

# **O‘ZBEKISTON AGRAR FANI XABARNOMASI**

№ 2 (8/2) 2023  
(maxsus son)



**ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ  
УЗБЕКИСТАНА**

**BULLETIN OF THE AGRARIAN SCIENCE OF  
UZBEKISTAN**



**LOYIHA RAHBARI VA  
TASHABBUSKORI:**

O'zbekiston Respublikasi  
Qishloq xo'jaligi vazirligi  
Toshkent davlat agrar universiteti

**BOSH MUHARRIR:**

Kamolitdin SULTONOV  
Bosh muharrir o'rinbosari:  
Laziza G'OFUROVA

**IJROCHI DIRECTOR:**

Baxtiyor NURMATOV

**MAS'UL KOTIB:**

Ubaydullo RAHMONOV

**DIZAYNER-SAHIFALOVCHI:**

Denislam ALIMKULOV

Nashr O'zbekiston Respublikasi  
Oliy attestatsiya komissiyasining  
ilmiy jurnallar ro'yhatiga olingan.

O'zbekiston Respublikasi  
Prezidenti huzuridagi Axborot va  
ommaviy kommunikatsiyalar  
agentligi tomonidan 2022-yil 25  
fevralda 1548-sonli guvohnoma  
bilan qayta ro'yxatga olingan.

Jurnal 2000 yil aprel oyidan tashkil topgan jurnal  
bir yilda 6 marta chop etiladi.

Bosishga ruxsat etildi: 15.05.2023.  
Qog'oz bichimi 60x84<sup>1/8</sup>

Offset usulida cosildi. Biyurtma №  
Adadi: 100 nusxa.

«Agrar fani xabarnomasi» MCHJ bosmaxonasida  
chop etildi.

Korxonada manzili: Toshkent viloyati, Qibray  
tumani. Universitet ko'chasi, 2-uy

# O'ZBEKISTON AGRAR FANI XABARNOMASI

№ 2 (8/2) 2023

Ilmiy-amaliy jurnal

**Tahrir hay'ati raisi:**

**Воитов Азиз Ботирович**  
O'zbekiston Respublikasi  
Qishloq xo'jaligi vaziri

**Tahrir hay'ati a'zolari:**

<b>Sh.Teshaev</b>	<b>M.Mazirov</b>
<b>K.Sultonov</b>	<b>Sh.Nurmatov</b>
<b>S.Islamov</b>	<b>U.Norqulov</b>
<b>A.Abduvasikov</b>	<b>N.Noraliev</b>
<b>X.Mardonov</b>	<b>E.Berdiev</b>
<b>A.Xasanov</b>	<b>S.Sharipov</b>
<b>S.Yuldasheva</b>	<b>T.Shamsiddinov</b>
<b>X.Bo'riev</b>	<b>Y.Yuldashev</b>
<b>I.Vasenov</b>	<b>U.Ballasov</b>
<b>R.Dustmuratov</b>	<b>K.Buxorov</b>
<b>A.Qayumov</b>	<b>S.Jo'raev</b>
<b>I.Karabaev</b>	<b>M.Odinaev</b>
<b>S.Yunusov</b>	<b>Ch.Begimqulov</b>
<b>I.Rustamova</b>	<b>B.Kamoliv</b>
<b>N.Rajabov</b>	<b>B.Qaxramonov</b>
<b>M.Yuldashov</b>	<b>S.Isamuxamedov</b>

**Ta'sischi:**

**Agrar fani xabarnomasi MCHJ**

**Manzil:** 100164, Toshkent, Universitet ko'chasi 2-uy,  
ToshDAU.

**Tel:** (+99871) 260-44-95. Faks: 260-38-60.

**e-mail:** [nurmatovbaxtiyor868@gmail.com](mailto:nurmatovbaxtiyor868@gmail.com)

Maqolada keltirilgan fakt va raqamlar uchun  
mualliflar javobgardir.

**ВЕСТНИК АГРАРНОЙ НАУКИ  
УЗБЕКИСТАНА**

**BULLETIN OF THE AGRARIAN  
SCIENCE OF UZBEKISTAN**

## МУНДАРИЖА

### I - sho'ba

#### Aqlli qishloq xo'jaligi asosiy yo'nalishlari va boshqaruv jarayonlarini elektron tashkil etishning konseptual asoslari

Noraliev N.X., Sultonov K.S. Aqlli qishloq xo'jaligi texnologiyalari. Muammolar va yechimlar.....	6
Каршиев З.А., Рахманов Х. Э. Анализ временных рядов индексов растительности для мониторинга сельскохозяйственных культур на облачной платформе Google Earth Engine.....	9
Nuraliyev F.M., Modullayev J.S. Video oqimidagi obyektarni aniqlash usullari va algoritmi taxlili.....	12
Nuraliyev F. M., Alisher Z. Q. Dorivor va qishloq xo'jaligi o'simliklarini kosmosda va yerda rivojlanish jarayonini vizual tahlil qilish usullari va vositalari.....	15
Тошпўлатов Д.Ш., Маматкулов Қ.Э. Қишлоқ хўжалиги корхоналарида рақамли технологиялардан самарали фойдаланиш тизимини такомиллаштириш.....	19
Qurbonova M.F., Sultonov G.Sh. Ta'lim samaradorligini oshirishda elektron o'quv resurslarining roli.....	22
Хантбоев К. Некоторые проблемы обеспечения сельского хозяйства ит-специалистами и рекомендации по их решению.....	25
Норалиев Н.Х., Кудоева Ф.Х. Технические и программные средства умного сельского хозяйства.....	28
Ходжакулов М. Интернет вещей как инструмент оптимизации процессов в сельском хозяйстве.....	31
Орифжонova У., Қорабошев О.З. Қишлоқ хўжалигида сунъий интеллект ва machine learning алгоритмларидан фойдаланиш.....	35
Жуманазаров С.С., Юсупова Ф.Э. Мўминова Д.Т. Талабаларнинг рақамли саводхонлигини шакллантириш масалалари.....	37
Саидов М.Х., Султонов.К.С., Саидова Д.Н. Ўзбекистонда дуал олий таълим: ташкил этиш имкониятлари ва истиқболлари.....	39
Садикова Г.Ш. Қишлоқ хўжалиги йўналиши талабалари когнитив компетентлигини интегратив ёндашув асосида такомиллаштириш методикаси.....	42
Rasulov S.Sh. Talabalarining mustaqil ta'lim faoliyatini rivojlantirishda axborot kommunikatsion texnologiyalarining o'rni.....	44
Buribayeva G.N., Tojiboyeva D.Sh. Qishloq xo'jaligida raqamli texnologiyalar.....	46

### II-sho'ba

#### Qishloq xo'jaligi iqtisodiy jarayonlarni raqamlash- tirish, ishlab chiqarish va boshqaruv jarayonlarida matematik, statistik va taxlil usullari

Равшанов Н., Аминов С.М. Кўп қатламли ғовак мухитда деформацияланишни ҳисобга олган ҳолда нефт фильтрация жараёнини математик моделлаштириш.....	49
Shadmanova G., Xabibullaeva U. O'zbekistonda sitrus mevalarini yetishtirish va rivojlantirish muammolarini hal qilish yo'llarini ekonometrik tahlil qilish.....	55
Файзиев А.А., Фарманов Т.Х. Статистический анализ и прогнозирование динамика заготовления кокона в республике Узбекистан.....	57
Равшанов Н., Набиева И., Насруллаев П. А. Исследование процесса деградации акватории аральского моря и его влияния на окружающую среду.....	62
Рузметов К., Тургунов Т. Агроиктисодий прогноз муаммоларини ҳал этишда математик моделлар.....	67
Muradov F.A., Kucharov O.R., Karshiyev D.A., Eshboyeva N.F. Atmosferada zararli moddalarning atmosferada tarqalishini ifodalovchi modelni zichliklarni hisobga olgan holda sonli yechish.....	70
Muradov F.A., Kucharov O.R., Karshiyev D.A., Eshboyeva N.F. Zararli moddalarning atmosferada ko'chish va tarqalish jarayonlarini issiqlik energiyani hisobga olgan holda ishlab chiqilgan modelning sonli algoritmi.....	74
Turgunov T., Murodov J. Mamlakat rivojlanish strategiyasining asosiy omili - raqamli iqtisodiyotdir.....	78
Холиков А.А., Жумаев Ж. Математическое моделирование сушки лука с использованием метода полного факторного эксперимента.....	80
Egamberganov J.Q., Ismoilov D.A. Investitsiya faoliyatini moliyaviy boshqarish mexanizmini takomillashtirish yo'nalishlari.....	85
Mengnorov A., Turgunov T., Abduraximova M. Iqtisodiyotni raqamlashtirish sharoitida meva-sabzavotchilik tarmog'ini rivojlanishining ekonometrik tahlili.....	87
Авазов Б.М. Номаълум параметрларни статистик баҳолашда архимед копула функциялари.....	89
Rakhimboev M. Hausdorf o'lchami ma'nosida lebeg $\beta$ -nuqtalari va uning yordamida mukammal to'plamlarning miqdorini baholash.....	92
Kurbonbekova O.D. Matematik usullar yordamida fermer xo'jaliklarining iqtisodiy natijalarini tahlil qilish.....	97

Худоёров З.Ж., Джиянов М.Р., Халмуродов Т.Н., Маматқулов У.Қ., Умарова Ф.Ф. Қишлоқ хўжалик маҳсулотларини ташиш ишларини математик моделлаштириш.....	99
Одилова Ш.С., Захидов Д. Метод максимального правдоподобия для идентификации сообществ в сети на графах.....	103
Raxmonov S.R., Uskanov Sh.Q. <i>Chlorella Vulgaris</i> mikroalglarini yetishtirish texnologik jarayonining matematik modellashirish.....	107
Safarov.O.A. О некоторых обобщениях леммы бореля-контелли.....	113
Рахманова Ш.Ш. Хеджирование денежных потоков как потенциальный инструмент влияния на доходов хозяйствующих субъектов.....	114
Шадманов И.У. Моделирование и исследования взаимосвязанного тепло- и влагопереноса при хранении и сушке хлопка-сырца в бунтах.....	116

### III-sho'ba

#### Sug'orma dehqonchilik, o'simliklarni yetishtirish agrotexnikasi hamda selektsiya va urug'chilikni rivojlantirishda raqamli texnologiyalar

Axmurzayev Sh., Shodmanov M., To'xtashev B., Eshonqulov J. Soya dalasidagi zarpechakka qarshi qo'llanilgan pilot 10 % s.e.k. gerbitsidining iqtisodiy samaradorligi.....	122
Shamsiyev A., Norqulov U., Sheraliyev X., Eshonqulov J. Soya va kungaboqar navlarining sug'orish tartiblari bo'yicha iqtisodiy samaradorlik ko'rsatkichlari.....	124
Abdalova G.N., Pirmetova S.A. Foydalanishdan chiqib ketgan hamda eroziyaga uchragan yerlar unumdorligini tiklashda soyaning o'sishi va rivojlanishi.....	126
Азизов Б.М., Шукуруллаева Ф.М. Влияние сроков посева на рост и развитие озимой ржи в фазу кущения до зимовки.....	128
Saydullayev N.B. Bo'yoqdor ro'yan ( <i>Rubia tinctorum L.</i> ) o'simligini yetishtirish agrotexnologiyasi.....	131
Begmatov A.M., Xaydarov M.B. Steviya ( <i>Stevia rebaudiana bertonii L.</i> )ni yetishtirish texnologiyasi va dorivorlik hususiyati.....	134
Saydullayev N.B. Goji ( <i>Lycium barbarum</i> ) o'simligini yetishtirish texnologiyasi.....	136
Abdalova G.N., Shimbergenova G.J. Qoraqalpoqiston Respublikasi sho'rlangan yerlarida yem-xashak ekinlarining su'g'orish tartibini o'rganish.....	139
Charshanbiyev U.Yu., Odinayev O'. Biogumus kam xarajat – yuqori daromad.....	141
Якубов Ш.М., Ахмедов Э.Т., Эргашева И.Т. <i>Allium Tschimganicum b. Fedtsch</i> (мадор) ўсимлигини биолоэкологик хусусиятлари.....	143
Mamedova V.N. In-vitro usulida ko'chat yetishtirishning afzalliklari.....	146
Торениязов Т.Е. Данакли мева боғларида ширалар ривожини башорат қилиш ва қарши қурашни ташкиллаштириш.....	149
Торениязов Т.Е., Аннакулов Б.К. Қорақалпоғистон агробиоценози абиотик омиллар ўзгаришининг каналар турлари ривожига таъсирини белгилаш.....	152
Каримов Б.Т. Озеленение и благоустройство городской среды.....	154
Норқулов У., Низамова М., Эшонқулов Ж. Гидропоника усули билан помидор етиштиришда томчилатиб суғориш технологик жараёнларини автоматлаштириш модели.....	157

### IV-sho'ba

#### Qishloq xo'jaligida raqamli innovatsion texnika va texnologiyalardan foydalanish

Эшпулатов Д.Б. Технология цифровых двойников: перспективы внедрения в животноводстве.....	160
Утепбергенова В.М. Маданий яйловларни ривожлантиришда рақамли инновацион технологиялардан фойдаланиш.....	163
Нурiev К. К., Нурiev М.К. Применение цифровых технологий при определении тяговых сопротивлений рабочих органов.....	165
Халмуродов Т.Н., Исмоилов О.И. Қайта тикланувчи энергия манбаларининг ривожланиш истиқболлари.....	169
Худоёров З. Ж., Алланазаров М.А., Халмуродов Т.Н. Ёмғирлатиш интенсивлигининг тупроқ структурасига таъсири.....	173
Худоёров З.Ж. Ёмғирлатиш суғориш қурималари дефлекторли насадқасида сунъий ёмғир томчиси ҳосил бўлиши ва сув сарфи тадқиқотлари.....	176
Воқіyев А.А., Вотіров А.Н. Agrar soha elektr ta'minotida kombinatsiyalashgan mobil elektr stansiyasidan foydalanish.....	180
Норов С.Н., Баёзов Р.Р. Электр юритмали тракторларнинг иш унумдорлиги трансмиссиянинг автоматик уланишларга боғлиқлиги.....	184
Хазиев С.А., Горлова И.Г. Качества среза пустынных кормовых растений роторным режущим аппаратом косилки-копнителя.....	186
Таджибекова И.Э. Преимущество применения технологии обработки озонем продукции в различных отраслях сельского хозяйства.....	190
Mirzaxodjayev Sh.Sh., Xaytmatov Sh.M., Mamasov A.A., Shodiev X.B. Sabzovot ko'chatlarini ekish uchun taklif etilayotgan yangi texnologiyani asoslash.....	193

<b>Тўхтақўзиев А., Ражабов Б.Б.</b> Кенг камровли чизел-култиваторга ишлаб чиқилган мослама ғалтакмоласининг параметрларини назарий асослаш.....	196
<b>Турдиева М.Ё.</b> Комбинациялашган дискли борона текислагич-зичлагичининг баландлигини унинг иш кўрсаткичларига таъсири.....	199
<b>Ergashev M.M.</b> Kombinasiyalashgan mashina tishli tekislagichining parametlarini asoslash.....	202
<b>Тўхтақўзиев А., Нурманов С.С.</b> Комбинациялашган ҳайдов агрегати дискли юмшаткичининг белгиланган ишлов бериш чуқурлигига ботиб ишлашини тадқиқ этиш.....	205
<b>Bolikulov F.O.</b> Очик майдонда такрорий экин сифатида бодринг уруғларини унвчанлиги ва ҳар хил ёшдаги кўчатларини дала тутувчанлиги.....	208
<b>R.D.Xalilov, D.S.Omonov.</b> Chigit seyalkasida sepilgan gerbitsid samaradorligini oshirish.....	213

darajada qondirish uning o'ziga xos xususiyati bo'lgan iqtisodiyotdir.

#### **Xulosa**

Xulosa qilib aytganda, raqamli iqtisodiyot axborot-kommunikatsion va iqtisodiy hamda moliyaviy innovatsion texnologiyalarning rivojlanganligi, shuningdek, birgalikda gibriddunyo barcha iqtisodiy faoliyat subyektlari, ya'ni tovarlar va xizmatlar yaratish,

taqsimlash, ayriboshlash va iste'mol qilish jarayoni obyektlari va subyektlarining to'laqonli o'zaro aloqa qilish imkoniyatini ta'minlaydigan infratuzilma ochiqligi tufayli aloxida o'ringa ega bo'lishi mumkin. Shuningdek, to'laqonli o'zaro aloqa qilish uchun barcha iqtisodiy obyektlari va subyektlari sezilarli raqamli tarkibiy qismlarga ega bo'lishi lozim.

#### **Adabiyotlar**

1. Abdullayev O.M va boshq. Raqamli iqtisodiyot, "LESSON PRESS" MCHJ, 2020. 688 b.
2. Бетелин В.Б. Цифровая экономика: навязанные приоритеты и реальные вызовы. Государственный аудит М.2017, - № 3.
3. Добрикин, А.П. Цифровая экономика – различные пути к эффективному премирению технологий ((BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA) и другие М.: 2016 г.
4. Лапидус Л.В. Цифровая экономика: управление электронным бизнесом и электронной коммерцией. – М.: ИНФАРМ, 2019.
5. O'zbekiston respublikasi Prezidentining O'zbekiston respublikasida raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida Qarori, Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi, 04.07.2018 y.

УДК 631.171, 519.63

**Холиков А.А. БИТИ**

**Жумаев Ж. БГУ**

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СУШКИ ЛУКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

**Annotatsiya.** To'la faktorli eksperiment metodi yordamida temperatura, vaqt, piyoz qirgimlari qalinligi kabi asosiy faktorlarning qurish jarayoniga ta'siri o'rganilgan. Buning uchun to'la faktorli eksperiment metodi talablaridan kelib chiqib o'zgaruvchilar kodlangan, rejalashtirish matrisasi qurilgan, regressiya tenglamasi koeffitsientlari aniqlangan, topilgan tenglama adekvatligi tekshirilgan. Quritish qurilmalarida issiqlik quvurlaridan foydalanganda qirg'ilgan piyoz qurishiga ta'sir qiluvchi asosiy faktorlar aniqlangan.

**Kalit so'zlar.** Matematik modellashtirish, quritish jarayoni, faktor, to'la faktorli eksperiment, regressiya tenglamasi, adekvatlik, Fisher, Student mezonlari.

**Аннотация.** Оценка эффективности основных факторов, как температура, времени и толщины слоя нарезки на сушку нарезанного репчатого лука проведена использованием метода полного факторного эксперимента. Для этого произведена кодировка переменных, составлена матрица планирования, вычислены уравнения регрессии, проверена уравнение на адекватность, произведена апостериорный анализ. Определены основные факторы, влияющие на сушку нарезанного лука в сушильных установках с использованием тепловых труб.

**Ключевые слова.** Математическое моделирование, процесс сушки, фактор, полный факторный эксперимент, уравнение регрессии, адекватность, критерии Фишера, Стьюдента.

**Annotation.** Evaluation of the effectiveness of the main factors, such as temperature, time and thickness of the cutting layer for drying chopped onions, was carried out using the method of a full factorial experiment. To do this, variables were coded, a planning matrix was compiled, regression equations were calculated, the equation was checked for adequacy, and a posteriori analysis was performed. The main factors influencing the drying of chopped onions in dryers using heat pipes are determined.

**Keywords.** Mathematical modeling, drying process, factor, full factorial experiment, regression equation, adequacy, Fisher's, Student's criteria.

#### **Введение**

Сушка является не только сложнейшим нестационарным процессом тепло и массообмена, но и технологическим процессом. Высушенный продукт, особенно пищевой, должен иметь высокие качественные показатели.

Сушка сельскохозяйственной продукции является

одним из энергоёмких процессов в сельском хозяйстве. Основными энергоносителями для сушки служат жидкое топливо, газ и электроэнергия. Использование интенсивных методов ведения сельского хозяйства приводит к необходимости сбора урожая с высоким содержанием влаги, что вызывает необходимость его искусственной сушки [1,2].

Нами предлагаемая процесс сушки является использования тепловых труб который берёт энергию из солнечного потока энергии. Исходя этого на этот процесс нужно изучит влияние некоторые факторы например температура сушки, время сушки, толщина исследуемой продукта и т.д. Изучит этих факторов можно теоретический на основе математических моделей, потому что невозможно получить более полную информацию об объекте или процессе проводя один или несколько экспериментов.

**Методы исследования**

Как правило для моделирование проводится для отыскания оптимальных параметров системы. При этом после некоторых экспериментальных исследований на их основе получается уравнения регрессии. Если факторы, влияющие на исследуемой величины лежать в интервале между какими то верхними и нижними уровнями, применяется полный факторный эксперимент (ПФЭ) [3].

При сушки выбрано нарезанный репчатый лук со влажностью 89 % и на него влияют следующие основные факторы как температура сушки, время сушки и толщина слоя нарезанного репчатого лука.

Исследуемой величиной является влажность репчатого лука. При проведении экспериментов установлены основные интервалы варирования факторов так, для сушки при 12% влажности репчатого лука будет в оптимальном уровне.

С изменением влияющих факторов температуру сушки, времени сушки и толщины слоя нарезанного репчатого лука были постановлены эксперименты по плану ПФЭ  $2^3$  [4].

В качестве математической модели был выбран полином типа

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (1)$$

В рамках ПФЭ для обработки результатов приведённых результатов и дальнейшего определения коэффициентов уравнения регрессии факторы приводим к одному масштабу. Это достигается путем кодирования переменных.

Следуя теории ПФЭ, выполним следующие:

$$Z_1 - \text{температура сушки (C0)}, \quad Z_1^- = 55, \quad Z_1^+ = 65;$$

$$Z_2 - \text{время сушки репчатого лука (мин)}, \quad Z_2^- = 210, \quad Z_2^+ = 450;$$

$$Z_3 - \text{толщина слоя нарезанного репчатого лука (мм)}, \quad Z_3^- = 2, \quad Z_3^+ = 6;$$

Требуется построить уравнением регрессии, учитывая все взаимодействия факторов, проверить полученную модель на адекватность и произвести ее интерпретацию.

Работу выполняем в следующем порядке:

- 1) кодируем переменные;
- 2) достраиваем матрицу планирования в кодированных переменных с учетом парных взаимодействий и дополняем столбцом средних значений отклика;
- 3) вычисляем коэффициенты уравнения регрессии;
- 4) проверяем вычисленные коэффициенты на значимость, предварительно определив дисперсию воспроизводимости, и получаем уравнение регрессии в кодированных переменных;
- 5) проверяем полученное уравнение на адекватность;
- 6) выписываем уравнение регрессии в натуральных переменных.

1. Для каждого фактора находим центр, интервал варьирования и зависимость кодированной переменной  $x_i$  от натуральной  $z_i$ .

Исходя из уравнений влияющих факторов на влажность лука, которые получены при проведении экспериментов, оформляем следующую таблицу кодирования факторов (таблица 1).

2. Считаем средние выборочные результатов для каждого эксперимента:

$$\bar{y}_i = \frac{(y_{1i} + y_{2i} + y_{3i})}{3} \quad (2)$$

Где  $i$ - номер эксперимента.

Строим матрицу планирования с учетом всех взаимодействий и средних значений отклика в кодированных единицах. Здесь же приведем вспомогательные графы, необходимые для расчета коэффициентов регрессии  $b_{ij}$  и  $b_{ijk}$ .

Таблица 1.

Факторы	Верхний уровень $+i$	Нижний уровень $-i$	Центр $Z_i^0$	Интервал варьирования $\lambda_i$	Зависимость кодированной переменной от натуральной
$z_1$	65	55	60	5	$X_1 = \frac{Z_1 - 60}{5};$
$z_2$	450	210	330	120	$X_2 = \frac{Z_2 - 330}{120};$
$z_3$	6	2	4	2	$X_3 = \frac{Z_3 - 4}{2};$

Матрица планирования для обработки результатов

Таблица 3.

№ эксперимен- та	Факторы			Взаимодействия				Результаты опытов			Среднее результатов
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\bar{y}_j$
1	+	+	+	+	+	+	+	11,8	13,1	12,3	12,4
2	-	+	+	-	-	+	-	15,9	16,4	16,1	16,133
3	+	-	+	-	+	-	-	42,7	42,2	40,7	41,867
4	-	-	+	+	-	-	+	44,5	46,1	45,7	45,433
5	+	+	-	+	-	-	-	5,5	4,8	6,1	5,467
6	-	+	-	-	+	-	+	5,7	6,4	5,5	5,867
7	+	-	-	-	-	+	+	7,1	7,8	7,4	7,433
8	-	-	-	+	+	+	-	12,7	12,5	13,3	12,833

3. Коэффициенты уравнения регрессии определяем по следующим формулам.

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{y}_j \quad (3)$$

$$b_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ji} \bar{y}_j, \quad i=1, k \quad (4)$$

$$b_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{jr} x_{ip} \bar{y}_j, \quad r < p, \quad r=i, k, \quad p=1, k \quad (5)$$

$$b_{1,2,3} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{j1} x_{j2} x_{j3} \bar{y}_j \quad (6)$$

Используя значения таблицы 3 и формулы находим коэффициенты уравнения регрессии (1)

Таблица 4.

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{1,2}$	$b_{1,3}$	$b_{2,3}$	$b_{1,2,3}$
18,4292	-1,6375	-8,4625	10,5292	0,6042	-0,1875	-6,2292	-0,6458

4. Некоторые из коэффициентов уравнения регрессии, написанное исходя из таблицы 4., могут оказаться пренебрежимо малыми незначительными. Чтобы установить, значим коэффициент или нет, выполним следующие:

вычислим оценку воспроизводимости  $S_{\{y\}}^2$ .

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_j)^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_j)^2 \right) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j^2 \quad (7)$$

Где n- число экспериментов (число строк в матрице ПФЭ);  
 m- число опытов в каждом эксперименте;  
 $y_{ji}$ - результат отдельного i-го наблюдения в j-го эксперименте.  
 $\bar{y}_j$  - выборочное значения наблюдений для j-го эксперимента.  
 Для удобства оформляем расчеты в виде таблицы 5.

Таблица 5

$j$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\bar{y}_j$	$(y_{j1} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j2} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j3} - \bar{y}_j)^2$	$S_j^2$
1	11,8	13,1	12,3	12,4	0,3600	0,4900	0,0100	0,4300
2	15,9	16,4	16,1	16,133	0,0544	0,0711	0,0011	0,0633
3	42,7	42,2	40,7	41,867	0,6944	0,1111	1,3611	1,0833
4	44,5	46,1	45,7	45,433	0,8711	0,4444	0,0711	0,6933
5	5,5	4,8	6,1	5,467	0,0011	0,4444	0,4011	0,4233
6	5,7	6,4	5,5	5,867	0,0278	0,2844	0,1344	0,2233
7	7,1	7,8	7,4	7,433	0,1111	0,1344	0,0011	0,1233
8	12,7	12,5	13,3	12,833	0,0178	0,1111	0,2178	0,1733

Суммируя элементы последнего столбца таблицы 5, получаем:

$$\sum_{j=1}^n S_j^2 = 3,2133$$

Из формулы (7) получаем дисперсию воспроизводимости:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 S_j^2 = 0,4017$$

Определяем среднее квадратическое отклонение коэффициентов:

$$S_{КОЭФ} = \sqrt{\frac{S_{\{y\}}^2}{n \cdot m}} = 0,1294 \quad (8)$$

Из таблиц распределения Стьюдента по числу степеней свободы  $n(m-1)=8 \cdot 2=16$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  находим  $t_{кр.} = 2,12$ . Следовательно,  $t_{кр.} \cdot S_{КОЭФ} \cdot 2,12 \cdot 0,1294 = 0,27425 \approx 0,274$ .

Сравнивая полученное значение  $t_{кр.} \cdot S_{КОЭФ} \approx 0,252$  с коэффициентами уравнения регрессии, представленными в табл. 4, видим, что все, кроме  $b_{123}$  коэффициенты больше по абсолютной величине 0,252. Следовательно, кроме  $b_{123}$  все коэффициенты значимы. Полагая  $b_{123} = 0$ , получаем уравнение регрессии в кодированных переменных:

$$y = 18,43 - 1,64x_1 - 8,46x_2 + 10,53x_3 + 0,6x_1x_2 - 6,23x_1x_3 + 0,65x_2x_3 \quad (9)$$

5. Проверим полученное уравнение (9) на адекватность по критерию Фишера. Так как дисперсия воспроизводимости найдена в предыдущем пункте, то для определения расчетного значения критерия  $F_{расч.}$ , необходимо вычислить остаточную дисперсию  $S_{ост.}^2$ .

Для этого найдем значения изучаемого параметра по полученному уравнению регрессии  $\tilde{y}_j$  ( $j=1, \dots, 8$ ), подставляя +1 или -1 вместо  $x_i$  в соответствии с номером  $j$  эксперимента из таблицы 4:

Остаточную дисперсию  $S_{ост.}^2$  вычисляем по формуле (10):

$$S_{ост.}^2 = \frac{3}{8-7} \sum_{j=1}^8 (\tilde{y}_j - \bar{y}_j)^2 = 0,84375 \quad (10)$$

Расчетное значение критерия Фишера

$F_{расч.}$  определяем по формуле (11):

$$F_{расч.} = \frac{S_{ост.}^2}{S_{\{y\}}^2} = \frac{0,84375}{0,4017} = 2,1 \quad (11)$$

Табличное значение критерия  $F_{табл.}$  находим из таблиц критических точек распределения Фишера при уровне значимости  $\alpha=0,05$  по соответствующим степеням свободы  $k_1=n-r=8-7=1$  и  $k_2= n(m-1)= 8 \cdot 2 = 16$ :

$F_{табл.} = 4,49$

Так как  $F_{расч.} = 2,1 < F_{табл.} = 4,49$ , то уравнение регрессии (9) адекватно.

4. Результаты и обсуждение

Проведем интерпретацию полученной модели (9) По уравнению видно, что наиболее сильное влияние оказывает фактор  $x_3$  и  $x_2$  – толщина слоя репчатого лука и время сушки, так как он имеет наибольший по абсолютной величине коэффициент.

Коэффициенты при факторах  $x_1$  и  $x_2$  отрицательные. Это означает, что повышение температуры и продление времени сушки снижает влажность репчатой лука. Причем сильнее влияние имеет время сушки.

Коэффициент при факторе  $x_3$  положительная. Это означает, что с увеличением толщины нарезанного репчатого лука препятствует потере влажности. Причем это сильно влияет, чем остальные факторы. Если оценить эффектов количественно, то свободный член  $b_0 = 18,43$  характеризует среднюю скорость потери влажности, когда все факторы находятся на средних уровнях.

После  $x_1, x_2, x_3$  по силе влияния на отклик идут:

двойное взаимодействие факторов  $x_2x_3$  (время сушки и толщина слоя репчатого лука); фактор  $x_1$  – температура сушки камеры; после него влияет тройное взаимодействие факторы  $x_1x_2x_3$  (температура сушки, время сушки и толщина слоя репчатого лука), потом двойное взаимодействие  $x_1x_2$

(температура сушильной камеры, время сушки);

7. Выписываем уравнение регрессии (3.5) в натуральных переменных, подставляя вместо  $x_i$  их выражения через  $z_i$ , которые берем из последнего столбца таблицы 1:

$$y = 18,43 - 1,64 \frac{Z_1 - 60}{5} - 8,46 \frac{Z_2 - 330}{120} + 10,53 \frac{Z_3 - 4}{2} + 0,6 \frac{Z_1 - 60}{5} \cdot \frac{Z_2 - 330}{120} - 6,23 \frac{Z_1 - 60}{5} \cdot \frac{Z_3 - 4}{2} - 0,65 \frac{Z_1 - 60}{5} \cdot \frac{Z_2 - 330}{120} \cdot \frac{Z_3 - 4}{2} \quad (12)$$

Преобразовав это уравнение, окончательно получаем его вид в натуральных переменных:

$$y = 39,9 - 1,016z_1 - 0,1374z_2 + 22,79z_3 + 0,0029z_1z_2 - 0,144z_1z_3 - 0,0234z_2z_3 \quad (13)$$

Интерпретация регрессионного уравнения в натуральных переменных идентичны уравнению в кодированных переменных.

Фиксируя один из трех факторов, точнее толщину нарезки лука получим трехмерный график [6].

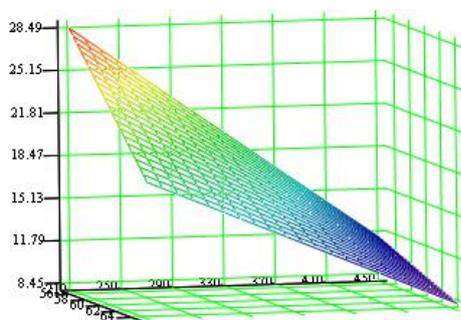


Рис.1. Влияние температуры и времени сушки к влажности продукции при фиксированной значении толщины нарезки.

### Выводы

Таким образом, использование полного факторного эксперимента для моделирования сушки продуктов позволяет определить степень влияния факторов на выходные параметры системы.

Применение данного подхода при разработке сушильных установок позволяет разработать гибкие стратегии управления и комплексной оценки ситуаций, реализуемые в агро сфере.

### Литература:

1. Касьянов Г.И., Мякинникова Е.И., Сязин И.Е., Карикурубу Ж.Ф.. Установка для сушки сельскохозяйственного сырья. /Техника и технология пищевых производств. 2014. №2, с.10-14.
2. Djuraev Kh.F, Gafurov K.Kh., Jumayev J., Mukhmadiev B.T., Mirzaeva Sh.U. The Influence Of Technological Parameters On The Process Of Co2-Extraction Of Biologically Active Substances From Licorice Root//The American Journal of Applied Sciences (ISSN – 2689-0992)Published: September 30, 2020 | Pages: 273-286 Doi: <https://doi.org/10.37547/tajas/Volume.02.Issue09-38>
3. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента. - М.: ДеЛи принт, 2005. –296 с.
4. Соколовская И.Ю. Полный факторный эксперимент // Методические указания. Новосибирск. НГАВТ, 2010, с. 36.
5. A.A. Kholikov, J. Jumayev, D.N. Hikmatov, Kh. Kuvvatov. Optimization of onion drying process parameters using the full factorial experiment method// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES).doi:10.1088/1755-1315/848/1/012010
6. Жумаев Ж., Опокина Н.А. Решение математических задач в пакетах математических программ Maxima и MathCAD. Электронный учебник. Казань: КФУ, 2021. – 228 с. <https://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/163784>