



Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

## ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ УРОЖАЯ ЛИСТОВОЙ МАССЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Людмила П. Пестова, Евгений И. Винецкий\*, Александр В. Чернов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий»; ул. Московская, д. 42, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация

**Аннотация.** Послеуборочная обработка листовой массы различных сельскохозяйственных культур имеет общие закономерности. Особенностью строения листьев является то, что количество воды, содержащейся в пластинке листа и в средней жилке, примерно одинаково, однако площадь испаряющей поверхности средней жилки в 10...15 раз меньше, чем площадь испаряющей поверхности пластинки листа. Поэтому отличия режимов сушки этих частей листьев обосновывают необходимость разных физических методов воздействия на них. Целью исследования являлось экспериментальное обоснование общих принципов удаления влаги из листовой массы различных сельскохозяйственных культур с использованием СВЧ-излучения. Обработку в поле СВЧ проводили в течение 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 мин. Обработанные слои листьев высушивали в естественных условиях. Контролем служили листья, высушенные конвективным способом в естественных и искусственных условиях, только без СВЧ-обработки. Для послеуборочной обработки листьев подорожника рекомендуется комбинированный способ сушки, при котором в первой фазе листья обрабатывали СВЧ-излучением в течение 2,0...2,5 минут в зависимости от толщины слоя листьев, а затем во второй фазе – в естественных условиях в течение 8 часов. Наиболее компромиссным способом сушки листьев ботвы свеклы можно принять СВЧ-обработку с последующей конвективной сушкой в естественных условиях как с точки зрения продолжительности сушки, так и с точки зрения энергоемкости процесса. По результатам проведенных исследований обосновано применение наиболее рациональных процессов послеуборочной обработки листовой массы сельскохозяйственных культур, заключающихся в их обработке СВЧ-излучением с последующей конвективной сушкой естественным способом.

**Ключевые слова:** СВЧ-излучение, конвективная сушка, естественный способ, искусственный способ, листья, пластинка, средняя жилка, подорожник, ботва, свекла

Для цитирования: Пестова Л.П., Винецкий Е.И., Чернов А.В. Обоснование процессов послеуборочной обработки урожая листовой массы сельскохозяйственных культур с использованием СВЧ-излучения // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 3. С. 24–31. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-24-31>

## RATIONALE FOR THE POST-HARVEST PROCESSING OF AGRICULTURAL CROPS LEAVES USING MICROWAVE RADIATION

Lyudmila P. Pestova, Evgeny I. Vinevsky\*, Alexander V. Chernov

FSBSI «All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products»;  
42 Moscovskaya str., Krasnodar, 350072, the Russian Federation

**Abstract.** Post-harvest processing of the leaf mass of various agricultural crops has general patterns. The peculiarity of the structure of the leaves is that the amount of water contained in the leaf blade and in the midrib is approximately the same, but the area of the evaporating surface of the midrib is 10–15 times less than the area of the evaporating surface of the leaf plate. Therefore, the difference in drying modes for these parts of the leaves justifies the need for different physical methods of influencing them. The aim of the research was to substantiate experimentally the general principles of moisture removal from the leaf mass of various agricultural crops using microwave radiation. Processing in the microwave field was carried out for 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 minutes. The treated leaf layers were dried naturally. Leaves dried by convection under natural and artificial conditions, only without microwave treatment, served as a control sample. For the post-harvest processing of plantain leaves, a combined drying method is recommended, where in the first phase the leaves are treated with microwave radiation for 2,0–2,5 minutes, depending on the thickness of the leaf layer, and then in the second phase under natural conditions for 8 hours. Microwave – processing followed by convective drying in natural conditions is considered the most compromise method for drying beet tops leaves both in terms of drying time and in terms of the energy intensity of the process. On the basis on the results of the research, the application of the most rational processes of post-harvest processing of leaf mass of agricultural crops was substantiated, which consists in their processing by microwave radiation, followed by convective drying in a natural way.

**Keywords:** microwave radiation, convective drying, natural method, artificial method, leaves, plate, midrib, plantain, tops, beets

*For citation: Pestova L.P., Vinevsky E.I., Chernov A.V. Rationale for the post-harvest processing of leaf mass of agricultural crops using microwave radiation // New technologies. 2021. Vol. 17, No. 3. P. 24–31. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-24-31>*

Послеуборочная обработка листовой массы различных сельскохозяйственных культур (листьев табака, чая, подорожника, ботвы свеклы) имеют общие закономерности.

В общем виде лист состоит из листовой пластинки и черешка, переходящего в среднюю жилку. Особенностью строения листьев всех сельскохозяйственных культур является то, что в среднем количество воды, содержащейся в пластинке листа и в средней жилке, примерно одинаково, однако площадь испаряющей поверхности средней жилки в 10...15 раз меньше, чем площадь испаряющей поверхности пластинки листа. Поэтому

отличительной особенностью режимов их сушки является то, что необходимы разные физические методы воздействия на них.

Сотрудниками ФГБНУ ВНИИТТИ разрабатываются различные технологии сушки листьев табака [1–5]. Используя существующий опыт в этой области, институт проводит научно-исследовательские работы по его использованию на других видах сельскохозяйственных культур.

Существуют разнообразные способы, методы и технологии сушки продуктов сельского хозяйства [6]. В последние годы в сушильной технике

используют высокоэффективный метод СВЧ-излучения. Его достоинством является способность в течение короткого времени повысить температуру ткани материала до 80–100 °С и повысить градиент давления пара, увеличить тепло- и массоперенос влаги, изменить характер испарения влаги.

Исходя из вышеизложенного, целью исследований являлось экспериментальное обоснование общих принципов удаления влаги из листовой массы различных сельскохозяйственных культур с использованием СВЧ-излучения.

Проведены исследования по изучению влияния СВЧ-излучения на фракционный состав табачного сырья и его условный расход при производстве табачных изделий (табл. 1). В качестве контроля был принят естественный способ сушки листьев без обработки СВЧ-излучением.

Установлено, что использование СВЧ-излучения увеличивает выход волокна на 9...15% и снижает расход табачного сырья при производстве табачных изделий на 18...24%.

Изучалась возможность получения лекарственного сырья из листьев подорожника путем применения комбинированной сушки с применением СВЧ-излучения. Проведены сравнительные исследования естественного способа сушки листьев подорожника и искусственного с применением СВЧ-излучения.

Установлено, что при естественном способе продолжительность сушки листьев подорожника составила 15 дней, а при использовании СВЧ-излучения – от 2 до 5 минут, в зависимости от массы листьев и режимов обработки (рис. 1).

Исследовано влияние комбинированной сушки листьев подорожника на ее продолжительность. Материалом

*Таблица 1*

**Фракционный состав и условный расход табачного сырья разного вида, высушенного в естественных условиях с применением СВЧ-излучения, %**

Вид сырья	Показатели, %			Условный расход на 1000 сиг, г
	волокно	мелочь	пыль	
<i>Опыт</i>				
Юбилейный новый	93,78	4,0	0,28	470,58
Крупнолистный Ильский	94,89	4,28	0,81	567,83
<i>Контроль</i>				
Юбилейный новый	81,3	16,08	2,62	583,0
Крупнолистный Ильский	86,94	12,33	0,67	670,20

*Table 1*

**Fractional composition and conditional consumption of tobacco raw materials of various types, dried in natural conditions using microwave radiation, %**

для проведения исследований служили листья подорожника, выращенного на приусадебном участке. Подготовленные листья раскладывали на тарелки в СВЧ-печь: одинарным слоем и двойным. Обработку в поле СВЧ проводили в течение 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 мин. Обработанные слои листьев высушивали в естественных условиях. Контролем служили листья,

высушенные этим же способом только без СВЧ-обработки.

Установлено, что высота слоя листьев влияет на убыль влаги, их окраску и температуру ткани. Так, температура ткани листа при обработке листьев в течение 30 сек. повысилась с 20 до 70 °С, а через одну минуту до 80–82 °С, через 2,0–2,5 мин в одинарном слое она приблизилась

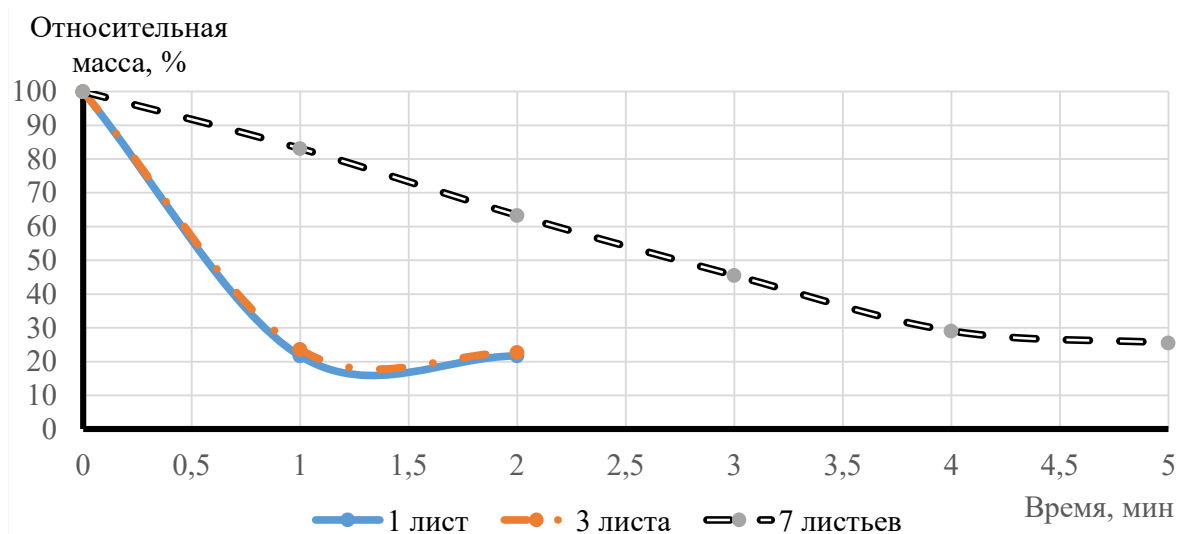


Рис. 1. Динамика сушки листьев подорожника с применением СВЧ-излучения

Fig. 1. Dynamics of drying plantain leaves using microwave radiation

к 90 °С, а в двойном превысила это значение на 7–8 °С. Пластика листа в одинарном слое высохла, черешок стал мягким, сохранив первоначальный объем. В двойном слое – большая часть пластики нижнего слоя была сухой, черешок мягкий, но вдоль него наблюдались небольшие участки недосушенной пластики. Пластика верхнего слоя при обработке 2,5 мин стала сухой, черешок требовал досушки. Относительная масса одинарного слоя уменьшилась в 6,6 раза, а двойного в 1,8 раза. Окраска листьев одинарного слоя сохранилась, а в двойном наблюдался темный оттенок у нижнего слоя. На изменение окраски листьев повлияла избыточная поверхностная влага в межлиственном пространстве, образовавшаяся за счет конденсации пара.

Общая продолжительность сушки опытных образцов одинарного слоя составила 8 часов, двойного – в 2 раза больше. У контрольных образцов 72 и 120 часов соответственно.

Таким образом, по результатам исследований можно рекомендовать сушку листьев подорожника для личного потребления комбинированным способом, при котором в первой фазе сушке листья обрабатывали СВЧ-излучением в течение

2,0...2,5 мин в зависимости от толщины слоя листьев, а затем в естественных условиях в течение 8 часов.

Проведены исследования по обоснованию наиболее эффективной технологии сушки листьев ботвы свеклы для личного пользования. Изучались следующие способы сушки: в естественных условиях – в подвешенном состоянии; в искусственных условиях – в сушильных установках на поддонах и решетках при естественной конвекции воздуха; комбинированным способом – обработка в поле СВЧ-излучения с последующей досушкой в естественных условиях.

На рисунке 2 представлены кривые динамики естественной сушки листьев ботвы и их частей в подвешенном состоянии в закрытом помещении при  $t = 20 \pm 2$  °С.

Установлено, что за одинаковый промежуток времени – 77 часов – наименьшей относительной массой характеризовалась отделенная пластина. У целого листа этот показатель больше в два раза, а черешка – в три раза. Разница влагоотдачи объясняется разным влагосодержанием свежесобраных частей листа и их особенностью испарять влагу. Пластика листа имеет большую площадь

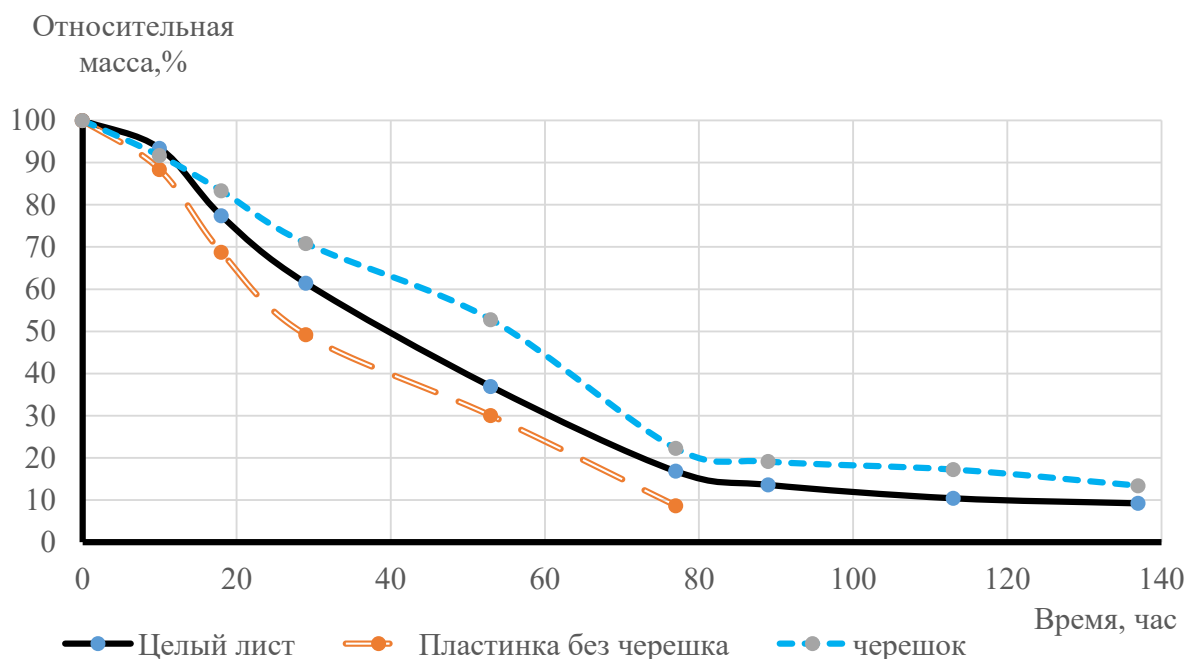


Рис.2. Динамика конвективной сушки в естественных условиях ботвы темно-красной свеклы в подвешенном состоянии

Fig. 2. Dynamics of convective drying in vivo of dark red beet tops in a suspended state

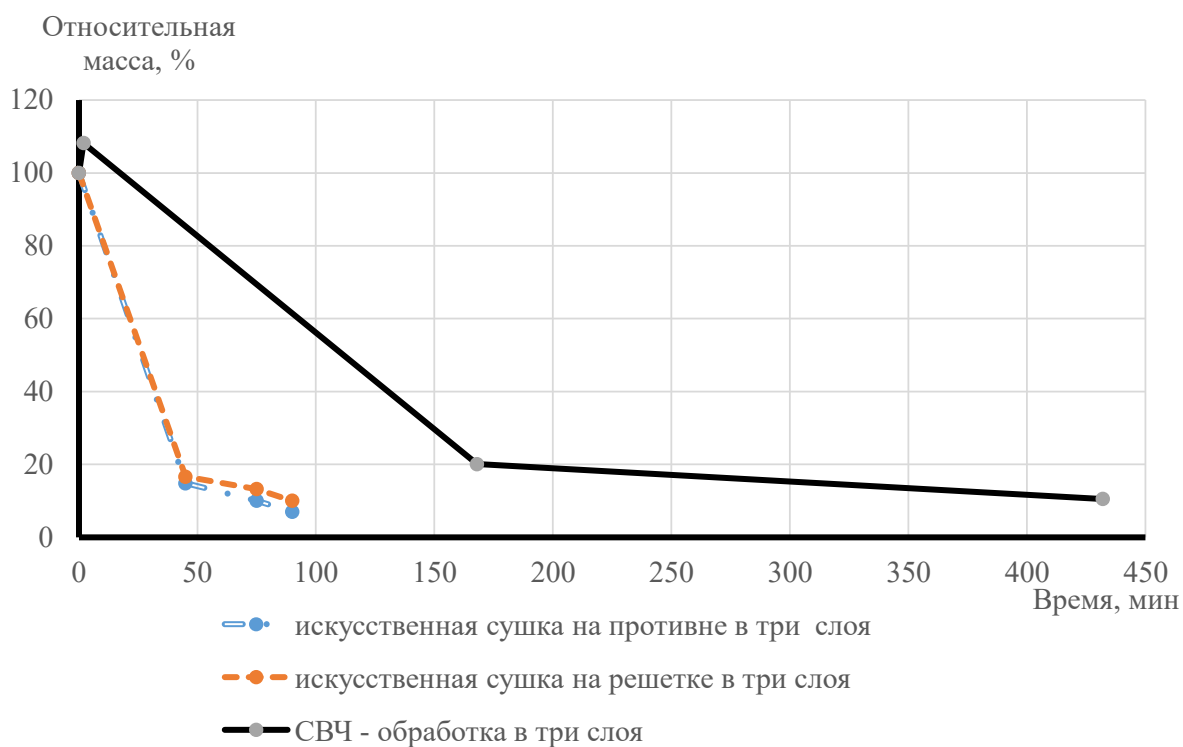


Рис. 3. Динамика сушки ботвы темно-красной свеклы по различным технологиям

Fig. 3. Dynamics of drying dark red beet tops using various technologies

Таблица 2

Показатели процесса сушки листьев ботвы свеклы по различным способам сушки

Table 2

Indicators of the drying process of beet tops leaves by different drying methods

Параметры	Способ сушки		
	конвективная сушка в естественных условиях	конвективная сушка в искусственных условиях	СВЧ-обработка с последующей конвективной сушкой в естественных условиях
Продолжительность сушки	140 час	90 мин (1,5 час)	430 мин (7,2 час)
Энергоемкость сушки, кВт/ кг сырья	0	6,4	3,1

испарения при меньшем ее содержании по сравнению с жилкой. Общая продолжительность сушки целого листа составила 137 часов, пластинки – 77 часов, а черешка – 137 часов.

На рисунке 3 представлены кривые динамики искусственной сушки листьев ботвы и их сушки с использованием СВЧ-излучения с последующей естественной сушкой. Установлено, что при конвективной сушке в искусственных условиях общая продолжительность сушки ботвы на противне в 1,2 раза меньше, чем на решетке и составляет 2,5 мин за счет получения дополнительного тепла кондуктивным способом от противня.

Свежеубранную ботву свеклы в виде листьев, очищенную от пыли и земли, обрабатывали в поле СВЧ-излучения, уложенную в один и в три слоя, с последующим высушиванием в естественных условиях конвективным способом.

Исследованиями подтверждено, что объемный характер нагрева материала обеспечивает увеличение его тепло- и массопроводности [1].

Установлено, что при микроволновой предварительной обработке свежеубранных листьев ботвы в межлиственном пространстве наблюдается конденсация влаги. Температура ткани листа при укладке в 1 слой составляет 80–85 °С, при увеличении слоя температура возрастает до

90–95 °С за счет большей конденсации влаги. При последующей сушке в естественных условиях листья сохранили окраску.

В таблице 2 представлены сравнительные технико-эксплуатационные показатели процесса сушки листьев ботвы свеклы различными способами.

Сравнительный анализ показателей процесса сушки листьев ботвы в зависимости от способа сушки показывает, что наименьшая продолжительность наблюдалась при конвективной сушке в искусственных условиях (в 93 раза быстрее в сравнении с естественным способом сушки и в 4,8 раза быстрее в сравнении с СВЧ-обработкой и последующей конвективной сушкой в естественных условиях). Однако при этом энергоемкость процесса сушки при использовании СВЧ-обработки с последующей конвективной сушкой в естественных условиях в два раза ниже в сравнении конвективной сушкой в искусственных условиях. При конвективной сушке в естественных условиях затраты энергии отсутствуют, однако продолжительность ее при этом больше от 19,4 до 93 раз в сравнении с другими способами сушки.

По результатам проведенных исследований наиболее компромиссным способом сушки листьев ботвы свеклы можно принять СВЧ-обработку с последующей



конвективной сушкой в естественных условиях как с точки зрения продолжительности сушки, так и с точки зрения энергоёмкости процесса.

Таким образом, по результатам проведенных исследований обосновано

применение наиболее рациональных процессов послеуборочной обработки листовой массы сельскохозяйственных культур, заключающийся в их обработке СВЧ-излучением с последующей конвективной сушкой естественным способом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чернов А.В., Пестова Л.П. Экспериментальное исследование сушки табака с применением СВЧ-излучений при комбинированном способе [Электронный ресурс] // Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции: сборник материалов I Международной научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов (09–23 апр. 2018 г., г. Краснодар). Краснодар, 2018. С. 211–220. URL: <http://vniitti.ru/conf/conf2018/sbornikconf2018.pdf>.

2. Пестова Л.П., Винецкий Е.И., Чернов А.В. Применение комбинированного энергоподвода при сушке табака и овощных культур [Электронный ресурс] // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: сборник материалов III Международной научно-практической конференции (8–19 апр. 2019 г., г. Краснодар). Ч. 2. Краснодар, 2019. С. 210–216. URL: <http://vniitti.ru/conf/conf2019/sbornikconf20192.pdf>.

3. Ульянченко Е.Е., Винецкая Н.Н. Эффективность применения физических методов интенсификации сушки на различных сортах табака // Новые технологии. 2020. Вып. 1 (51). С. 57–65.

4. Ульянченко Е.Е., Гнучих Е.В., Винецкая Н.Н. Обоснование критерия выбора способа послеуборочной обработки и сушки табака // Новые технологии. 2020. Вып. 1 (51). С. 66–74.

5. Пестова Л.П., Винецкий Е.И., Чернов А.В. Влияние обработки листьев табака СВЧ-излучением на показатели качества и количественный состав табачного сырья // Новые технологии. 2020. Т. 15, № 4. С. 66–73.

6. Данилов О.Л., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке. Экономия энергии при тепловой сушке. М.: Энергоиздат, 1986. 136 с.

### REFERENCES:

1. Chernov A.V., Pestova L.P. Experimental study of tobacco drying using microwave radiation in a combined method [Electronic resource] // Scientific support of innovative technologies for the production and storage of agricultural and food products: collection of materials of the I International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Postgraduates (09–23 Apr, 2018., Krasnodar). Krasnodar, 2018. P. 211–220. URL: <http://vniitti.ru/conf/conf2018/sbornikconf2018.pdf>. (In Russian)

2. Pestova L.P., Vinevsky E.I., Chernov A.V. The use of a combined energy supply for drying tobacco and vegetable crops [Electronic resource] // Innovative research and development for scientific support of the production and storage of environmentally friendly agricultural and food products: collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference (April 8-19, 2019, Krasnodar). Part 2. Krasnodar, 2019. P. 210–216. URL: <http://vniitti.ru/conf/conf2019/sbornikconf20192.pdf>. (In Russian)

3. Ulyanchenko E.E., Vinevskaya N.N. The effectiveness of the use of physical methods for intensifying drying on various varieties of tobacco // New technologies. 2020. Issue. 1 (51). P. 57–65. (In Russian)

4. Ulyanchenko E.E., Gnuchikh E.V., Vinevskaya N.N. Substantiation of the criterion for choosing a method for post-harvest processing and drying of tobacco // New technologies. 2020. Issue. 1 (51). P. 66–74. (In Russian)

5. Pestova L.P., Vinevsky E.I., Chernov A.V. Influence of processing tobacco leaves with microwave radiation on quality indicators and quantitative composition of raw tobacco // *New technologies*. 2020. Vol. 15, No. 4. P. 66–73. (In Russian)

6. Danilov O.L., Leonchik B.I. Energy saving with heat drying. M.: Energoizdat, 1986. 136 p. (In Russian)

---

**Информация об авторах / Information about the authors**

---

**Людмила Петровна Пестова**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий»

**Евгений Иванович Винеvский**, главный научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», доктор технических наук, профессор ВАК

[vinevskI@mail.ru](mailto:vinevskI@mail.ru)

**Александр Васильевич Чернов**, младший научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий»

[ChernovAlexander909@yandex.ru](mailto:ChernovAlexander909@yandex.ru)

**Lyudmila P. Pestova**, Candidate of Technical Sciences, a leading researcher of FSBSI «All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products»

**Evgeny I. Vinevsky**, a chief researcher of FSBSI «All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products», Doctor of Technical Sciences, professor of the Higher Attestation Commission

[vinevskI@mail.ru](mailto:vinevskI@mail.ru)

**Alexander V. Chernov**, a junior researcher of FSBSI «All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products».

[ChernovAlexander909@yandex.ru](mailto:ChernovAlexander909@yandex.ru)

---

Поступила 23.03.2021

Received 23.03.2021

Принята в печать 24.04.2021

Accepted 24.04.2021