

9. Tuntsev D.V., Safin R.R., Hismatov R.G., Halitov R.A., Petrov V.I. The mathematical model of fast pyrolysis of wood waste // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015. 2015. pp. 7414929.
10. Safin R.R., Voronin A.E., Shaikhutdinova A.R., Nazipova F.V., Kaynov P.A. Method of rational use of waste of timber industries // 15th International Multidisciplinary GeoConference SGEM 2015. Sofia, 2015. pp. 699-706.
11. Shageeva A.I., Safin R.R., Mukhametzyanov Sh.R., Porfiryeva K.M. [Mathematical modeling of lumber drying processes in the microwave environment] // Actual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forestry complex]. 2020. No. 57. pp. 71-74. (In Russ.)
12. Kovaleva L.A., Galimbekov A.D. [Influence of a high-frequency electromagnetic field on physical and chemical processes in multicomponent media] // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]. 2004. No. 1. pp. 144-149. (In Russ.)
13. Gareev F.Kh. [Unconventional drying of wood: vacuum and microwave] // Lesnoy vestnik [Forest industry]. 2004. №5. p. 63. (In Russ.)
14. Pat. No. 2189549 Russian Federation, IPC F26B3/347. Installation for wood drying / Bombin A.M., Skuratovich N.V., Nedorezova E.V. - publ. 20.09.2002. (In Russ.)
15. Kainov P.A., Mukhametzyanov Sh.R., Shamsutdinova A.I., Mukhtarova A.R. [Mathematical model of the lumber drying process in a vacuum microwave unit] // Derevoobrabatyvayuschaya promyshlennost' [Woodworking industry]. 2017. No. 4. pp. 17-21. (In Russ.)
16. Shamsutdinova A.I., Safin R.R., Ilalova G.F., Mukhtarova A.R. [Vacuum microwave drying of wood: formulation of a mathematical model] // Actual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex]. 2017. No. 50. pp. 53-56. (In Russ.)
17. Datta A.K., Ni H. Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture // Journal of Food Engineering. 2002. Vol: 51. pp. 355-364. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00079-6.
18. Guanben D., Siqun W., Zhiyong C. Microwave drying of wood strands // Drying Technology. 2005. Vol: 23. pp. 2421–2436. DOI: 10.1080/07373930500340494.
19. Mollekopf N., Treppe K., Dixit O., Bauch J., Fuhrlich T. Simultaneous Drying and Modification of Properties of Starch Using Vacuum Microwave Treatment // Drying Technology. 2011. Vol: 29, iss. 5. pp. 599-605. DOI: 10.1080/07373937.2010.519839.
20. Seyfarth R., Leiker M., Mollekopf N. Continuous drying of lumber in a microwave vacuum kiln // In 8th International IUFRO Wood Drying Conference. 2003. Vol: 8. pp. 159-163.

©Shageeva A.I. – Post-graduate student of the Department of Architecture and Desing of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: sham.adilya@yandex.ru; Kainov P.A. – PhD of technical sciences, associate professor of the Department of Architecture and Desing of Wood Products, KNRTU e-mail: petr.k@plastline.org; Safin R.R. – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Head of the Department of Architecture and Desing of Wood Products, KNRTU, e-mail: cfaby@mail.ru; Khasanshin R.R. – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Architecture and Desing of Wood Products. KNRTU, e-mail: rusl2881@mail.ru.

УДК 66.061.16

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛОДНОНОСЯЩИХ ВЕТОК ОБЛЕПИХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Л.Ю. Исмаилов, А.В. Сафина

Предложен способ переработки плодоносящих веток облепихи, позволяющий осуществить сборку урожая и переработку неплодовой части путем экстракции ценных компонентов. Разработана схема установки для переработки облепихи с использованием теплового насоса, позволяющего перераспределить тепловую энергию потоков. Проведенные тепловые расчеты доказали целесообразность предлагаемых решений, поскольку обеспечивается равенство количества тепловой энергии, образуемой в процессе замораживания плодоносящих веток, и количества тепловой энергии для пропаривания неплодовой части и проведения процесса экстракции.

Ключевые слова: облепиха, ягоды, неплодовая часть, замораживание, тепловой насос, экстракция.

Введение

Облепиха - растение, имеющее большое количество биологически активных веществ, она содержит более ста видов соединений. Это растение с универсальными свойствами, многочисленными экономическими достоинствами и богатой историей, которая до сих пор продолжается в натуральной медицине, и поэтому все больше и больше людей включают его в ежедневный рацион для профилактики и лечения различных заболеваний. Его уникальность обусловлена его химическим составом и полезными для здоровья свойствами.

Облепиха (*Hippophaë L.*, семейство *Eleagnaceae*) широко распространена в Азии от побережий до горных районов и Северо-Западной Европы [1]. В пределах Евразии выявлено около 150 видов, подвидов и разновидностей облепихи; они различались по ареалу произрастания кустарника, внешнему виду ягод и их потребительной ценности [2]. Среди них *Hippophaë rhamnoides* является наиболее важными и широко распространенным в Европе [3].

Облепиха – двудомное и анемофильное растение, опыление цветков может осуществляться даже ветром [1]. Она хорошо приживается на бедных почвах и способна выдерживать экстремальные температуры от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$ [4]. Поскольку у облепихи низкие требования к условиям выращивания, она ведет себя инвазивно, растет на слабовлажных, аллювиальных гравиях, влажных оползнях и берегах рек [5,6]. Урожайность составляет около 4–5 т/га, в отдельных случаях 20–25 т/га [1]. Созревшие ягоды имеют овальную форму и чаще всего желтую, оранжевую или красную окраску в зависимости от сорта и имеют в своем составе множество полезных веществ [7]. Из ягод получают два наиболее распространенных продукта: сок из мясистой ткани ягод и масло, получаемое из косточек ягод [4]. Однако не только ягоды облепихи содержат целый комплекс БАВ с многообразными целебными свойствами. Листья, побеги, древесная часть и кора облепихи также богаты многими биологически активными веществами, ценными по питательным и оздоровительным свойствам. Листья облепихи являются самостоятельным сырьем для производства ранозаживляющих, противовоспалительных и витаминных препаратов [8,9]. Кора и побеги облепихи имеют особые биологически активные вещества, которые ответственны за противовоспалительную активность фитопрепаратов. Различные питательные вещества и биологически активные компоненты присутствуют во всех частях облепихи. Например, танины, полисахариды, ненасыщенные жирные кислоты, терпеноиды, полифенольные соединения, нестероидные соединения, флавоноиды, органические кислоты и летучие компоненты [10,11]. Благодаря этому облепиха обладает широким спектром различных положительных биологических, физиологических и лечебных эффектов, таких как антиоксидантное и иммуномодулирующее, кардиопротекторное и антиатерогенное, антибактериальное и противовирусное действие, заживляющее действие при острых и хронических ранах, противолучевое, противовоспалительное, антидиабетическое, антиканцерогенное, гепатопротекторное, дерматологическое действие и др. [2,12-17].

Таким образом, облепиха является одним из ценнейших источников БАВ для получения лекарственных препаратов растительного происхождения. При этом разрешенные к применению официальные препараты облепихи изготавливаются только из плодов и листьев растения, а фитопрепараты из коры и побегов облепихи, содержащие значительный комплекс БАВ гидрофильного и липофильного характера, характеризуются наименьшим применением в медицинской практике.

Однако при сборе ягод и облепихи и проведении плановых агротехнических мероприятий, связанных с омоложением облепиховых массивов, образуется значительное количество потенциального сырья, которое вывозится в отвалы или сжигается, что снижает ресурсосберегающий потенциал комплексного использования растительных материалов. В связи с этим, вопросы поиска рациональных способов выделения ценных компонентов и получение дополнительного количества БАВ, несомненно, являются актуальными и представляют интерес для научных исследований в этой области.

Целью настоящей работы является разработка ресурсосберегающей технологии сбора ягод с последующей экстракцией неплодовой части облепихи.

Легкому сбору ягод облепихи способствует их заморозка [18]. Можно выделить пять групп методов замораживания по принципу отвода тепла, осуществляемых за счет контакта сырья:

- с хладоносителем (воздухом или раствором солей), который охлаждается хладагентом;
- с хладагентом через металлическую поверхность;
- с хладагентом напрямую;
- в вакууме за счет испарения влаги, содержащейся в сырье;

- комбинированный способ, который включает в себя сочетание вышеперечисленных способов замораживания.

Воздушный метод основан на отводе теплоты от сырья воздухом и передается поверхности охлаждающих приборов. Воздух – естественная и достаточно инертная среда. Широкое использование этого метода обусловлено его простотой и универсальностью, так как он дает возможность замораживать растительное сырье практически любой формы и размеров, неупакованных и упакованных в полимерную пленку или другую тару. При этом скорость процесса зависит от размера сырья, температуры среды и ее циркуляции. Но так как поток воздуха подается с одной стороны, то не вся поверхность материала участвует в активном теплообмене, что затрудняет равномерность замораживания. Еще одним недостатком является относительно низкая способность воздуха аккумулировать тепло и предрасположенность его к поглощению влаги.

Погружной метод в некипящей жидкости основан на отводе тепла за счет контакта сырья с хладоносителем – жидкостью и характеризуется более эффективным отводом теплоты по сравнению с воздушным методом. Однако возникающие при этом трудности, связанные с нежелательным проникновением охлаждающего вещества (хладоносителя) в сырье, с соблюдением санитарно-гигиенических условий, с поддержанием концентрации хладоносителя и отсутствием доступных нетоксичных и инертных жидкостей, ограничивают применение такого метода.

Контактный метод предусматривает замораживание растительного сырья правильной прямоугольной формы за счет его контакта с хладагентом (реже – с хладоносителем) через поверхность морозильных плит, которые с помощью гидравлического или электрического привода плотно прижимаются к материалу, обеспечивая его формовку, подпрессовку. Основным недостатком плиточных аппаратов – невозможность замораживания продуктов неправильной формы, а кроме того, к отрицательным моментам можно отнести и периодичность действия, в частности, вертикально- и горизонтально-плиточных аппаратов, что не дает возможности их включения в поточную линию замораживания растительного сырья широкого ассортимента.

Замораживание под вакуумом осуществляется за счет испарения в разреженной среде содержащейся в сырье влаги. Данный способ получил название «самозамораживание» и основан на явлении парообразования над поверхностью жидкости при температуре ниже ее температуры кипения при нормальном атмосферном давлении. На превращение жидкости в пар затрачивается определенное количество тепловой энергии – теплота испарения. Благодаря этому можно понизить температуру замораживаемых ягод облепихи. Достоинством самозамораживания растительного сырья являются сохранение основных биологически активных веществ сырья, а также незначительный расход низкопотенциального тепла.

Одним из устройств по аккумулярованию низкопотенциальной тепловой энергии окружающей среды является тепловой насос. Тепловая энергия, получаемая в процессе замораживания, может быть использована для осуществления процесса экстракции. Этот принцип лег в основу разработки предлагаемой технологии сбора ягод облепихи и экстракции остающейся неплодовой части.

Материалы и методы

Предлагаемый способ переработки облепихи предполагает обрезку $1/2 \div 1/3$ частей кроны плодоносящих ветвей, их заморозку, сепарацию на ягоды и неплодовую части и последующую экстракцию древесной части. Ветви с ягодами облепихи замораживаются по принципу теплового насоса, а высвобождаемая тепловая энергия направляется на размораживание неплодовой части, ее прогрев и последующий подогрев растворителя до заданной температуры процесса экстракции. Замороженные ягоды направляются для хранения или использования в технологических процессах пищевой промышленности. А неплодовая часть облепихи, содержащая ветви и листья, направляется для экстрагирования из них ценных компонентов.

Реализация данного способа позволяет повысить производительность сборки ягод облепихи, поскольку при заморозке срезанные ветви становятся хрупкими и при последующем сепарировании плоды легко разделяются от листьев, мелких веточек и побегов. Экономическая целесообразность предлагаемого способа заключается в обеспечении ресурсосберегающего эффекта вследствие утилизации образующихся отходов и извлечения ценных компонентов из неплодовой части облепихи. Использование принципа теплового насоса обеспечивает энергоэффективность процесса, поскольку

полученная тепловая энергия, высвобождаемая при замораживании сырья, позволяет сэкономить энергозатраты на проведения процесса экстракции древесной части облепихи.

На рисунке 1 представлена функциональная схема установки переработки плодоносящих веток облепихи.

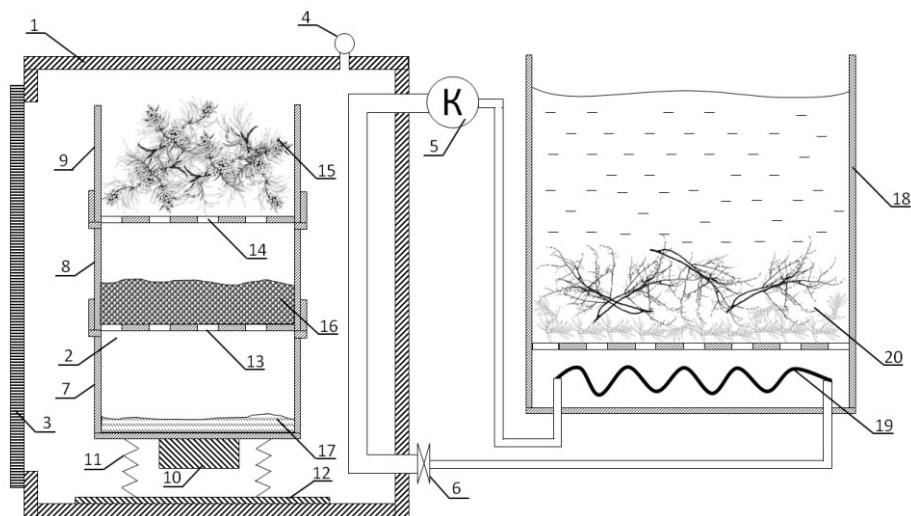


Рис. 1. Схема установки переработки плодоносящих веток облепихи на основе принципа теплового насоса

Установка переработки плодоносящих веток облепихи на основе принципа теплового насоса (рис.1) состоит из герметичной теплоизолированной камеры 1 и гирационного сепаратора 2. Теплоизолированная камера имеет крышку 3, снабжена термометром 4 и подсоединена к компрессору 5. В качестве рабочего тела в такой охлаждающей камере применяются легкокипящие жидкости, что позволяет реализовать процессы подвода и отвода теплоты по изотермам. Для этого используются процессы кипения и конденсации рабочего тела (хладагента) при постоянных значениях давлений. В теплоизолированной камере 1 понижение давления и температуры осуществляется дросселированием хладагента при его протекании через редукционный вентиль 6, проходное сечение которого может изменяться.

Хладагент из теплоизолированной камеры 1 поступает в компрессор 5, в котором адиабатно сжимается. Образующийся при этом сухой насыщенный пар поступает в конденсатор 19, где конденсируется при постоянных значениях давления и температуры. Выделяющаяся теплота отводится в экстракционную камеру 18 для размораживания и прогрева неплодовой части облепихи 20, а так же для поддержания оптимальной температуры экстракции. Образовавшийся конденсат дросселируется в редукционном вентиле 6 с переменным проходным сечением, что позволяет изменять давление выходящего из него влажного пара. Полученный в результате процесса влажный насыщенный пар небольшой степени сухости попадает в теплообменник теплоизолированной камеры 1, где при постоянных значениях давления и температуры испаряется за счет теплоты, отбираемой от находящегося в камере растительного сырья.

Гирационный сепаратор 2 состоит из емкости для сбора пыли и ножек плодов 7, емкости 8 с ложным дном 13, бункера 9 с ложным дном 14 и вибратора 10. Емкость для сбора пыли и ножек плодов 7 закреплена пружинами 11 к станине 12. Емкость 8 с ложным дном 13 вставлена в емкость для сбора пыли и ножек плодов 7. Диаметр отверстий ложного дна 13 составляет половину диаметра плодов. В емкости 8 закреплен бункер 9 с ложным дном 14, диаметры отверстий которого имеют 50% превышение относительно диаметра плодов.

Обрезанные ветки с ягодами 15 промывают водой, загружают в бункер 9 гирационного сепаратора 2, помещают в герметичную теплоизолированную камеру 1, включают компрессор 5 и выдерживают в течение определенного времени до тех пор, пока ветви с ягодами не заморозятся. Пока ветви охлаждаются, их тепло отводится в экстракционную камеру, в котором экстрагируются неплодовые части облепихи. После заморозки ветвей включают вибратор 10. За счет возникающей вибрации веточки 15 перетираются между собой. В результате перетирания происходит отделение веточек 15 от плодов 16,

листьев, побегов и ножек плодов 17. Далее плоды 16 просыпаются в емкость 8, задерживаются, а ножки плодов 17 попадают в емкость 7.

Ветки из бункера 9, побеги, листья, ножки плодов 17 передаются в экстракционную камеру 18 для извлечения ценных компонентов. Для этого неплодовая часть 20 в экстракторе размораживается, нагревается и пропаривается. Далее заливается экстрагент, смесь нагревается до 60 °С и осуществляется процесс экстракции ценных компонентов.

Результаты

С целью обоснования эффективности предлагаемого способа переработки облепихи проведен тепловой расчет условно для 1 кг плодоносящих веток. Тепловые расчеты проводились:

- для стадии замораживания плодоносящих веток в диапазонах температур от 20 до 0 °С и от 0 до -18 °С;
- для стадии размораживания и нагрева древесной части - от -18 до 0 °С и от 0 до 80 °С; ее пропаривания и последующего нагрева растворителя и поддержания температуры экстракции 60 °С.

Исходные данные:

- структура 1 кг биомассы облепихи: сок, получаемый из ягод – 78 %, шрот – 10%, ветки и листья – 12 %;
- теплоемкость свежих ягод облепихи $c_{я} = 3777$ Дж/(кг·К), замороженных – $c_{я.зам} = 2199$ Дж/(кг·К) [19];
- среднее значение теплоемкости древесной части в диапазонах:
 - от 20 до 0 °С: $c_{др1} = 2888,8$ Дж/(кг·К);
 - от 0 до (-18) °С: $c_{др2} = 2219$ Дж/(кг·К);
 - от 0 до 80 °С: $c_{др3} = 3140$ Дж/(кг·К);
- теплоемкость воды при 60 °С $c_{в} = 4178$ Дж/(кг·К);
- теплота кристаллизации льда $r = 330000$ Дж/кг;
- теплота парообразования $r' = 2300000$ Дж/кг.

В процессе замораживания отводимая тепловая энергия складывается из теплоты кристаллизации и величины изменения внутренней энергии материалов (ягод и неплодовой части облепихи):

$$Q_{зам} = Q_{кр}^я + Q_{зам}^я + Q_{зам}^{др} = r \cdot m_{я} + c_{я} \cdot m_{я} \cdot \Delta T_{20 \div 0} + c_{я.зам} \cdot m_{я} \cdot \Delta T_{0 \div (-18)} + c_{др1} \cdot m_{др} \cdot \Delta T_{20 \div 0} + c_{др2} \cdot m_{др} \cdot \Delta T_{0 \div (-18)} = 330000 \cdot 0,78 + 3177 \cdot 0,78 \cdot 20 + 2199 \cdot 0,78 \cdot 18 + 2888,8 \cdot 0,12 \cdot 20 + 2219 \cdot 0,12 \cdot 18 = 349561,32 \text{ Дж} \quad (1)$$

Требуемое количество тепла на нагрев замороженной древесной части облепихи, ее пропаривание и последующий нагрев растворителя (при гидромодуле 1:10) составит:

$$Q_{нагрев} = Q_{нагр}^{др} + Q_{пар}^{др} + Q_{нагр}^в = c_{др2} \cdot m_{др} \cdot \Delta T_{(-18) \div 0} + c_{др3} \cdot m_{др} \cdot \Delta T_{0 \div 80} + m_{в} \cdot r' + c_{в} \cdot m_{в} \cdot \Delta T_{20 \div 60} = 2219 \cdot 0,12 \cdot 18 + 3140 \cdot 0,12 \cdot 80 + 0,059 \cdot 2300000 + 4178 \cdot 1,061 \cdot 40 = 347951,32 \text{ Дж} \quad (2)$$

Как показывают расчеты, количество тепла, образуемого при замораживании 1 кг плодоносящих веток облепихи, достаточно для размораживания древесной части облепихи, ее пропаривания, нагрева экстрагента и поддержания процесса экстракции. В расчетах в качестве растворителя принята вода, как вещество, характеризующееся высокой удельной теплоемкостью. Использование в качестве экстрагента других растворителей, обладающих меньшей теплоемкостью, заведомо оправданно и целесообразно.

Выводы

Невостребованность неплодовой части облепихи при наличии в ней ценных компонентов и биологически активных веществ предопределило цель настоящего исследования. Предложен способ переработки плодоносящих веток облепихи, позволяющий осуществить сборку урожая и переработку неплодовой части путем экстракции ценных компонентов. Разработана схема установки для переработки облепихи с использованием теплового насоса, позволяющего перераспределить тепловую энергию потоков. Проведенные тепловые расчеты доказали целесообразность предлагаемых решений, поскольку

обеспечивается равенство количества тепловой энергии, образуемой в процессе замораживания плодоносящих веток, и количества тепловой энергии для размораживания неплодовой части, ее пропаривания и поддержания необходимой температуры процесса экстракции.

Разработанная технология упрощает сбор ягод в промышленном производстве, а также обеспечивает утилизацию неплодовой части облепихи с получением товарной продукции в виде экстрактов, что подтверждает ее ресурсо- и энергосберегающий эффект.

Литература

1. Li, TSC; Beveridge, T. H. J. Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.): Production and Utilization. In Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.): Production and Utilization; NRC Research Press: Ottawa, ON, Canada, 2003.
2. Ciesarova, Z.; Murkovic, M.; Cepek, K.; Kreps, F.; Tobolkova, B.; Koplik, R.; Belajova, E.; Kukurová, K.; Daško, L'; Panovska, Z.; et al. Why is sea buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) so exceptional? A review. *Food Res. Int.* 2020, 133, 109170.
3. Yang, B.; Kallio, HP Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) berries of different origins. *J. Agric. foodchem.* 2001, 49, 1939-1947.
4. Ruan, C.; Li, D. Community characteristics of *Hippophaerhamnoides* forest and water and nutrient condition of the woodland in Loess Hilly Region. *Chin. J. Appl. Ecol.* 2002, 13, 1061-1064.
5. Pop, RM; Socaciu, C.; Pinteá, A.; Buzoianu, AD; Sanders, M.G.; Gruppen, H.; Vincken, JP UHPLC/PDA-ESI/MS analysis of the main berry and leaf flavonol glycosides from different Carpathian *Hippophaerhamnoides* L. Varieties. *Phytochem. Anal.* 2013, 24, 484-492.
6. Raina, SN; Jain, S.; Sehgal, D.; Kumar, A.; Dar, T.H.; Bhat, V.; Pandey, V.; Vaishnavi, S.; Bhargav, A.; Singh, V.; et al. Diversity and relationships of multipurpose seabuckthorn (*Hippophae* L.) germplasm from the Indian Himalayas as assessed by AFLP and SAMPL markers. *Genet. resource. Crop.Evol.* 2012, 59, 1033-1053.
7. Pilat, B.; Bieniek, A.; Zadernowski, R. Common Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) AsanAlternativeOrchardPlant. *Paul JNat. Sci.* 2015, 30, 417-430.
8. Cristiana Radulescu, Radu Lucian Olteanu, Claudia Stihi, Monica Florescu, DumitruLazurca, Ioana Daniela Dulama, Raluca Maria Stirbescu and Sofia Teodorescu 2019 Chemometric Assessment of Spectroscopic Techniques and Antioxidant Activity for *Hippophaerhamnoides* L Extracts Obtained by Different Isolation Methods *Analytical Letters* 52:15 pp.2393-2415.
9. Jigni Mishra, PrashantHande, Priyanka Sharma, AnujaBhardwaj, Rakhee Rajput and KshipraMisra 2017 Characterization of nucleobases in sea buckthorn leaves: An HPTLC approach *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies* 40:1 pp.50 -57.
10. Ji, M.; Gong, X.; Li, X.; Wang, C.; Li, M. Advanced research on the antioxidant activity and mechanism of polyphenols from *hippophae* species-a review. *Molecules* 2020, 25, 917.
11. Du, J.; Xi, YL; Song, CM Effect of Sea Buckthorn Powder on Hepatic Lipid Metabolism and Oxidative Stress in Rats. *Mod. Food sci. Technol.* 2017, 33, 8-12.
12. Olas, B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases. *Food Chem. Toxicol.* 2016, 97, 199-204.
13. Guo, R.; Guo, X.; Li, T.; Fu, X.; Liu, RH Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) berries. *Food Chem.* 2017, 221, 997-1003.
14. Ranard, KM; Erdman, JW Effects of dietary RRR γ -tocopherol vs all-racemic γ -tocopherol on health outcomes. *Nutr. Rev.* 2018,76, 141-153.
15. Olas, B.; Skalski, B.; Ulanowska, K. The anticancer activity of sea buckthorn [*Elaeagnusrhamnoides* (L.) A. Nelson]. *Front. Pharmacol.* 2018, 9, 232.
16. Hamuŷka, J.; Gornicka, M.; Sulich, A.; Frŷackiewicz, J. Weight loss program is associated with a decrease in γ -tocopherol status in obese adults. *Clin. Nutr.* 2019, 38, 1861-1870.
17. Hao, W.; He, Z.; Zhu, H.; Liu, J.; Kwek, E.; Zhao, Y.; Ma, K.Y.; He, W.S.; Chen, ZY Sea buckthorn seed oil reduces blood cholesterol and modulate gut microbiota. *Foodfunct.* 2019, 10, 5669-5681.
18. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Воронин А.Е., Назмутдинова Л.Ш., Зиатдинов А.Р., Миндубаев Р.Р. Способ сборки плодов, преимущественно облепихи // Патент RU 2009 141 644 А, заявитель - Общество с ограниченной ответственностью "Научно-технический центр по разработке прогрессивного оборудования" (ООО "НТЦ РПО"), 2011.

19.Короткий, И.А. Изменение теплофизических характеристик ягод облепихи при замораживании //И.А. Короткий, Е.В. Короткая, В.В. Киреев // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 41. –№ 2. С. 108 -112.

©Исмаилов Л.Ю. – аспирант кафедры «Архитектуры и дизайна изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: lenar-2015@mail.ru; Сафина А.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: alb_saf@mail.ru.

UDC 66.061.16

TECHNOLOGY FOR PROCESSING FRUIT-BEARING BRANCHES OF SEA-BUCKTHORN USING A HEAT PUMP

L.Yu. Ismailov, A.V. Safina

A method for processing the fruit-bearing branches of sea buckthorn, the implementation of harvesting and processing the non-fruiting part of the extraction route of valuable components is proposed. A scheme has been developed for a plant for processing sea buckthorn using a heat pump, which makes it possible to redistribute the thermal energy of the flows. The performed thermal calculations justify the proposed solutions, since there is an equality of the volumes of energy generated in the process of freezing fruit-bearing branches, and the amount of energy for steaming barren parts and carrying out the extraction processes.

Keywords: sea buckthorn, berries, barren part, freezing, heat pump, extraction.

References

1. Li, TSC; Beveridge, T. H. J. Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoides L.*): Production and Utilization. In Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoides L.*): Production and Utilization; NRC Research Press: Ottawa, ON, Canada, 2003.
2. Ciesarova, Z.; Murkovic, M.; Cepek, K.; Kreps, F.; Tobolkova, B.; Koplik, R.; Belajova, E.; Kukurová, K.; Daško, L'; Panovska, Z.; et al. Why is sea buckthorn (*Hippophaerhamnoides L.*) so exceptional? A review. *Food Res. Int.* 2020, 133, 109170.
3. Yang, B.; Kallio, HP Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (*Hippophaerhamnoides L.*) berries of different origins. *J. Agric. Foodchem.* 2001, 49, 1939–1947.
4. Ruan, C.; Li, D. Community characteristics of *Hippophaerhamnoides* forest and water and nutrient condition of the woodland in Loess Hilly Region. *Chin. J. Appl. ecol.* 2002, 13, 1061-1064.
5. Pop, RM; Socaciu, C.; Pintea, A.; Buzoianu, AD; Sanders, M.G.; Gruppen, H.; Vincken, JP UHPLC/PDA-ESI/MS analysis of the main berry and leaf flavonol glycosides from different Carpathian *Hippophaerhamnoides L.* Varieties. *Phytochem. Anal.* 2013, 24, 484–492.
6. Raina, SN; Jain, S.; Sehgal, D.; Kumar, A.; Dar, T.H.; Bhat, V.; Pandey, V.; Vaishnavi, S.; Bhargav, A.; Singh, V.; et al. Diversity and relationships of multipurpose seabuckthorn (*Hippophae L.*) germplasm from the Indian Himalayas as assessed by AFLP and SAMPL markers. *Genet. resource. Crop. Evol.* 2012, 59, 1033–1053.
7. Pilat, B.; Bieniek, A.; Zadernowski, R. Common Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoides L.*) *AsanAlternativeOrchardPlant. Paul JNat. Sci.* 2015, 30, 417–430.
8. Cristiana Radulescu, Radu Lucian Olteanu, Claudia Stihi, Monica Florescu, DumitruLazurca, Ioana Daniela Dulama, Raluca Maria Stirbescu and Sofia Teodorescu 2019 Chemometric Assessment of Spectroscopic Techniques and Antioxidant Activity for *Hippophaerhamnoides L* Extracts Obtained by Different Isolation Methods *Analytical Letters* 52:15 pp.2393-2415
9. Jigni Mishra, PrashantHande, Priyanka Sharma, AnujaBhardwaj, Rakhee Rajput and KshipraMisra 2017 Characterization of nucleobases in sea buckthorn leaves: An HPTLC approach *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies* 40:1 pp.50-7
10. Ji, M.; Gong, X.; Li, X.; Wang, C.; Li, M. Advanced research on the antioxidant activity and mechanism of polyphenols from *hippophae* species-a review. *Molecules* 2020, 25, 917.
11. Du, J.; Xi, YL; Song, CM Effect of Sea Buckthorn Powder on Hepatic Lipid Metabolism and Oxidative Stress in Rats. *Mod. Food Sci. Technol.* 2017, 33, 8–12.

12. Olas, B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases. *Food Chem. Toxicol.* 2016, 97, 199–204.
13. Guo, R.; Guo, X.; Li, T.; Fu, X.; Liu, RH Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) berries. *Food Chem.* 2017, 221, 997–1003.
14. Ranard, KM; Erdman, JW Effects of dietary RRR γ -tocopherol vs all-racemic γ -tocopherol on health outcomes. *Nutr. Rev.* 2018, 76, 141-153.
15. Olas, B.; Skalski, B.; Ulanowska, K. The anticancer activity of sea buckthorn [*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson]. *Front. Pharmacol.* 2018, 9, 232.
16. Hamuŷka, J.; Gornicka, M.; Sulich, A.; Frŷackiewicz, J. Weight loss program is associated with a decrease in γ -tocopherol status in obese adults. *Clin. Nutr.* 2019, 38, 1861–1870.
17. Hao, W.; He, Z.; Zhu, H.; Liu, J.; Kwek, E.; Zhao, Y.; Ma, K.Y.; He, W.S.; Chen, ZY Sea buckthorn seed oil reduces blood cholesterol and modulate gut microbiota. *Food Funct.* 2019, 10, 5669–5681.
18. Safin R, Safin R, Razumov E, Timerbaev N, Ziatdinova D, Voronin A, Nazmutdinova L, Ziatdinov A, Mindubaev R 2011 [Method of harvesting fruits, mainly sea buckthorn] Patent RU 2009 141 644 A, applicant - Limited Liability Company "Scientific and Technical Center for the Development of Advanced Equipment" (LLC "NTC RPO") (In Russ.)
19. Korotkiy I.A., Korotkaya E.V., Kireev V.V. The change of the thermal and physical characteristics of seabuckthorn berries during freezing. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2016, vol. 41, no. 2, pp. 108–112 (In Russ.).

© **Ismailov L.Yu.** – postgraduate student of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: lenar-2015@mail.ru; **Safina A.V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, KNRTU, e-mail: alb_saf@mail.ru.

УДК 531.754 615.322

СРАВНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КАЖУЩЕЙСЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Ренат Х. Гайнуллин, А.В. Романов, Ришат Х. Гайнуллин, Е.М. Цветкова, М.Ю. Смирнов

В статье приведены результаты исследований по измерению кажущегося объема и определению кажущейся плотности древесины различных пород с помощью различных методов. В результате критического анализа способов и конструкций для измерения кажущегося объема и определения кажущейся плотности пористых материалов предложены способ и устройство, основанные на методе газовой пикнометрии. Исследованию подвергались образцы высушенной древесины осины, сосны, березы, ели и дуба. Кажущиеся плотности в зависимости от давления составили для осины 1,428-1,483 г/см³, сосны 1,369-1,423 г/см³, березы 1,384-1,404 г/см³, ели 1,301-1,355 г/см³, дуба 1,153-1,159 г/см³. Максимальная величина ошибки в пределах одной породы в зависимости от давления составила 4,33 %.

Аналогичные исследования проведены для этих же образцов с применением ранее известного способа. Согласно этим исследованиям, кажущиеся плотности в зависимости от давления составили для осины 1,331-1,419 г/см³, сосны 1,308-1,389 г/см³, березы 1,343-1,394 г/см³, ели 1,255-1,341 г/см³, дуба 1,118-1,166 г/см³. Максимальная величина ошибки в пределах одной породы в зависимости от давления составила 6,41 %. Разница в значениях при определении кажущейся плотности сравниваемыми способами составляет от -1,1 до 7,32 %. Экспериментально определено, что происходит снижение кажущейся плотности и увеличение значений погрешностей при переходе от режима разрежения к режиму избыточного давления для обоих сравниваемых способов.

Ключевые слова: древесина, кажущаяся плотность, методы определения кажущейся плотности, сравнение.