төзімділігі төмен болды, бұл ядроның зақымдану ықтималдығының жоғарылауымен бірге жүрді.

Бұл зерттеудің нәтижелері балқарағай жаңғағын өңдеумен айналысатын тамақ өнеркәсібі үшін өте маңызды. Қабықты өңдеуден бұрын оның ылғалдылық деңгейін бақылау ядроның зақымдану қаупін айтарлықтай төмендетуі мүмкін, бұл әсіресе өнімнің сапасы мен өндірістің экономикалық тиімділігін арттыру үшін маңызды. Ылғалдылығы 9 % жаңғақтар ядроның жақсы қорғанысын көрсетеді, бұл оларды автоматтандырылған өңдеу үшін қолайлы етеді.

Түйін сөздер: балқарағай жаңғағы, структурометр СТ-2, механикалық жүктемелер, ядро тұтастығы, ылғалдылық.

Аннотация. Целью данного исследования является изучение механических свойств скорлупы кедрового ореха при сжимающих и ударных нагрузках с упором на сохранение целостности ядра. Важно обеспечить эффективное разделение скорлупы в процессе обработки орехов, а также уменьшить повреждение ядра, поскольку это означает более высокую товарную ценность.

Испытания проводились на образцах кедрового ореха с двумя уровнями влажности скорлупы (9 % и 13 %), что позволило оценить влияние влажности на нагрузочное действие материала.

Экспериментальная часть работы включала измерение предельной силы разрушения скорлупы при сжатии и энергии удара, необходимой для её разрушения. Орехи с влажностью 9 % демонстрировали высокие показатели предельной силы разрушения (85-90 Н) и энергии удара (2.5-2.9 Дж), что свидетельствует о более высокой прочности материала. Влажные образцы (13 %) проявляли меньшую устойчивость как к статическим, так и к динамическим нагрузкам, что сопровождалось повышенной вероятностью повреждения ядра.

Результаты данного исследования имеют важное значение для пищевой промышленности, занимающейся переработкой кедровых орехов. Контроль уровня влажности скорлупы перед её механической обработкой может существенно снизить риск повреждения ядра, что особенно важно для повышения качества продукции и экономической эффективности производства. Орехи с влажностью 9 % демонстрируют лучшую защиту ядра, что делает их более предпочтительными для автоматизированной переработки.

Ключевые слова: кедровый орех, структурометр СТ-2, механические нагрузки, целостность ядра, влажность

Abstract. The purpose of this study is to study the mechanical properties of the cedar nut shell under compressive and shock loads with an emphasis on maintaining the integrity of the core. It is important to ensure effective separation of the shell during the processing of nuts, as well as to reduce damage to the kernel, since this means a higher market value. The tests were carried out on samples of pine nuts with two levels of shell moisture (9% and 13%), which allowed us to assess the effect of humidity on the loading effect of the material.

The experimental part of the work included measuring the ultimate fracture force of the shell during compression and the impact energy required for its destruction. Nuts with a moisture content of 9% showed high indicators of the ultimate breaking force (85-90 N) and impact energy (2.5-2.9 J), which indicates a higher strength of the material. Wet samples (13%) showed less resistance to both static and dynamic loads, which was accompanied by an increased probability of core damage.

The results of this study are important for the food industry engaged in the processing of pine nuts. Controlling the moisture level of the shell before machining it can significantly reduce the risk of damage to the core, which is especially important for improving product quality and economic efficiency of production. Nuts with a moisture content of 9% demonstrate better core protection, which makes them more preferable for automated processing.

Keywords: cedar nut, ST-2 structurometer, mechanical loads, core integrity, humidity.

Kіpіcne. Балқарағай жаңғағы қоректік заттардың көзі ғана емес, сонымен қатар оның ядросының тұтастығын өңдеу және сақтау тұрғысынан зерттеу нысаны болып табылады. Қабықты ядроға зақым келтірместен тиімді және қауіпсіз бөлу процесі тамақ өнеркәсібінде өзекті мәселе болып табылады, өйткені ядроның тұтастығы оның тауарлық құндылығына тікелей әсер етеді. Бұл тапсырманың қиындығы – балқарағай жаңғағының қабығы өте берік, ал ядросы нәзік, механикалық жүктемелердің әсерінен оңай зақымдалады (Hamitbek & Kairbaeva, 2024; Biao sheng & Jiang, 2022).

Балқарағай жаңғағын өңдеу кезінде жүктеменің екі негізгі түрі қолданылады: қысу және соққы. Олардың әрқайсысы қабық пен ядроға әртүрлі әсер етеді, ал қабықтың бұзылу механизмдерін түсіну ядроның зақымдануын азайтатын әдістерді жасауға көмектеседі. Қысу жаңғаққа әсер ететін жүктемені басқаруға мүмкіндік береді, бірақ күштің бір бөлігін ядроға беру қауіпі бар. Соққы әдістері қабықтың тез бөлінуінде тиімдірек болуы мүмкін, бірақ олар жоғары әсер ету энергиясына байланысты ядроның шағылу қаупін тудырады (Almendros & Martín-Lara, 2015; Altuntas & Ozkan, 2008).

Бұл зерттеудің мақсаты – ядроның зақымдануын азайтуға баса назар аудара отырып, балқарағай жаңғағының қабығын қысу және соққы жүктемесі кезінде бөлуді зерттеу. Әртүрлі механикалық әсерлердегі қабықтың қасиеттерін талдау қабықтың ядроның тұтастығын сақтай отырып, тиімді бұзылатын оңтайлы жағдайларды анықтайды. Зерттеу тамақ өнеркәсібі үшін практикалық шешімдерді ұсынуға көмектесетін қысу күші, соққы энергиясы және қабықтың ылғалдылығының оның механикалық қасиеттеріне әсері сияқты

эртүрлі параметрлерді қарастырады (Гладков, 2016; Хамитбек, Кайрбаева & Копылов, 2024; Cao et al., 2017; Bohnhoff, Lawson & Fischbach, 2019).

Жұмыс барысында алынған нәтижелер балқарағай жаңғағын өңдеудің жаңа әдістерін әзірлеу үшін, сондай-ақ жоғары беріктікті, тұрақтылықты және биожетімділікті біріктіретін материалдарды жасау үшін пайдаланылуы мүмкін. Сонымен қатар, бұл зерттеулер қалдықтарды азайту және тұрақты технологияларды дамыту бойынша жаһандық тенденцияларға сәйкес келетін табиғи ресурстарды тиімдірек пайдалануға көмектеседі (Gupta & Das, 2000; Güner & Dursun, 2003).

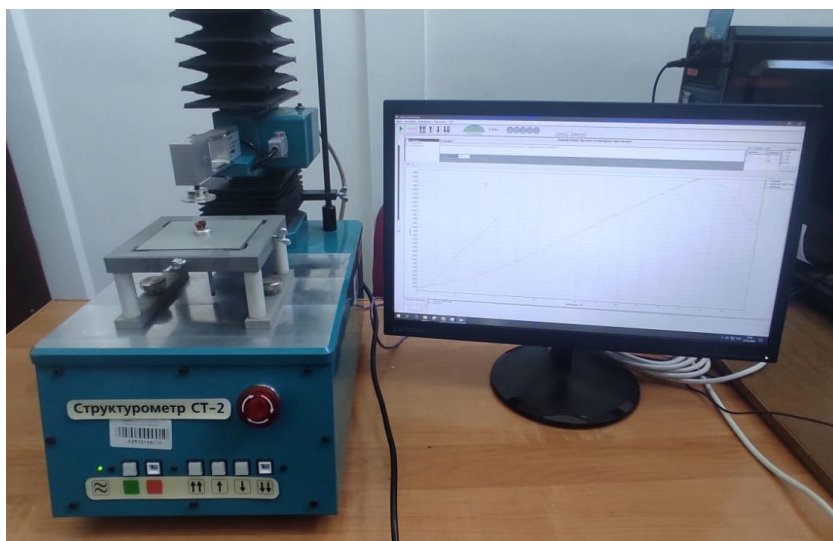
Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеу үшін ядроның сақталуына ерекше назар аударатын отырып, олардың қабығының қысу және соққы жүктемелеріндегі қасиеттерін зерттеу мақсатында балқарағай жаңғағының үлгілері таңдалды. Материалдарды іріктеу кезінде бірнеше критерийлер болды (Хамитбек, 2024; Altuntas & Erko, 2010).

Алғашқы критерий өлшемі мен пішіні болды, ол диаметрі 8-10 мм, қабығының қалыңдығы бірдей балқарағай жаңғақтары қолданылды. Бұл эксперимент шарттарын стандарттауға және өлшемнің нәтижелерге әсерін болдырмауға мүмкіндік берді.

Келесі критерий тұтастығы, тәжірибелер үшін тұтас қабығы мен бүтін ядросы бар жаңғақтар ғана таңдалды. Сынақ нәтижелерін бұрмалайтын алдын ала ақаулы үлгілерді болдырмау үшін визуалды тексеру жүргізілді.

Келесі ылғалдылығы, яғни үлгілердің ылғалдылық деңгейіне ерекше назар аударылды. Жаңғақтар қабықтың ылғалдылығы 9 % және 13 % болатын екі топқа бөлінді. Бұл ылғалдылық деңгейлері оның қабықтың механикалық қасиеттеріне әсерін және ядроға зақым келтірместен тиімді ыдырау қабілетін бағалау үшін таңдалды. Жаңғақтар осы параметрлерге жету үшін ылғалдандырылды немесе кептірілді және сынақ жүргізілгенге дейін тұрақты температурада герметикалық контейнерлерде сақталды.

Эксперименттер жүргізу үшін құрылғы және стенд пайдаланылды. Структурометр СТ-2 жаңғақ үлгілеріне қысу жүктемесін жасауға арналған құрылғы (1-сурет). Бұл құрылғы қолданылатын күшті 0,1 Н дәлдікпен басқаруға мүмкіндік береді және қабықтың сыну сәтіне дейін қысымның біркелкі өсуін қамтамасыз етеді (Gavilán & Meriño-Gergichevich, 2024; Polat & Aydin, 2007; Zhao et al., 2011). Қолданылатын күш әр үлгі үшін одан әрі талдаумен бекітілді.



1-сурет. Структурометр СТ-2 қысу жүктемесін беретін құрылғы

Ескерту: автормен құрастырылған

Соққы күшін зерттеу стенді жаңғақтарға соққы жүктемесін жасау үшін арнайы стенд қолданылды (2-сурет). Стендте салмағы 30 және 40 грамм жүктер пайдаланылды, олар бекітілген биіктіктен жаңғақ қабығына тасталды. Қабықты шағу үшін қажетті соққы энергиясы өлшенді және сынақтан кейін ядроның күйі жазылды.



2-сурет. Соққы жүктемесін есептеуге арналған эксперименттік стенд
Ескерту – автормен құрастырылған

Соққы күшін сынау кезінде қабыққа құлаған кезде соққы энергиясына ауысатын жүктің потенциалдық энергиясын анықтау формуласы қолданылды (Козлова, 2019):

$$E = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

мұндағы: E – соққы энергиясы (Дж); m – жүктің салмағы (кг); g – ауырлық күшінің үдеуі ($9,81 \text{ м/с}^2$); h – жүктің құлау биіктігі (м).

Бұл формула қабықты бұзуға қажетті энергия мөлшерін есептеуге мүмкіндік береді.

Тәжірибелер әртүрлі биіктіктен құлаған салмағы 30 г және 40 г жүктермен жүргізілді. Осылайша, соққы энергиясының жоғарылауымен қабықтың қасиеттері қалай өзгеретінін бағалауға болады.

Алғашқысы қысу сынағы, ол әртүрлі ылғалдылық деңгейлері бар балқарағай жаңғағының қабығының беріктігін бағалау үшін сығымдау сынақтары жүргізілді.

Үлгілерді дайындау: ылғалдылығы 9 % және 13 % жаңғақ үлгілері СТ-2 структурометріне орналастырылды. Әрбір үлгі жүктемені қабықтың бүкіл бетіне біркелкі тарату үшін орнатылды. Жүктеме қолданбасы: жүктеме қабық сынғанға дейін біркелкі өсті. Шағылу сәтінде әрбір үлгі үшін шекті күш бекітілді. Тәжірибелерді қайталау: әрбір ылғалдылық деңгейі үшін қателерді азайту және шекті шағылу күшінің орташа мәндерін алу үшін 5 сынақ жүргізілді. Ядроның зақымдануын талдау: әр сынақтан кейін ядроны тексеру жүргізілді. Әрі қарай талдау үшін ядроның зақымдануы немесе болмауы тіркелді.

Балқарағай жаңғағының қабығының динамикалық жүктемелерге төтеп беру қабілетін бағалау үшін соққы сынақтары жүргізілді. Үлгілерді дайындау: жаңғақ үлгілері стендке қабықтың ортасында соққы болатындай етіп орналастырылды. Бұл соққы жүктемесінің біркелкі таралуын қамтамасыз етті. Соққы күшін қолдану: әр үлгіге салмағы 30 г және 40 г жүктер бекітілген биіктіктен тасталды. Қабықты шағу үшін қажетті соққы энергиясы бекітілді. Тәжірибелерді қайталау: әрбір ылғалдылық деңгейі үшін деректердің сенімділігін арттыру үшін 5 сынақ жүргізілді. Ядроның зақымдануын талдау: әр сынақтан

кейін ядроның зақымдануын тексеру жүргізілді.

Ылғалдылығы төмен жаңғақтар (9 %) қысу және соққы жүктемелеріне үлкен қарсылық көрсетті. Төмен ылғалдылық жағдайында қабық қаттырақ және механикалық кернеуге төзімді болды. Сығымдау жүктемесінде ол үлкен сыну күшін көрсетті, бұл оның ылғалды үлгілермен салыстырғанда үлкен беріктігін көрсетеді. 9 % ылғалдылығы бар қабық соққы энергиясын тиімдірек сіңірді, бұл соққы күшін сынау кезінде ядроның зақымдану ықтималдығын азайтты.

Ылғалдылығы жоғары жаңғақтар (13 %) механикалық әсерге төзімділігі төмен болды. Қабық 13 % ылғалдылықта иілгіш болды және қысу күшінің әсерінен тезірек деформацияланды. Мұндай үлгілер үшін сынудың шекті күші ылғалдылығы 9 % болатын үлгілерге қарағанда төмен болды. Соққы жүктемесі жағдайында мұндай үлгілер ядроларға жиі зақым келтірді, өйткені жұмсақ қабық энергияның көп бөлігін ішкі ядроға берді, бұл оның бұзылу қаупін арттырды.

Нәтижелер және оларды талқылау. Балқарағай жаңғағының қабығының әртүрлі ылғалдылықтағы қысу және соққы жүктемесіндегі қасиеттерін зерттеу оның механикалық қасиеттерін түсіну үшін маңызды заңдылықтарды анықтады. Бұл бөлімде жүргізілген сынақтардың нәтижелері, сондай-ақ ылғалдылықтың ядроға зақым келтірместен қабықты жару үшін қажетті сынудың шекті күшіне және соққы энергиясына әсері туралы талқылау берілген.

Сығымдау сынақтарының нәтижелері 1-кестеде көрсетілген. Кестеде екі ылғалдылық деңгейі (9 % және 13 %) бар бес үлгі үшін қабықтың сынуының шекті күші туралы деректер бар, сонымен қатар ядроның зақымдануы бар-жоғы көрсетілген.

1-кесте. Сығымдау сынақтарының нәтижелері

Эксперимент нөмірі	Ылғалдылық (%)	Үлгі №	Шағылудың шекті күші, (Н)	Ядроның зақымдануы
1	9	1	85	Жоқ
2	9	2	87	Иә
3	9	3	89	Жоқ
4	9	4	90	Жоқ
5	9	5	88	Иә
6	13	1	75	Жоқ
7	13	2	77	Жоқ
8	13	3	76	Иә
9	13	4	78	Жоқ
10	13	5	74	Иә

Ескерту – автормен құрастырылған

Соққы күшін сынау нәтижелері 2-кестеде көрсетілген. Бұл кестеде жүктің массасын, соққы энергиясын және ядроның зақымдануы туралы ақпаратты қоса алғанда, бес үлгінің нәтижелері берілген.

2-кесте. Соққы күшін сынау нәтижелері

Эксперимент нөмірі	Ылғалдылық (%)	Үлгі №	Жүктің салмағы (г)	Соққы энергиясы (Дж)	Ядроның зақымдануы
1	9	1	30	2,5	Иә
2	9	2	40	2,8	Иә
3	9	3	30	2,6	Жоқ
4	9	4	40	2,9	Иә
5	9	5	30	2,7	Жоқ
6	13	1	30	1,4	Жоқ

7	13	2	40	1,6	Жоқ
8	13	3	30	1,5	Жоқ
9	13	4	40	1,7	Жоқ
10	13	5	30	1,5	Иә

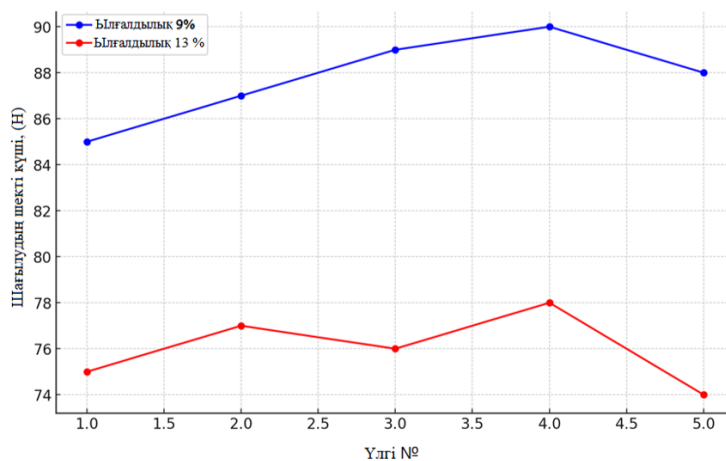
Ескерту – автормен құрастырылған

Сығымдау сынақтарында келесі тәуелділік тіркелді (3-сурет):

– 9 % ылғалдылығы бар жаңғақтар шағылудың жоғары шекті күшін көрсетті (85 Н-ден 90 Н-ға дейін). Ылғалдылығы төмен қабық қысылуға төзімді болып шықты, бұл оның қаттылығы мен деформацияға төзімділігіне байланысты.

– 13 % ылғалдылығы бар жаңғақтар аз төзімді болып шықты, сынудың шекті күші 74 Н-ден 78 Н-ге дейін өзгерді.

– 9 % ылғалдылықтағы қабық қаттырақ және қаттырақ құрылымға ие, бұл оған үлкен жүктемелерге сынбай төтеп беруге мүмкіндік береді. 13 % ылғалдылығы бар үлгілердегі ылғал талшықтар арасындағы байланыстарды әлсіретеді, бұл сынудың шекті күшін азайтады. Ылғалдылықтың жоғарылауы қабықтың статикалық жүктемелерге төзімділігін төмендетеді, бұл оны қайта өңдеу кезінде тезірек шағуға әкелуі мүмкін.



3-сурет. Сығымдау сынағы нәтижелерінің графигі

Ескерту – автормен құрастырылған

Соққы күшін сынау кезінде келесі тәуелділік байқалды (4-сурет):

– 9 % ылғалдылығы бар жаңғақтар да соққыға төзімділікті көрсетті. Қабықты шағу үшін қажетті соққы энергиясы 2,5 Дж-ден 2,9 Дж-ға дейін болды.

– 13 % ылғалдылығы бар жаңғақтар соққы энергиясының төмен мәндерін көрсетті – 1,4 Дж-ден 1,7 Дж-ге дейін, бұл қабықтың динамикалық жүктемелерді ұстап тұру қабілетінің төмендігін көрсетеді.

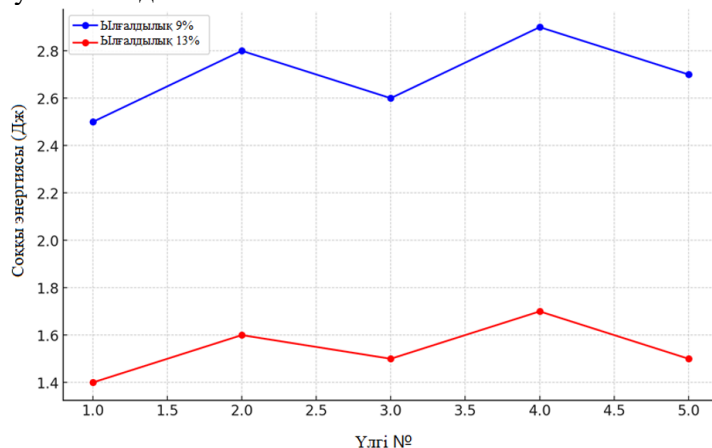
Құрғақ қабық (9 % ылғалдылық) күштірек және соққыға төзімді болып шықты. Төмен ылғалдылықта қабық соққы энергиясын жақсы сіңіреді және таратады, бұл оған үлкен соққыларға тез арада жойылмай төтеп беруге мүмкіндік береді. 13 % ылғалдылығы бар үлгілер жағдайында ылғал қабықтың ішкі байланыстарын әлсіретеді, бұл оны соққы кезінде сынғыш сынуға бейім етеді. Бұл механикалық өңдеу кезінде ядроға зақым келтіруі мүмкін, бұл өнеркәсіпте өте қажет емес.

Зерттеудің маңызды аспектісі қабықтың сынуы кезінде ядроның тұтастығын сақтау болды. нәтижелер көрсетті:

– 9 % ылғалдылықта жаңғақ ядросы қысу кезінде де, соққы кезінде де өзгеріссіз қалды.

Қатты қабық жүктеменің негізгі бөлігін қабылдай отырып, ядроны тиімді қорғады.

– 13 % ылғалдылықта көп жағдайда ядро зақымдалды. Себебі жұмсақ және икемді қабық тезірек ыдырап, жүктеменің бір бөлігін ядроға өткізіп, оның деформациясына немесе зақымдалуына әкелді.



4-сурет. Соққы күшін сынау нәтижелерінің графигі

Ескерту – автормен құрастырылған

Жаңғақтарды механикалық өңдеуден бұрын ылғалдылық деңгейін бақылау ядролардың зақымдануын азайтуда шешуші рөл атқаруы мүмкін. 9 % ылғалдылығы бар үлгілер қабықтың беріктігінің арқасында ядроны жақсы қорғайды. Ылғал жаңғақтар ядролардың зақымдану қаупін азайту үшін мұқият өңдеуді қажет етеді.

9 % ылғалдылықтағы балқарағай жаңғағының қабығы қысу кезінде де, соққы кезінде де жақсы нәтиже көрсетті. Ол 13 % ылғалдылығы бар үлгілерге қарағанда тұрақты және өзегін жақсы қорғады. Себебі төмен ылғалдылық материалдың қаттылығын сақтауға көмектеседі, бұл оны деформацияға бейім етеді.

Қысу жүктемелерінде қабықтың бұзылуы біртіндеп жүреді, бұл ядроның қауіпсіздігін сақтауға мүмкіндік береді. Соққы жүктемелерінде, әсіресе жоғары ылғалдылықта, ыдырау тезірек жүреді, бұл ядроның зақымдану ықтималдығын арттырады (Fan & Zhang, 2023).

Бұл зерттеудің нәтижелері балқарағай жаңғағын өңдеумен айналысатын тамақ өнеркәсібі үшін маңызды практикалық мәнге ие. Өңдеу алдында қабықтың ылғалдылығын бақылау ядроның зақымдану ықтималдығын айтарлықтай төмендетіп, өңдеу процестерінің тиімділігін арттыруы мүмкін.

Қорытынды. 9 % ылғалдылығы бар жаңғақтар 13 % ылғалдылық үлгілерімен салыстырғанда қысу және соққы жүктемелеріне жоғары төзімділікті көрсетеді. Қабықтың ылғалдылығын 9 %-ға дейін төмендету ядроның зақымдануын азайтуға мүмкіндік береді, бұл өнімнің сапасын жақсарту үшін маңызды. Жаңғақтарды өңдеуден бұрын ылғалдылықты бақылау өндірістік процестердің тиімділігін едәуір арттырып, зақымдалған ядролардың пайызын төмендетуі мүмкін.

Бұл нәтижелер тамақ өнеркәсібіндегі технологиялық процестерді оңтайландыру үшін, сондай-ақ жаңғақтар мен басқа да азық-түлік өнімдерін механикалық өңдеу бойынша қосымша зерттеулер жүргізу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс. Бұл зерттеуді жасауға атсалысқан Алматы технологиялық университетінің «Өндірістік үдерістердің машиналары және аппараттары» кафедрасының ұжымына алғысымызды білдіреміз.

Ғылыми мақаланы жазу процесінде генеративті ЖИ және оның көмегімен технологияны қолдану туралы хабарлама. Бұл жұмысты дайындау кезінде авторлар генеративті ЖИ қолданылмағаны туралы хабарлайды.

Әдебиеттер тізімі

- Hamitbek A., Kairbaeva A. (2024). Experimental studies for the Development of special equipment for cleaning cedar nuts from the shell. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*, 333(2), 34-40. <https://doi.org/10.31643/2025/6445.15>
- Козлова Н.А. (2019).** «Влияние влажности ореха на процесс его разрушения» *Молодой ученый*, 51, 83-86 // Kozlova, N.A. (2019). "Vliyanie vlazhnosti orekha na process ego razrusheniya." *Molodoj uchenyj*, 51, 83-86.
- Гладков В.П. (2016).** «Влияние условий хранения на сохранность орехов». *Хранение и переработка сельхозпродукции*, 5(3), 37-43. // Gladkov, V.P. (2016). "Vliyanie uslovij hraneniya na sohrannost' orekhov." *Hranenie i pererabotka sel'hozprodukcii*, 5(3), 37-43.
- Almendros A.I., Martín-Lara M.A. (2015) Physico-chemical characterization of pine cone shell and its use as biosorbent and fuel. *Bioresource Technology*; 196:406-412. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.-2015.07.109>
- Biaosheng H., Jiang L. (2022) Applications of machine learning in pine nuts classification. *Scientific Reports.*; 8799. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12754-9>
- Хамитбек А.Х., Кайрбаева А.Е., Копылов М.В. (2024) Эксперименттік зерттеулер нәтижесінде балқарағай жаңғағының қабығын шағу күшін анықтау. – No 1, 2024 «ШҚТУ ХАБАРШЫСЫ», 278-288 б. // Hamitbek A.H., Kairbaeva A.E., Kopylov M.V. (2024) Eksperimenttik zertteuler nätijesinde balqarağai jañğaqunıñ qabyğın şağı küşin anyqtau. – No 1, 2024 «ŞQTU HABARŞYSY». – 278-288 b.
- Altuntas E., & Ozkan Y. (2008). "The Effects of Moisture Content, Compression Speeds, and Axes on Mechanical Properties of Walnut Cultivars." *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1288–1295.
- Cao C. M., Sun S., Ding R., Li B., & Wang S. (2017). "Experimental Study on Mechanical Characteristics of Nut Rupturing under Impact Loading." *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(1), 53-60.
- Bohnhoff D.R., Lawson K.S., & Fischbach J.A. (2019). "Recent Studies in Mechanical Properties of Selected Hard-Shelled Seeds: A Review." *JOM*, 62(5), 1087-1095.
- Gupta R.K., & Das S.K. (2000). "Fractural Resistance of Sunflower Seed and Kernel to Compressive Loading." *Journal of Food Engineering*, 46, 1-8.
- Güner M., Dursun E., & Dursun I. G. (2003). "Mechanical Behavior of Hazelnut Under Compression Loading." *Biosystems Engineering*, 85(4), 485-491.
- Polat B., & Aydin C. (2007). "Some Physical and Mechanical Properties of Pistachio Nut." *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 13, 237-246.
- Fan X., & Zhang Y. (2023). "Determination of Critical Moisture Content Facing Walnut Shell Breaking and Optimization of Combined Hot Air and Microwave Vacuum Drying Process." *Applied Sciences*, 13(24), 13287.
- Gavilán G., & Meriño-Gergichevich C. (2024). "Hazelnut and Walnut Nutshell Features as Emerging Added-Value Byproducts of the Nut Industry: A Review." *Plants*, 13(7), 1034.
- Altuntas E., & Erkol M. (2010). "The Effects of Moisture Content on Mechanical Properties of Walnut Shell." *Czech Journal of Food Sciences*, 28(6), 547-555.
- Хамитбек А.Х. (2024) Балқарағай жаңғағының ылғалдылығының шағылу күшіне әсерін анықтау [Мәтін] / А.Х. Хамитбек, А.Е. Кайрбаева, М.В. Копылов // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – №2(84). – Б. 9-22. <https://doi.org/10.55956/RQQT4151> // Hamitbek, A.H. (2024) Balqarağai jañğaqunıñ ылғалдылығының шағылу күшіне әсерін анықтау [Mätin] / A.H. Hamitbek, A.E. Kairbaeva, M.V. Kopylov // Mehanika және tehnologialar / Ғылыми журнал. – №2(84). – Б. 9-22.**
- Zhao S.G., Zhao Y.P., Wang H.X., Gao Y., Zhang Z.H., & Feng D.L. (2011).** "Factors Affecting Nutshell Structure of Walnut." *Scientia Silvae Sinicae*, 47(4), 70-75.

Information about authors

Khamitbek Ayat Khayyrzhanovich – Master of Technical Sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, khamitbekov00@mail.ru, ORCID:0000-0003-2321-7686, +7 747 573 56 96

Kairbaeva Ainura Erkenovna – PhD, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, erkenovna111@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9578-7795

Butabaev Mir Haliullaevich – Master of Technical Sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, butabaevmir@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4927-6318

Oralbaev Sarsembek Zhumataevich – c.t.s. , Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, 60sarsen@mail.ru , [ORCID: 0000-0002-4508-432X](https://orcid.org/0000-0002-4508-432X)

Muhamadieva Kalima Kurmankanovna – Master of Technical Sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, kalima.02@mail.ru, [ORCID: 0000-0002-0336-9167](https://orcid.org/0000-0002-0336-9167)