

УДК 631.365:167.23

## Експериментальні випробування лабораторного стенда для дослідження процесів сушіння

Д. В. Гузик<sup>1</sup>, М. П. Єршов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна, guzkd64@ukr.net

<sup>2</sup>студ. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна, nikitoshka211072@gmail.com

*Анотація. У даній статті розглянуто розробку лабораторного стенду для дослідження процесів сушіння. Було проведено різноманітні випробування даного «індивідуального» стенду на аеродинамічні та температурні показники. Великою перевагою даного лабораторного стенду є можливість регулювати кількість повітря, яке проходить через даний стенд та кількість теплоти. Недоліком даного стенду є калориферна установка, яка має занадто велику потужність. У ході випробувань проведено модернізацію установки для покращення вихідних параметрів задля поліпшення перебігу процесу конвективного сушіння. Проведено дослідження конвективного сушіння сливи та інших фруктів. Виконано порівняння конвективного сушіння сливи порівняно з природним сушінням. У подальшому на даному лабораторному стенді можна провести лабораторні дослідження щодо впливу різної кількості (витрати) сушильного агенту при сталій температурі на швидкість сушіння продукції та смакові показники. Також треба зазначити, що даний стенд для дослідження конвективного сушіння можна використовувати для проведення досліджень процесів сушіння овочів, фруктів, ягід, грибів та іншої рослинної сировини як в навчальному процесі, так і для проведення науково-дослідних робіт.*

*Ключевые слова: сировина, сушильна камера, природне сушіння, конвективне сушіння.*

**Вступ.** Україна – плодоносний край, де вирощують велику кількість різних овочів, фруктів та інших культур. Для збільшення терміну придатності продукти обробляють різними способами, одним з яких є сушіння.

**Актуальність дослідження.** У наш час застосовують сушіння лікарських трав, ягід, овочів та фруктів. Це дає змогу: зберегти корисні властивості продукції; збільшити термін придатності; зменшити площі та об'єми приміщень для зберігання продукції; зменшити вагу та обсяг продукції під час транспортування, наприклад, у туристичних походах, під час військових дій тощо. Розробка нових технологій для збереження фруктів, ягід, овочів та лікарських трав необхідна для зменшення витрат та отримання продуктів кращої якості й поживної цінності.

**Останні дослідження та публікації.** Головні вимоги до сушильних установок: забезпечення рівномірного сушіння та отримання високоякісної продукції в усьому об'ємі сушильної камери при високих техніко-економічних показниках: мінімальних габаритах та мінімальних витратах матеріалів на побудову сушарки, мінімальних витратах теплоти та електроенергії на висушування одного кілограма сировини, простому обслуговуванні, зменшення вартості ремонту обладнання. Рівномірність сушіння є одним з основних факторів, що характеризують сушильну установку, особливо для установок, призначених для сушіння матеріалів, у яких початкова

вологість може змінюватись у широких межах (наприклад, у зерна). Важливою вимогою є можливість висушування партій сировини з різною вологістю за один прохід.

Для зменшення тривалості сушіння важливо інтенсифікувати процеси зовнішнього тепло- та масообміну, а для багатьох продуктів і матеріалів інтенсифікувати процеси внутрішнього перенесення теплоти й маси. Для підвищення ефективності й продуктивності установок використовують збільшення напруги, об'єму сушильної камери, сушильні агенти з високою початковою температурою, комбіновані методи підведення енергії, раціональне приєднання сушильних установок в енергетичну та теплову схеми підприємства тощо.

Ефективність сушильних установок багато в чому залежить від вибраних методів та режимів сушіння, типу установки та її розрахунку. Проектування та розрахунок сушильних установок мають базуватися на відомих основних принципах технології сушіння: залежно від властивостей об'єктів сушіння вибирається найбільш раціональний метод і оптимальний режим сушіння, а на цій основі проводять вибір або розробку сушильної установки [1].

У конвективних сушарках (табл. 1), які найбільше поширені в промисловості, сушильним агентом є нагріте повітря чи суміш його з димовими або топковими газами.

Основні типи конвективних сушильних установок [2]

Класифікаційна ознака	Типи сушильних установок
Режим роботи (спосіб дії)	а) періодичної дії; б) неперервної дії; в) циклічної дії.
Вид матеріалу, що висушується	а) кусковий (поштучний); б) зернистий (дисперсний); в) пилоподібний; г) пастоподібний; д) рідкий (розчин).
Тиск у сушильній камері	а) герметичні камери з надлишковим тиском; б) атмосферні; в) вакуумні герметичні камери з тиском вище потрібної точки; г) середньовакуумні й глибоковакуумні (з тиском нижче потрібної точки для водяної пари).
Вид сушильного агента	а) повітряні; б) газові; в) газоповітряні; г) парові; д) рідинні.
Спосіб створення напору для переміщення сушильного агента	а) з природною циркуляцією; б) з примусовою циркуляцією.
Напрямок руху матеріалу й сушильного агента	а) прямотокове; б) протитокове; в) перехреснотокове.
Стан шару матеріалу (для зернистих матеріалів)	а) щільний; б) розрихлений; в) киплячий; г) фонтанний; д) зважений.
Спосіб нагрівання сушильного агента	а) паровими калориферами; б) водяними калориферами; в) вогняними калориферами; г) електрокалориферами.
Конструкція сушильної камери	шафові, камерні, коридорні (тунельні), трубчасті, шнекові, вальцеві, циліндричні, турбінні, каскадні, карусельні, конвеєрні (стрічкові, ящиккові, люлькові тощо) пневматичні, розпилювальні та інші
Варіант сушильного процесу	а) викидання сушильного агента назовні; б) з рециркуляцією сушильного агента; в) з проміжним підігрівом сушильного агента; г) з додатковим підігрівом сушильного агента в сушильній камері.
Спосіб видалення пари та регенерація відпрацьованого сушильного агента	а) видалення пари з відпрацьованим сушильним агентом назовні; б) змішування зі свіжим агентом і підігрів (рециркуляція); в) осушення реагентами (силікагелем тощо); г) конденсація пари в конденсаторі; д) виморожування парів у конденсаторі за допомогою холодоагенту.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є розробка лабораторного стенду для дослі-

дження процесів сушіння різноманітної сировини, його перевірка на працездатність та проведення попередніх досліджень процесів сушіння, а також визначення недоліків та переваг різних способів сушіння сировини.

**Дослідний стенд.** Розробка нових технологій для збереження плодів та ягід необхідна для зниження витрат та отримання продуктів кращої якості й поживної цінності. На сьогодні відомо два основних способи сушіння – природне та штучне – конвективне (сушіння нагрітим повітрям). Останній спосіб є більш поширеним. Природне сушіння – дешеве й традиційне, але його застосування залежить від погодних умов і вимагає великих виробничих площ та часу для отримання готової продукції. Крім того, необхідно захистити плоди та ягоди від комах, дрібних тварин та від контакту з джерелами забруднень. При конвективному сушінні можна контролювати ці несприятливі фактори та збільшити середню швидкість сушіння, але експлуатаційні витрати при цьому збільшуються [2, 3].

Для дослідження процесів сушіння в лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка було розроблено стенд каме-

рної конвективної сушарки (рис. 1).

Основним елементом розробленої конвективної сушарки є камера, всередині якої розташовують сировину, що залишається нерухомою протягом усього процесу сушіння [4]. Для забезпечення руху повітря, що виступає як агент сушіння, було використано каналний вентилятор фірми Systemair (Швеція) типу KV 160 M з частотним регулятором. Це дало змогу регулювати кількість обертів робочого колеса нагнітача та, відповідно, регулювати кількість повітря, що проходило крізь камеру.

Для підігріву повітря було використано електричний калорифер фірми Aerostar (Україна) марки SEH 50-25/22,5. Цей калорифер має дев'ять ТЕНів, кожний потужністю 2,5 кВт. Відповідно його сумарна потужність становить 22,5 кВт. Розроблений стенд має можливість модуляції у використанні одного, двох, трьох чи більшої кількості ТЕНів залежно від витрати агента сушіння та необхідної температури.

Сушильна камера вертикальна. Стінки камери зроблені з дерев'яних щитів, які ззовні утеплені пінопластом завтовшки 25 мм. Внутрішня поверхня щитів вкрита прошарком харчової фольги, для зменшення тепловтрат за рахунок променевої складової.



Рис. 1. Загальний вид стенда

У дверцятах камери було зроблено віконце для можливості візуально спостерігати за процесами, що відбуваються всередині.

Для спрямування та рівномірного розповсюдження повітря, що рухається крізь камеру пінополістиролу, були змонтовані напрямні елементи, які також були вкриті фольгою. Для спостережень за процесом сушіння та зняття показів термометра, що вимірював температуру повітря всередині камери, стенд було обладнано лампою “холодного світла” (рис 2).

Для контролю параметрів повітря, що виступало як агент сушіння, на вході та виході з камери стенд було встановлено два аспіраційних психрометри марки *МВ-4М*.

**Дослідження аеродинамічних характеристик.** Після завершення робіт з монтажу стенда й перших пробних пусків устаткування відбулося тестування аеродинамічних характеристик сушарки. Так, для перевірки розподілу повітряних потоків у сушильній камері, були проведені лабораторні випробування з візуалізації руху

повітря крізь камеру. Щоб визначити розподіл потоків у різних площинах за висотою камери, до сушильних рамок рівномірно були прикріплені короткі нитки. Після розміщення сушильних рамок по всій висоті сушильної камери й увімкнення нагнітача, через оглядове віконце були проведені візуальні спостереження з метою визначення “застійних зон”. Досліди показали наявність таких зон, оскільки на деяких частинах рамок нитки майже не ворушилися. Для запобігання утворення “застійних зон” та задля рівномірного розподілу повітряних потоків у камері було встановлено шибер (рис. 2), що дало змогу вирівняти епюру повітряного потоку за всією висотою камери й одночасно проводити сушіння на всіх ярусах даного стенду.

**Дослідження температурного режиму.** Після визначення аеродинамічних характеристик лабораторного стенда були проведені дослідження температурного режиму устаткування.



Рис. 2. Внутрішнє облаштування камери

Метою проведених досліджень було визначення можливості регулювання кількісно-якісних показників параметрів агента сушіння, а саме, його температури та витрати. Перший параметр регулювався шляхом увімкнення одного, двох або трьох ТЕНів, відповідно, сумарною тепловою потужністю 2,5, 5,0 та 7,5 кВт. Другий параметр – це кількість (швидкість) повітря – зміна якого здійснювалася за допомогою частотного перетворювача. Сам експеримент проводився в три етапи, при увімкненні одного, двох та трьох ТЕНів відповідно.

На кожному етапі проводилися заміри температури при зміні витрати повітря. За результатами випробовувань було побудовано графік зміни температури у камері залежно від витрати агента сушіння (рис. 3).

На кожному етапі проводилися заміри температури при зміні витрати повітря. За результатами випробовувань було збудовано графік зміни температури у камері в залежності від витрати агента сушіння (рис. 3).

**Дослідження процесів сушіння.** При плануванні натурального експерименту було виявлено проблему майже повної відсутності літератури, в якій би чітко прописувався регламент ведення процесу сушіння конкретної сировини з чітко встановленими як температурними графіками, так і графіками швидкості (витрати) повітря.

Через те, що частково була доступна інформація про сушіння слив, а досліді проводилися саме у вересні-жовтні 2017 року, то саме цей продукт був вибраний нами для дослідження переваг та недоліків процесів природного та штучного конвективного сушіння.

Перед сушінням чисті сливи були розрізані навпіл, з них була видалена кісточка. Надалі натуральний експеримент проводився з двома рівними за вагою партіями слив, одна з яких розміщувалась у сушарці (досліджувався процес примусового конвективного сушіння), а друга – розташовувалась на такому ж “ситі”, але його було розміщено над корпусом електрокалорифера лабораторного стенда на відстані 100 мм (рис. 4).

Дослід тривав три дні. Кожного дня сушіння проводилося протягом 4–5 годин. Рекомендована температура для сушіння сливи

в перший період складає 45...500 °С, далі температуру можна збільшити до 700 °С. Графік зміни температурного режиму протягом всього періоду сушіння у камері наведено нижче [3, 4] (рис. 5).

Було прийнято рішення оцінювати інтенсивність сушіння плодів сливи через втрату її маси, тобто кожне сушіння починалося і закінчувалося замірами маси продукту. Вимір маси продукту на початку та в кінці процесу сушіння здійснювався за допомогою побутових електронних ваг фірми Elenberg з точністю 1 г.

За результатами натурних досліджень залежно від часу та способу сушіння сировини було побудовано графік зміни маси плодів сливи (рис. 6). При цьому закінчення експерименту (через 14 годин після початку) визначалося саме якісними показниками кінцевого продукту – чорносливу, який першим був отриманий саме при використанні штучного конвективного сушіння.

**Висновки.** Аеродинамічні випробування розробленого стенда дають підстави говорити про доцільність організації руху агента сушіння чітко вздовж вертикалі, тобто для запобігання утворення “застійних зон” підведення та відведення повітря бажано здійснювати відповідно в днище та з кришки камери.

Для отримання якісного кінцевого продукту бажано використовувати устаткування для сушіння сировини, яке дає можливість експлуатаційникам одночасно змінювати параметри агента сушіння, а саме як його температуру, так і кількість повітря.

Порівняльний аналіз способів сушіння з точки зору строків отримання якісного кінцевого продукту дає перевагу на користь штучного конвективного сушіння. Збільшення експлуатаційних витрат при цьому способі сушіння потребують проведення додаткових лабораторних досліджень.

Попередні випробування створеного лабораторного стенда дають можливість використовувати його для проведення процесів сушіння овочів, фруктів, ягід, грибів та іншої рослинної сировини як у навчальному процесі, так і для проведення науково-дослідних робіт.

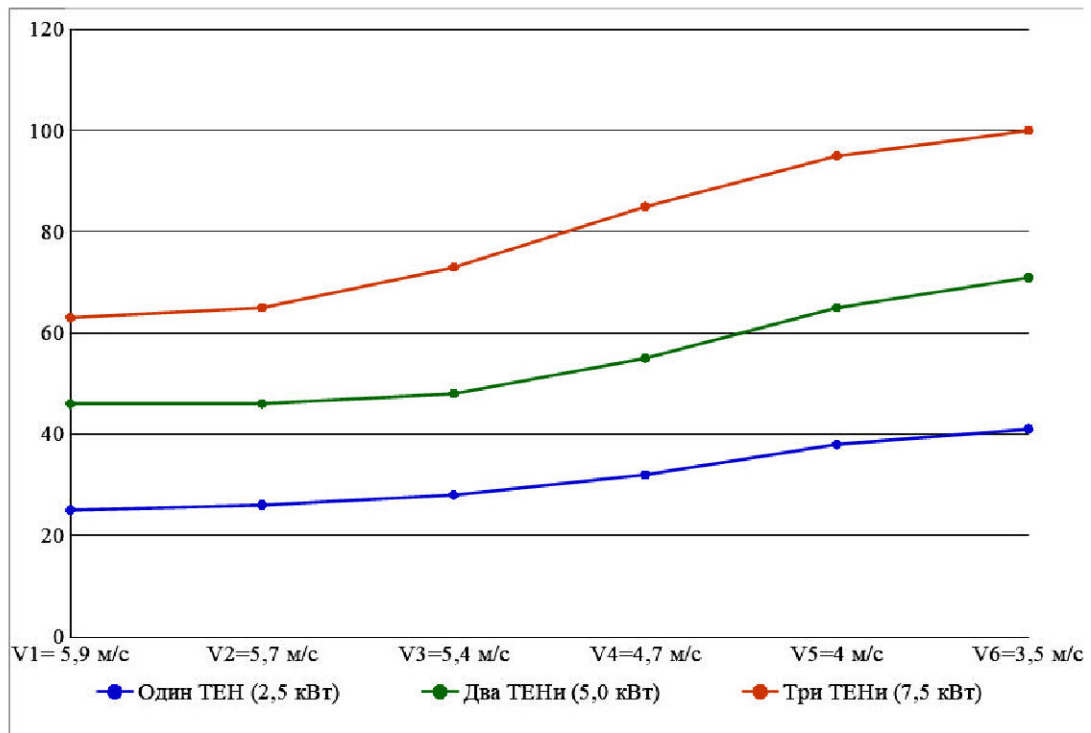


Рис. 3. Графік зміни температури в об'ємі сушильної камери



Рис. 4. Організація процесу природного сушіння під час проведення експерименту

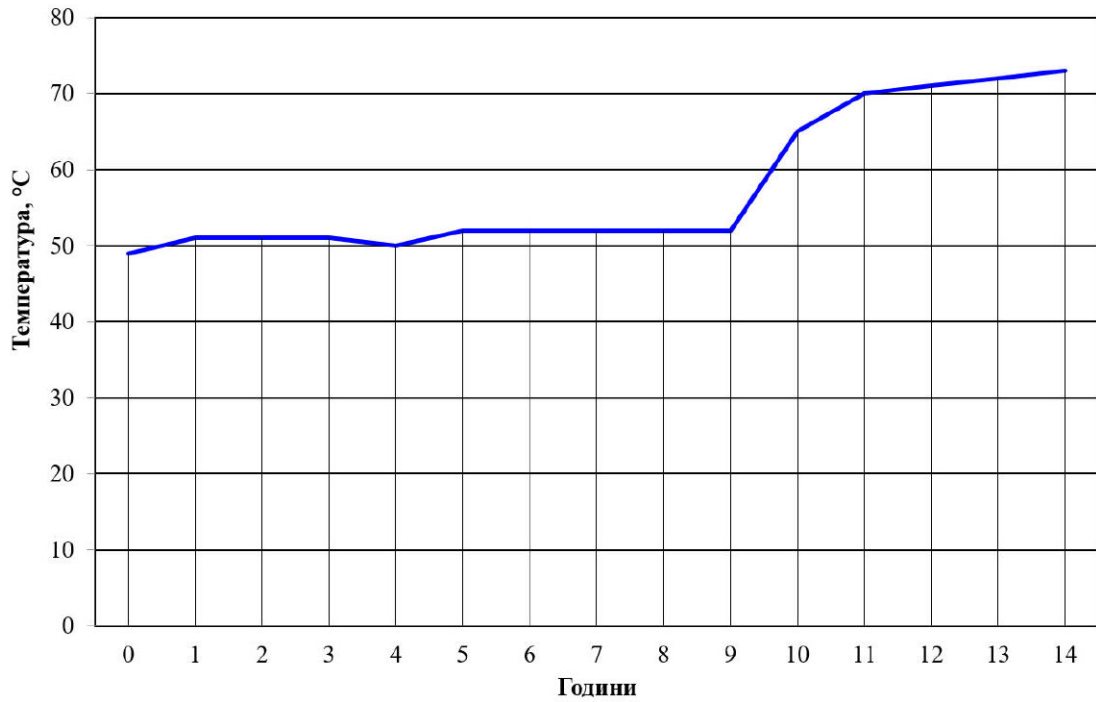


Рисунок 5. Графік зміни температури в камері для сушіння

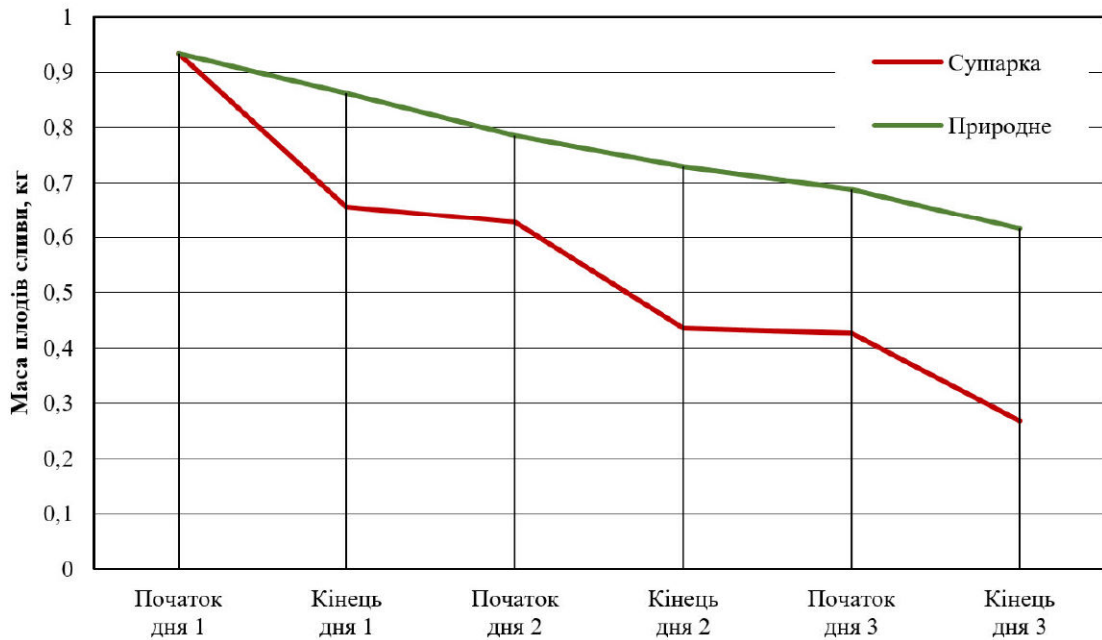


Рисунок 6. Втрати маси плодів сливи залежно від способу сушіння

### Література

1. Ткаченко С. Й. Сушильні процеси та установки: навч. пос. / С. Й.Ткаченко, О. Ю.Співак. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 86 с.
2. Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів / Тарасенко Т. А., Євлаш В. В., Неміріч О. В., Вашека О. М., Гавриш А. В., Кравченко О. І. // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. – 2015. – Том 17. – № 4 (64). – с. 148-158.
3. Бессараб О. С. Технологія сушіння плодів та овочів: консп. лек. / О. С. Бессараб, В. В. Шутюк – Київ: НУХТ, 2002. – 84 с.
4. Рекомендації до сушіння. <http://xcook.info/vopros-otvet/kak-sushit-slivy.html>

### References

1. Tkachenko S. I., Spivak O. Yu. *Сушильні процеси та установки*. VNTU, 2009.
2. Tarasenko T. A., Evlash V. V., Nemirich O. V., Vasheka O. M., Havrysh A. V., Kravchenko O. I. "Teoretychne doslidzhennia sposobiv sushinnia ovochiv ta fruktiv." *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S. Z. Gzhitskoho*, vol. 17, no. 4 (64), 2015, pp. 148-158.
3. Bessarab O. S., Shutiuk V. V. *Tekhnolohiia sushinnia plodiv ta ovochiv*. NUKHT, 2002.
4. *Rekomendatsii do sushinnia*. <http://xcook.info/vopros-otvet/kak-sushit-slivy.html>

УДК 631.365:167.23

## Экспериментальные испытания лабораторного стенда для исследования процессов сушки

Д. В. Гузик<sup>1</sup>, Н. П. Ершов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>К.т.н., доцент, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина, [guzikd64@ukr.net](mailto:guzikd64@ukr.net)

<sup>2</sup>Студент, 6 курса, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина, [nikitoshka211072@gmail.com](mailto:nikitoshka211072@gmail.com)

*Аннотация. В данной статье рассмотрена разработка лабораторного стенда для исследования процессов сушки. Были проведены разнообразные испытания данного «индивидуального» стенда на аэродинамические и температурные показатели. Большим преимуществом данного лабораторного стенда является возможность регулировать количество воздуха, проходящего через данный стенд, и количество теплоты. Недостатком данного стенда является калориферная установка, она имеет слишком большую мощность. В ходе испытаний проведена модернизация установки для улучшения выходных параметров с целью улучшенного протекания конвективной сушки. Проведено исследование по конвективной сушке сливы и других фруктов. Выполнено сравнение конвективной сушки сливы с естественной сушкой. В дальнейшем на данном лабораторном стенде можно провести лабораторные исследования по сравнению влияния разного количества (расхода) сушильного агента при постоянной температуре на скорость сушки продукции и вкусовые показатели. Также надо отметить, что данный стенд по исследованию конвективной сушки можно использовать для проведения исследований процессов сушки овощей, фруктов, ягод, грибов и другого растительного сырья как в учебном процессе, так и для проведения научно-исследовательских работ.*

*Ключевые слова: сырьё, сушильная камера, естественная сушка, конвективная сушка.*