

УДК 664.97,64.959.5

Н. П. Дяченко [N. P. Dyachenko] <sup>1</sup>  
 Ю. А. Максименко [Y. A. Maksimenko] <sup>1</sup>  
 Э. П. Дяченко [E. P. Dyachenko] <sup>2</sup>

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНО-РАДИАЦИОННОЙ СУШКИ  
 ВСПЕНЕННОГО ЖЕЛАТИНОВОГО БУЛЬОНА ИЗ ОТХОДОВ  
 ПЕРЕРАБОТКИ РЫБ**

**RESEARCHES OF THE CONVECTIVE-RADIATION DRYING OF SUSPENDED  
 GELATIN BROTH FROM WASTE OF FISH PROCESSING**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ  
 «Федеральный научный центр овощеводства»

**Аннотация.** Желатин – безопасный, доступный по цене, широко используемый в пищевой промышленности загуститель. Новые ресурсосберегающие технологии получения являются актуальными в пищевой отрасли.

**Материалы и методы.** Проведены исследования кинетики и интенсивности конвективно-радиационной пено-сушки желатинового бульона из отходов переработки рыб частиковых пород Астраханского региона. Получены аппроксимирующие зависимости съема сухого желатина с единицы площади рабочей поверхности в единицу времени от варьируемых факторов.

**Результаты и обсуждения.** Определены рациональные режимы проведения процесса, при которых достигается максимальный удельный съем сухого продукта. Установлено, что применение только радиационного энергоподвода без конвективного в процессе пеносушки желатинового бульона затруднительно в силу неконтролируемого резкого повышения температуры продукта и, как следствие, последующего плавления и разрушения пены. Введение радиационного энергоподвода в процесс конвективной пеносушки желатинизированного бульона при рациональных режимах практически в три раза увеличивает удельную производительность процесса.

**Заключение.** В результате исследований установлено, что введение радиационного энергоподвода в процесс конвективной пеносушки желатинизированного бульона при рациональных режимах практически в три раза увеличивает удельную производительность процесса.

**Ключевые слова:** процессы и аппараты пищевых производств, желатиновый бульон, конвективно-радиационная сушка, рыбопереработка.

**Abstract.** Gelatin is a safe, affordable, widely used thickener in the food industry. New resource-saving technologies are relevant in the food industry.

**Materials and methods.** The research of kinetics and intensity of convective-radiation foaming gelatin broth from waste processing of fish species of the Astrakhan region. Approximating dependences of dry gelatin removal from the unit area of the working surface per unit time on the varied factors are obtained.

**Results and discussions.** The rational modes of the process, in which the maximum specific removal of the dry product is achieved, are determined. It is established that the use of only radiation energy supply without convective gelatin broth in the process of foaming is difficult due to an uncontrolled sharp increase in the temperature of the product and, as a consequence, the subsequent melting and destruction of the foam. The introduction of radiation energy supply in the process of convective foaming gelatinized broth under rational conditions almost three times increases the specific productivity of the process.

**Conclusions.** As a result of researches it is established that introduction of radiation power supply in process of convective foaming of the gelatinized broth at rational modes practically three times increases specific productivity of process.

**Key words:** processes and devices of food manufactures, gelatinous broth, the convective-radiative drying, fish processing.

**Введение.** Желатин на сегодняшний день остается одним из наиболее востребованных в различных отраслях промышленности коллагенов, при этом основную долю на отечественном рынке желатина занимает импортная продукция. Для создания и развития новых производств желатина необходимы разработка и внедрение научно обоснованных ресурсо- и энергосберегающих технических решений, в том числе позволяющих исклю-

чить зависимость существующих технологий производства желатина от сырья. Таким образом, совершенствование технологических процессов производства желатина на основе отходов рыбопереработки является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит усовершенствовать существующие и создать новые промышленные производства желатина из нетрадиционного коллагенсодержащего сырья.

Сушка - заключительная стадия производства сухого желатина, характеризующейся сравнительно высокой энергоемкостью и определяющая качество сухого продукта. Традиционно желатиновый бульон сушат в желатинизированном состоянии в форме слоя (пластин или прядей) на рабочей поверхности сушилки при конвективном энергоподводе [1-4, 11].

Учитывая структурно-механические и пеноструктурные характеристики желатинового бульона, перспективным направлением совершенствования процесса получения сухого желатина является радиационная сушка во вспененном состоянии. Вспенивание исходного продукта при соблюдении условий стабильности пенослоя существенно интенсифицирует процесс за счет увеличения поверхности теплообмена, при этом уменьшается адгезия продукта к рабочей поверхности сушилки, улучшается съем сухого продукта, сокращается интенсивность засорения сушилок, а также энергозатраты на дробление сухого желатина [5, 7, 8]. Объемный радиационный энергоподвод в сравнении с традиционными методами также обладает рядом преимуществ, способствующих энерго- и ресурсосбережению, упрощению аппаратного оформления процесса, например [5, 8-10]:

- обеззараживание продукта, в частности, воздействие на продукт радиационным излучением позволяет снизить микробную обсемененность продукта;
- наиболее равномерный прогрев продукта, что обуславливается выделением тепла в объеме высушиваемого материала;
- практически абсолютный расход подведенной к объекту сушки энергии на его нагрев, ввиду отсутствия тепловых потерь;
- сравнительная простота конструкции и малая металлоемкость сушильных аппаратов;
- сравнительно низкие удельные энергозатраты.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате предварительных исследований конвективно-радиационной сушки пенослоя желатинового студня с влажностью 75 % и толщиной 4 мм на алюминиевой подложке установлено, что облучаемая и омываемая воздухом поверхность образца стеклется в начале процесса, преобразуясь в материал, трудно поддающийся механическому разрушению. При этом сердцевина и контактирующая с подложкой поверхность образца оставались влажными, в частности, сердцевина на 20-40 минутах сушки оставалась жидкой, а контактирующая с подложкой поверхность упругой. При продолжении процесса между подложкой и образцом образовывался конденсат, влага скапливалась в месте наименьшего сопротивления - на поверхности контакта образца с подложкой. Примечательно, что при сушке синтетического ПАВ (сульфонола) [8] в сердцевине пенослоя ПАВ происходило накопление пара (парниковый эффект), который затем прорывался через оболочку (внешний стеклованный слой). В случае обезвоживания вспененного раствора желатина разрыв оболочки паром невозможен, давления пара внутри продукта не достаточно для разрыва подсохшей поверхности образца, которая обладает существенно большей прочностью и эластичностью, чем у пенослоя сульфанола.

Таким образом, учитывая физико-механические свойства желатина, для интенсификации процесса сушки целесообразно организовать объемный конвективно-радиационный энергоподвод. При этом для равномерности обезвоживания материала образцы подаваемого на сушку продукта целесообразно изготавливать в форме штранг (круглого, прямоугольного или квадратного сечения), например, путем экструзии или разрезания желатинизированного пенослоя.

Целью настоящих исследований являлась разработка рациональных режимов сушки желатинового бульона на основе изучения кинетики и интенсивности сушки при различных условиях протекания процесса. С учетом литературных данных [5, 6, 8, 13], а также предварительных экспериментальных данных для исследования конвективно-радиационной сушки вспененного желатинового бульона в желатинизированном состоянии из отходов переработки рыб были выбраны следующие варианты реализации процесса:

- в форме штранг круглого сечения при объемном конвективном энергоподводе;
- в форме штранг круглого сечения при объемном конвективно-радиационном энергоподводе.

Для проведения исследований использовались вероятностно-статистические методы планирования и обработки эмпирических данных, исследования проводились по полному многофакторному многоуровневому

плану; для уточнения влияния отдельных факторов на интенсивность процесса обезвоживания все второстепенные параметры были зафиксированы, а в качестве целевой функции был выбран съём (выход) сухого желатина с единицы площади рабочей поверхности в единицу времени,  $G$ , кг/(м<sup>2</sup>·ч) [5, 8, 12]:

$$G = M_{сн} / (F \cdot \tau), \quad (1)$$

где  $M_{сн}$  – масса высушенного продукта до конечной влажности не более  $w_k = 0,1$  кг/кг, выбор которой осуществлен на основе результатов анализа гигроскопических характеристик продукта;  $F$  – площадь рабочей поверхности, занимаемой продуктом, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – экспериментальное время сушки, ч.

В таблице представлены основные факторы, влияющие на интенсивность процесса конвективной пеносушки желатинового бульона, а также уровни их варьирования, установленные в результате предварительных исследований, к указанным факторам относятся: начальная концентрация сухих веществ в продукте  $C$ , кг/кг; начальный диаметр штранга пены  $d_n$ , м; температура  $T_b$ , К, влажность  $W$ , кг/кг и скорость сушильного агента (воздуха)  $v$ , м/с.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов при конвективно-радиационной пеносушке желатинового бульона

Уровень	Факторы					
	$d_n$ , м	$C$ , кг/кг	$E$ , кВт/м <sup>2</sup>	$W$ , %	$v$ , м/с	$T_b$ , К
1	0,002	0,24	0,95	50-60	4-5	292-295
2	0,003	0,80	2,45	–	–	–
3	0,004	0,86	–	–	–	–
4	0,005	–	–	–	–	–

Исследования проводились с использованием лабораторного оборудования ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Для проведения исследований желатиновый бульон готовился по методике [14] из отходов переработки рыб частиковых пород Астраханского региона (кожа, чешуя, кости, плавники, хрящи), полученных при разделке. Бульон, предварительно вспененный до образования пены с максимальной кратностью, экструдировали в форме штранг круглого сечения диаметром  $d_n$ , мм, поступавшие из фильер экструдера штранга желатинизировали, затем закрепляли в специальном держателе в сушильной камере лабораторной конвективно-радиационной сушилке параллельно потоку воздуха. Полученные таким образом экспериментальные образцы сушили до конечной влажности, не превышающей  $w_k = 0,1$  кг/кг. Для получения кривых сушки держатель с образцом периодически взвешивали.

В результате экспериментальных исследований установлено следующее.

Существенное влияние на интенсивность сушки оказывает начальная концентрация сухих веществ в желатиновом бульоне, варьируемая, исходя из данных о пеноструктурных, структурно-механических и теплофизических характеристиках в пределах  $C=14-26$  %. При концентрации сухих веществ  $C=26$  % пена обладает стабильностью, достаточной для реализации процесса влагоудаления без предварительного подсушивания. Превышение значения  $C=26$  % не целесообразно ввиду увеличения длительности упаривания желатинового бульона, соответственно, ухудшения его качественных характеристик и увеличения энергозатрат на реализацию процесса. Нижний предел  $C=14$  % обусловлен резким снижением стабильности стержня пены, что приводит к его разрушению в процессе сушки.

Диапазон изменения диаметра стержня пенослоя (штранга) желатинового бульона  $d_l=2-5$  мм обусловлен обеспечением стабильности пены в процессе сушки. Формирование диаметра менее 2 мм технически трудноосуществимо и нецелесообразно ввиду резкого снижения выхода сухого желатина. Увеличение диаметра более 5 мм приводит к снижению производительности процесса, а также к локальному поверхностному расплавлению и последующему стеклованию высушиваемого продукта, при сохранении влаги в центре штранга и, как следствие, ухудшению качества сухого желатина.

Пена желатинового бульона в начале процесса сушки сохраняет стабильность исключительно в желатинизированном состоянии (в состоянии студня). При этом применение только радиационного энергоподвода (без конвективного) в процессе пеносушки затруднительно в силу неконтролируемого резкого повышения температуры продукта и, как следствие, последующего плавления и разрушения пены. Применение в процессе сушки воздуха, как охлаждающего агента, температура которого не превышает температуру желатинизации ( $T=292-295$  К), а также выдерживание плотности теплового потока инфракрасного облучения, падающего с одной стороны стержня в диапазоне  $E=0,95-2,45$  кВт/м<sup>2</sup>, позволяют стабилизировать температуру высушиваемого пенослоя на уровне, не превышающем температуру его плавления. Уменьшение плотности теплового потока менее

0,95 кВт/м<sup>2</sup> нецелесообразно ввиду резкого сокращения выхода сухого продукта. Увеличение плотности теплового потока ( $E > 2,45$  кВт/м<sup>2</sup>) приводит к локальному плавлению и разрушению пенослоя.

Температура плавления желатинизированного студня ограничивает нагрев пенослоя и, соответственно, интенсификацию процесса сушки только до определенного значения влажности высушиваемого продукта. Начиная с этого значения влажности, пеноструктура в процессе сушки образует прочный каркас, не подвергающийся плавлению, а температура нагрева продукта ограничивается исключительно температурой начала разложения содержащихся в нем термолабильных веществ.

Диапазон варьирования скорости потока воздуха  $v=4-5$  м/с ограничивается техническими возможностями осуществления процесса. Превышение  $v=5$  м/с нецелесообразно из-за механического разрушения (разрыва штранг пены) и уноса продукта. Снижение  $v < 4$  м/с способствует увеличению температуры пенослоя в процессе конвективно-радиационной сушки более 333 К, что приводит к ухудшению его качественных характеристик, локальному плавлению и разрушению.

Пена желатинового бульона с начальной концентрацией сухих веществ  $C=25-26$  % обладает стабильностью при одновременно действующих конвективном ( $T=292-295$  К,  $v=4-5$  м/с,  $W=50-60$  %) и объемном (двустороннем) радиационном энергоподводе с плотностью теплового потока, падающего с одной стороны штранга  $E=2,45$  кВт/м<sup>2</sup>, соответствующей температуре пенослоя  $T=330-333$  К, что исключает какую-либо деструкцию высушиваемого образца как термолабильного продукта. Вспененные образцы продукта с начальной концентрацией сухих веществ  $C=14-24$  % в силу своих структурно-механических, пеноструктурных и теплофизических характеристик нуждаются в предварительной подсушке в течении  $t=0,03-0,15$  ч воздухом с температурой, не превышающей температуру желатинизации. Превышение значения  $t=0,15$  ч нецелесообразно, так как по достижении указанного периода времени пенослой образует прочный каркас, не подвергающийся плавлению, а дальнейшее увеличение  $t > 0,15$  ч приводит к снижению удельного съема сухого желатина. Снижение  $t < 0,03$  ч не обеспечивает стабильность пенослоя, и, после начала подачи инфракрасного энергоподвода, приводит к плавлению стержня пены при его нагреве выше температуры желатинизации.

По формуле (1) получены значения целевой функции  $G$ , кг/(м<sup>2</sup>·ч) при различных начальном диаметре штранга пены  $d_n$ , мм и влажности вспениваемого бульона  $w_n$  (1-С), кг/кг. Относительная ошибка при определении целевой функции не превышала 12 %. В результате компьютерной обработки экспериментальных данных получены адекватные аппроксимирующие зависимости съема сухого желатина с единицы площади рабочей поверхности в единицу времени от варьируемых факторов, при этом погрешность аппроксимации  $R^2$  полученной зависимости  $G = f(w_n, d_n)$  составила не менее 0,997:

$$G(w_n, d_n) = \left[ \begin{aligned} &(a_1 \cdot d_n^2 + b_1 \cdot d_n + c_1) \cdot w_n^2 + (a_2 \cdot d_n^2 + b_2 \cdot d_n + c_2 \cdot 2) \cdot w_n + \\ &+ (a_3 \cdot d_n^2 + b_3 \cdot d_n + c_3) \end{aligned} \right]; \quad (2)$$

Значения эмпирических коэффициентов  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3$  целевой функции представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения эмпирических коэффициентов целевой функции

Конвективная пеносушка					
$a_1$	0,7	$a_2$	-0,945	$a_3$	0,267
$b_1$	-7,7	$b_2$	10,995	$b_3$	-3,547
$c_1$	22	$c_2$	-33,82	$c_3$	12,615
Конвективно-радиационная пеносушка при $E=0,95$ кВт/м <sup>2</sup>					
$a_1$	10,8	$a_2$	-16,39	$a_3$	6,086
$b_1$	-85,6	$b_2$	129,85	$b_3$	-48,176
$c_1$	164	$c_2$	-251	$c_3$	94,422
Конвективно-радиационная пеносушка при $E=2,45$ кВт/м <sup>2</sup>					
$a_1$	31,3	$a_2$	-48,045	$a_3$	18,1765
$b_1$	-250,5	$b_2$	384,465	$b_3$	-145,4185
$c_1$	460,2	$c_2$	-709,81	$c_3$	270,413

Максимальные значения съема сухого желатина с единицы площади рабочей поверхности в единицу времени для исследуемых вариантов реализации процесса сушки определены в среде MathCAD с помощью опции Maximize, достигаются при начальной концентрации сухих веществ в продукте  $C = 0,24$  кг/кг, а также температуре  $T = 292-295$  К, влажности  $W = 50-60$  % и скорости сушильного агента  $v = 4-5$  м/с и составляют:

– для конвективной сушки штранга пены желатинового бульона  $G_{\max} = 0,331$  кг/(м<sup>2</sup>·ч) при начальном диаметре штранга  $d_n = 3$  мм;

– для конвективно-радиационной сушки штранга пены желатинового бульона  $G_{\max} = 0,998$  кг/(м<sup>2</sup>·ч) при начальном диаметре штранга пены  $d_n = 4$  мм и плотности теплового потока, падающего с одной стороны штранга  $E = 2,45$  кВт/м<sup>2</sup>.

**Выводы.** Таким образом, проведены исследования кинетики и интенсивности конвективно-радиационной сушки желатинового бульона из отходов переработки рыб во вспененном и желатинизированном состоянии. Для последующего использования в расчетах производительности сушильных установок получены аппроксимирующие зависимости целевой функции (съема сухого желатина с единицы площади рабочей поверхности в единицу времени)  $G$ , кг/(м<sup>2</sup>·ч) от варьируемых факторов. Определены рациональные режимы проведения процесса, при которых достигается максимальный удельный съем сухого продукта: начальная концентрация сухих веществ в продукте  $C = 0,24$  кг/кг; температура  $T = 292-295$  К, влажность  $W = 50-60$  % и скорость сушильного агента  $v = 4-5$  м/с; начальный диаметр штранга пены  $d_n = 4$  мм; плотность теплового потока, падающего с одной стороны штранга  $E = 2,45$  кВт/м<sup>2</sup>. В результате исследований установлено, что введение радиационного энергоподвода в процесс конвективной пеносушки желатинизированного бульона при рациональных режимах практически в три раза увеличивает удельную производительность процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рогов И. А., Забашта А. Г., Казюлин Г. П. Технология мяса и мясных продуктов: учебн.: в 2-х кн. М.: Колос С. 2009. Кн. 2: Технология мясных продуктов. 711 с.
2. Кецелашвили Д. В. Технология мяса и мясных продуктов: учеб. пособие. Кемерово: Кемер. технол. ин-т пищ. пром-сти, 2004. Ч. 3. 115 с.
3. Технология производства желатина. URL: <http://gelatin.by/partners/technology> (дата обращения: 10.03.2019).
4. Као Тхи Хуе. Обоснование и разработка технологии получения структурообразователя из кожи рыб: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2012. 24 с.
5. Алексанян И. Ю., Буйнов А. А. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование: моногр. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. 380 с.
6. Као Тхи Хуе, Нгуен Тхи Минь Ханг, Нгуен Ван Хунг, Курченко В. П., Ризевский С. В., Головач Т. Н., Разумовская Р. Г., Чубарова А. С. Некоторые аспекты технологии получения желатина из коллагенсодержащих вторичных рыбных ресурсов: обзор // Тр. Байкал. гос. ун-та. 2014. Т. 9. Ч. 1. С. 23–32.
7. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М.: Высш. шк., 1985. 544 с.
8. Дяченко Э. П. Комплексное исследование теплообмена при сушке сульфанола во вспененном состоянии: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Махачкала, 2009. 24 с.
9. Лыков А. В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 471 с.
10. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. М.: Гостоптехиздат, 1956. 464 с.
11. Koen Egberts. Gelatin Drying Technology (Gelatin Dryer). URL: <http://gelatin.nl/home> (дата обращения: 30.08.2018).
12. Грачев Ю. П. Математические методы планирования экспериментов. М.: Пищ. пром-сть, 1973. 200 с.
13. Као Тхи Хуе, Разумовская Р. Г. Разработка оптимальных режимов экстракции коллагена из отходов переработки рыб Волго-Каспийского бассейна // Изв. вузов. Пищевая технология. 2011. № 1. С. 33–36.
14. Пат. 2487152 Рос. Федерация, МПК С09Н 1/04, С09Н 3/00, А23J 1/10. Способ производства желатина / Као Тхи Хуе, Дяченко Э. П.; заявл. 12.07.2011; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 2.

#### REFERENCES

1. Rogov I. A., Zabashta A. G., Kazyulin G. P. Tekhnologiya myasa i myasnykh produktov: uchebn.: v 2-kh kn. M.: Kolos S. 2009. Kn. 2: Tekhnologiya myasnykh produktov. 711 s.
2. Ketselashvili D. V. Tekhnologiya myasa i myasnykh produktov: ucheb. posobie. Kemerovo: Kemer. tekhnol. in-t pishch. prom-sti, 2004. CH. 3. 115 s.
3. Tekhnologiya proizvodstva zhelatina. URL: <http://gelatin.by/partners/technology> (data obrashcheniya: 10.03.2019).
4. Kao Tkh Khue. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii polucheniya strukturoobrazovatelya iz kozhi ryb: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Astrakhan', 2012. 24 s.

5. Aleksanyan I. YU., Buynov A. A. Vysokointensivnaya sushka pishchevykh produktov. Penosushka. Teoriya. Praktika. Modelirovanie: monogr. Astrakhan': Izd-vo AGTU, 2004. 380 s.
6. Kao Tkhi Khue, Nguen Tkhi Min' Khang, Nguen Van Khung, Kurchenko V. P., Rizevskiy S. V., Golovach T. N., Razumovskaya R. G., Chubarova A. S. Nekotorye aspekty tekhnologii polucheniya zhelatina iz kollagensoderzhashchikh vtorichnykh rybnykh resursov: obzor // Tr. Baykal. gos. un-ta. 2014. T. 9. CH. 1. S. 23–32.
7. Tikhomirov V. K. Peny. Teoriya i praktika ikh polucheniya i razrusheniya. M.: Vyssh. shk., 1985. 544 s.
8. Dyachenko E.H. P. Kompleksnoe issledovanie teplomassoobmena pri sushke sul'fonola vo vspenennom sostoyanii: avtoref. dis. ... kand. tekh. nauk. Makhachkala, 2009. 24 s.
9. Lykov A. V. Teoriya sushki. M.: Ehnergiya, 1968. 471 s.
10. Lykov A. V. Teplo- i massoobmen v protsessakh sushki. M.: Gostoptekhizdat, 1956. 464 s.
11. Koen Egberts. Gelatin Drying Technology (Gelatin Dryer). URL: <http://gelatin.nl/home> (data obrashcheniya: 30.08.2018).
12. Grachev YU. P. Matematicheskie metody planirovaniya ehksperimentov. M.: Pishch. prom-st', 1973. 200 s.
13. Kao Tkhi Khue, Razumovskaya R. G. Razrabotka optimal'nykh rezhimov ehkstraksii kollagena iz otkhodov pererabotki ryb Volgo-Kaspiyskogo basseyna // Izv. vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. 2011. № 1. S 33–36.
14. Pat. 2487152 Ros. Federatsiya, MPK C09H 1/04, C09H 3/00, A23J 1/10. Sposob proizvodstva zhelatina / Kao Tkhi Khue, Dyachenko E.H. P.; zayavl. 12.07.2011; opubl. 10.07.2013, Byul. № 2.

#### ОБ АВТОРАХ

**Дяченко Николай Павлович**, аспирант, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», кафедра «Технологические машины и оборудование», [amxs1@yandex.ru](mailto:amxs1@yandex.ru), 8-903-349-12-12  
**Dyachenko Nikolay Pavlovich**, Postgraduate, FSBEI HE Astrakhan State Technical University, Department of Technological Machines and Machinery, [amxs1@yandex.ru](mailto:amxs1@yandex.ru), 8-903-349-12-12

**Максименко Юрий Александрович**, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», [amxs1@yandex.ru](mailto:amxs1@yandex.ru), 8-903-349-12-12

**Maksimenko Yuriy Aleksandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of Department of Technological Machines and Machinery, FSBEI HE Astrakhan State Technical University, [amxs1@yandex.ru](mailto:amxs1@yandex.ru), 8-903-349-12-12

**Дяченко Эдуард Павлович**, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела технологий и инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», [amxs1@yandex.ru](mailto:amxs1@yandex.ru), 8-903-349-12-12

**Dyachenko Eduard Pavlovich**, Candidate of Technical Sciences, Researcher of Department of Technology and Innovation, All-Russia Horticulture Research Institute - branch of FGBNU «Federal horticulture Science Center», [amxs1@yandex.ru](mailto:amxs1@yandex.ru), 8-903-349-12-12

Дата поступления в редакцию: 20.02.2019 г.

После рецензирования: 04.03.2019 г.

Дата принятия к публикации: 12.05.2019 г.