

УДК 630\*839:631.532.004.8

UDC 630\*839:631.532.004.8

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПОЛУЧЕНИЮ КОНДИЦИОННОЙ ХВОИ С ПОМОЩЬЮ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**THE RESULTS OF THE EXPERIMENTS ON THE PRODUCTION OF CERTIFIED NEEDLES WITH ADVANCED TECHNOLOGIES**

Посметьев Валерий Иванович  
д.т.н., профессор

Posmetyev Valery Ivanovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Михайлов Александр Геннадьевич  
ассистент  
*Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж, Россия*

Mikhailov Aleksander Gennadyevich  
assistant  
*Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia*

Посметьев Виктор Валерьевич  
к.т.н., доцент  
*Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия*

Posmetyev Victor Valeryevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

В статье представлены результаты экспериментов по отделению хвои различными способами и обоснования о преимуществе способа СВЧ-обработки

The results of the experiments on the separation of needles in different ways and reasoning the advantage of microwave processing ways have been presented in this article

Ключевые слова: ХВОЯ, ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ОБОРУДОВАНИЕ, СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ, МЕХАНИЧЕСКАЯ, ТЕПЛОВАЯ, ГЛУБОКОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ, СВЧ, ЗАВИСИМОСТЬ, АНАЛИЗ

Keywords: NEEDLES, EXPERIMENTS, EQUIPMENT, WAYS PROCESSING, MECHANICAL, HEAT, DEEP FREEZE, MICROWAVE, DEPENDENCE, ANALYSIS

Комплексное использование биоресурсов планеты является актуальной проблемой современных науки и производства. В лесном комплексе нашей страны решение этой проблемы заключается в создании эффективных технологий по глубокой переработке лесного сырья и, в частности, получение высококачественной хвои [1]. Многолетний опыт по разработке и широкому внедрению оборудования для отделения древесной зелени (ДЗ) деревьев хвойных пород (сосна, ель, пихта и др.) не дал желаемых результатов по трем основным причинам. Во-первых, разработанные и внедренные еще в 70-х годах прошлого века промышленные образцы такого оборудования, основанные на механическом способе отделения хвои, оказались крайне энергозатратными и по этой причине нерентабельными [2]. Во-вторых, низкое качество получаемого на таком оборудовании сырья, т. е. отделенной ДЗ, с засоренностью посторонними включениями до 10 ... 15 % и более, делают такое сырье малопригодным для потенциальных по-

требителей (медицина, парфюмерия, пищевая и комбикормовая промышленности и др.) [3]. Третьей причиной низкой эффективности традиционной технологии отделения ДЗ является отсутствие фундаментальных научных исследований как по механизму отделения хвои с учетом ее биологических особенностей и физико-механических свойств, так и по разработке новых перспективных технологий. В этой связи представляют интерес выполненные на кафедре ПРЭМ Воронежской государственной лесотехнической академии (ВГЛТА) экспериментальные исследования, направленные на получение кондиционной (высококачественной) хвои с наименьшими энергозатратами [4, 5].

На начальном этапе исследований были выполнены предварительные эксперименты с целью укрупненной оценки эффективности и определения возможности практической реализации следующих способов отделения хвои: воздействием высокой температуры, глубокого охлаждения в среде жидкого азота и, наконец, методом СВЧ-обработки. Варьируемыми параметрами в данных экспериментах являлись продолжительность и величина температурных воздействий на хвойные лапки. Полученные результаты сравнивались с результатами традиционной технологии получения зелени механическим способом по опубликованным данным литературных источников [1 ... 3]. При этом основными критериями оценки эффективности сравниваемых способов отделения хвои являлись энергозатраты и качество получаемого сырья. Последнее оценивалось поштучным подсчетом количества самоотделившихся хвоинок (в %) от общего их количества в навеске. Оптимальные параметры температурных воздействий определялись из следующих фиксированных значений температур, при нагреве: 100, 150, 200, 250 и 320 °С, а при охлаждении: 60, 80, 100 и 120 °С. Продолжительность температурных воздействий при этом определялась опытным путем исходя из следующих требований: минимальной достаточности по энергозатратам; максимального эффекта ослабления связи листовой пластинки хвои со стеблем; исключением повреждений и существенного

снижения полезных веществ в хвое (минимальное значение содержания каротина 70 мг/кг). Опыты проводились с навесками хвои сосны обыкновенной массой по 50 г с трехкратной повторностью для каждого из исследуемых параметров. Опуская другие подробности описания методики проведения и обработки полученных данных экспериментов, опубликованные авторами в работах [4 ... 6], на рисунке 1 представлены соответствующие зависимости качества

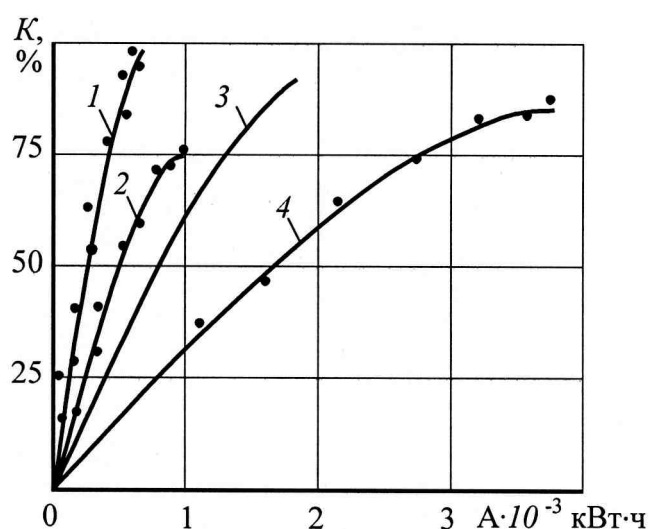


Рисунок 1 – Зависимости качества  $K$  отделения хвои от затрачиваемой работы  $A$  для способов: 1 – СВЧ-обработкой; 2 – нагревом; 3 – механическим; 4 – глубоким охлаждением

... 4). Высокие энергозатраты способом низкотемпературного воздействия на хвою (кривая 4) объясняются повышенными сложностью и дороговизной получения жидкого азота, а механического (кривая 3) – необходимостью неоднократного повтора операции отделения и очистки хвои для получения заданного качества конечного продукта. Оба эти способа все же не обеспечивают необходимого качества получаемого сырья, не превышающего соответственно 85 и 90 %. Основными недостатками способа высокотемпературного воздействия (кривая 2) является низкая степень отделения хвои, не превышающая 75 %, а также трудность обеспечения ее равномерного прогрева. Причем, улучшить этот показатель

качества  $K$  отделения хвои от затрачиваемой при этом работы  $A$ .

Анализ полученных кривых свидетельствует о явном преимуществе способа СВЧ-обработки (кривая 1), как по энергозатратам (0,007 кВт·ч), так и качеству отделения хвои (3 % не отделившихся хвоинок). Так, по энергозатратам показатели в среднем в 1,7, 2,8 и 5,8 раз превосходят аналогичные показатели сравниваемых способов отделения хвои (кривые 2

за счет увеличения температуры или простого увеличения продолжительности теплового воздействия на хвою невозможно, т. к. в этом случае она получает неизбежные ожоги, и в ней снижаются полезные каротин и витамины.

В то же время результаты экспериментов свидетельствуют о явном преимуществе всех трех исследуемых способов перед механическим, заключающимся в обеспечении ими относительно высокой самоотделяемости хвои. Это позволяет существенно снизить дополнительные энергозатраты на доотделение хвои путем последующей механической обработки. При этом, как следует из графика, доотделение хвои при использовании технологии на основе СВЧ-обработки практически не требуется, что, естественно, повышает экономичность этого способа.

При экспериментах по тепловой обработке хвои, как при положительных (нагреве), так и отрицательных (замораживании) температурах, было выявлено также явление релаксации (восстановление утраченных свойств), значительно влияющее на прочность связи хвои со стеблем. Вследствие этого потребовалось более тщательное изучение этого явления с целью последующего устранения его негативных последствий при разработке технологического процесса и оборудования для отделения ДЗ.

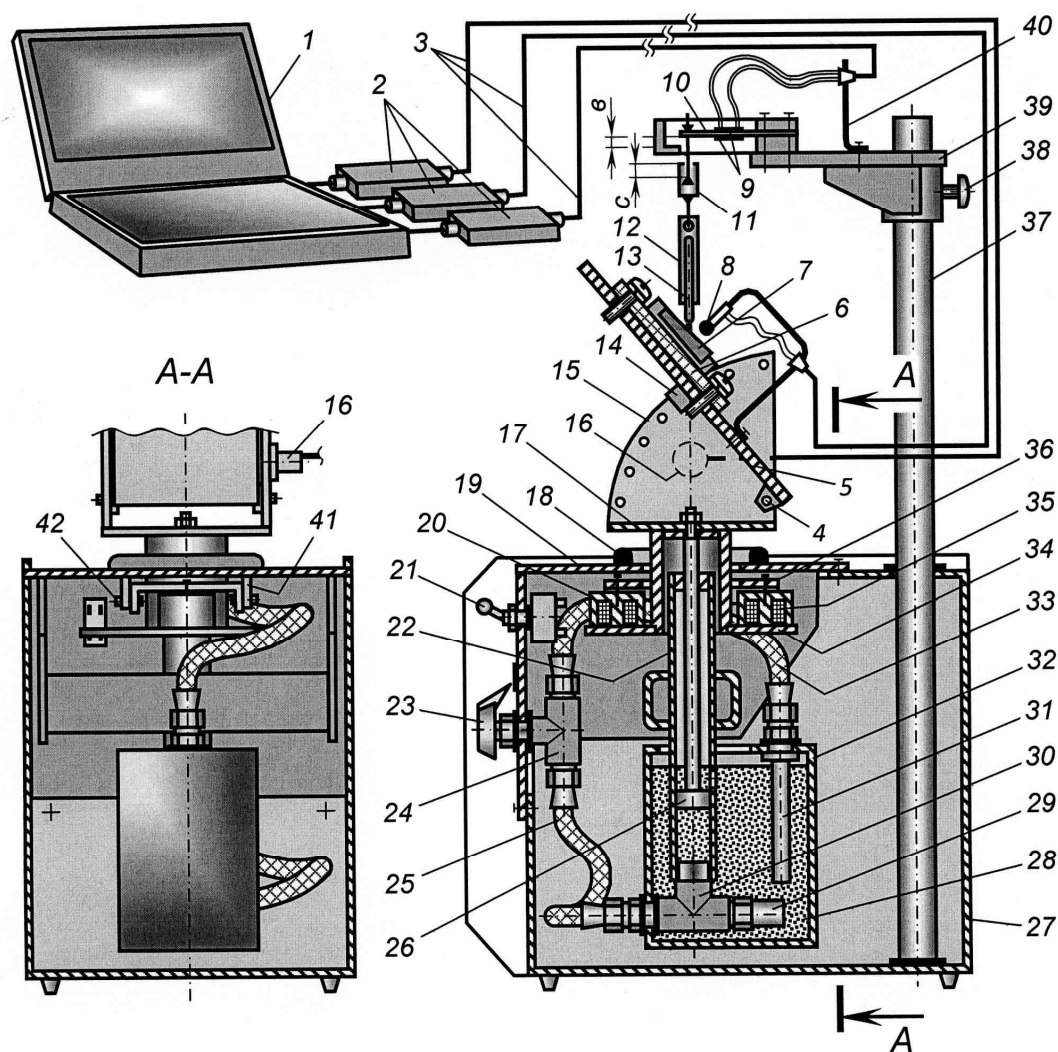
Кроме этого на первой стадии исследований было выявлено, но не изучено влияние на величину усилия отрыва хвои от стебля таких факторов, как динамические воздействия, ориентация хвоинки относительно стебля, местоположение хвоинки на ветке (на одревеневшей и не одревеневшей ее частях) и др.

Таким образом, анализ результатов выполненных предварительных экспериментов в целом подтвердил возможность и перспективность исследуемых способов отделения хвои, но не позволил однозначно определить наиболее эффективный из них. Поэтому, с учетом выявленных особенностей процесса отделения хвои, на следующем этапе исследований были определены приоритетные задачи и выполнены соответствующие лабораторные эксперименты. Для этого были разработаны методика углубленных экспе-

риментов и соответствующее оборудование, позволяющие более детально исследовать влияние перечисленных выше факторов на величину усилия отрыва хвои от стебля для разных способов ее получения.

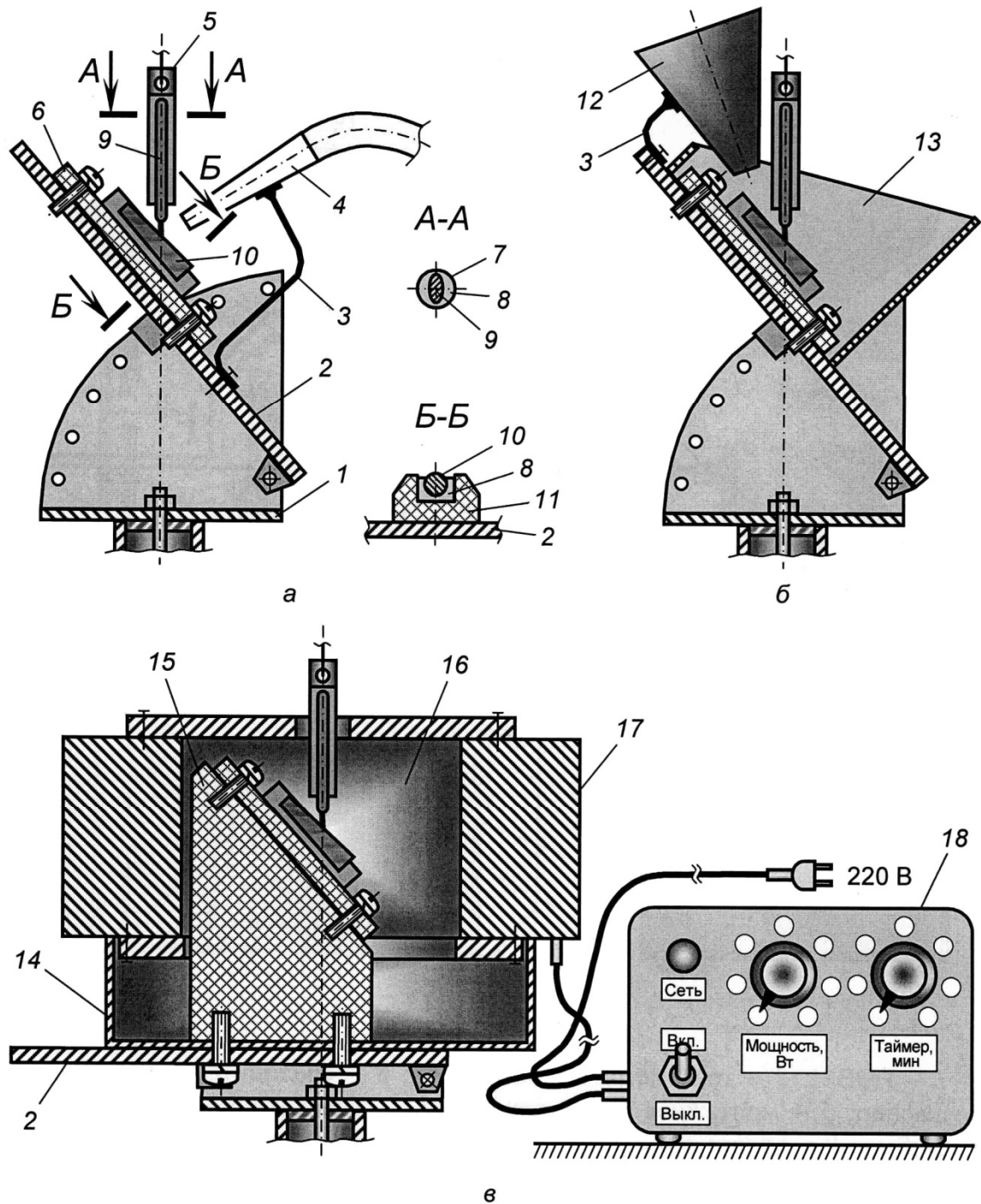
Принципиальные схемы экспериментальной установки и используемого совместно с ней сменного оборудования представлены на рисунках 2 и 3. На рисунке 2 изображена конфигурация установки для случая проведения серий опытов при нормальной температуре. Работа установки заключается в управляемом перемещении вниз под действием собственной массы платформы 17 с закрепленной на ней поворотной монтажной площадкой 5 (рис. 2). Фрагмент исследуемого стебля с хвоинкой закрепляется на монтажной площадке с помощью фиксирующего устройства 6, а сама листовая пластинка с помощью другого фиксирующего устройства 12 соединена с механизмом свободного хода 11. Последний предназначен для обеспечения стабилизации скорости установившегося движения хвоинки в момент отрыва ее от стебля, а сам он прикреплен с помощью упругого элемента силового датчика 10 к держателю 40 штатива 39.

Механизм управления скоростью опускания платформы включает в себя гидроцилиндр 22, шток которого прикреплен к платформе, дроссель 24, бачок 32 с рабочей жидкостью 28 и электромагнит 20. В качестве рабочей жидкости использовалась маловязкая жидкость «Дизельное топливо З-02 минус 35 ГОСТ 305-82» с вязкостью  $1,6 \dots 9,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ . Работа механизма заключается в следующем. Перед закреплением очередного объекта исследования (фрагмента стебля с хвоинкой) с помощью фиксирующих устройств 6 и 12 на монтажной площадке 5, электромагнит 20 выключателем 21 переводит платформу 17 в крайнее верхнее положение и надежно



1 – ПЭВМ; 2 – тензометрические модули; 3 – соединительные кабели; 4 – шарнир; 5 – поворотная монтажная площадка; 6 и 12 – фиксирующие устройства, соответственно стебля и хвои; 7 – стебель; 8 – датчик температуры; 9 и 10 – соответственно тензодатчики и упругий элемент силового датчика; 11 – механизм свободного хода; 13 – хвоинка; 14 – фиксатор; 15 – направляющая; 16 – тензометрический датчик ускорения; 17 – платформа; 18 – амортизатор; 19 – рама; 20 – электромагнит; 21 – выключатель; 22 – гидроцилиндр опускания платформы; 23 – ручка управления дросселем; 24 – дроссель; 25 и 33 – гибкие трубопроводы; 26 – поршень; 27 – корпус; 28 – рабочая жидкость; 29 – клапан обратный; 30 – тройник; 31 – трубка дренажная; 32 – бачок; 34 – якорь электромагнитов; 35 – катушка электромагнита; 36 – коромысло подвески электромагнитов; 37 – штатив; 38 – винт стопорный; 39 – держатель; 40 – стойка; 41 – кронштейн; 42 – ось крепления коромысла; 43 – тензоизмерительное звено; 44 – схема включения тензорезисторов

Рисунок 2 – Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования влияния температуры и ускорений на величину усилия отрыва хвои от стебля



1 – платформа; 2 – монтажная площадка; 3 – кронштейн; 4 – сопло для подвода воздуха от теплогенератора; 5 и 6 – фиксирующие устройства, соответственно хвои и стебля; 7 – капсула; 8 – механический зажим; 9 – хвоинка; 10 – стебель; 11 – ложе; 12 – воронка для заливки жидкого азота; 13 – ограждение; 14 – поддон; 15 – стойка; 16 – камера; 17 – СВЧ-нагреватель; 18 – блок управления

Рисунок 3 – Варианты комплектования оборудования на монтажной площадке экспериментальной установки для проведения серий опытов при положительных (а) и отрицательных (б) температурах, а также при СВЧ-обработке (в) в местах крепления хвои к стеблю

удерживает ее. После закрепления объекта исследования на монтажной площадке 5, установки с помощью ручки управления дросселем 23 желаемой скорости опускания платформы, и проверки готовности тензометрической аппаратуры к работе, выключателем 21 отключают электромагнит 20. Платформа 17 под действием собственной массы и усилия, создаваемого соленоидом (на рис. 2 не показано), устремляется вниз с заданной скоростью и таким образом происходит отрыв хвоинки 13 от стебля 7. Конструкция механизма обеспечивает скорость опускания платформы в пределах от  $10^{-4}$  до 1,0 м/с.

Исследуемая листовая пластинка 13 зажимается захватом 12, соененным через механизм свободного хода 11 с тензозвеном 43. Использование механизма свободного хода дает возможность избежать погрешности измерений в период разгона электропривода до установившегося режима движения. С этой целью в механизме свободного хода предусмотрен зазор  $c$ , величина которого является расчетной и зависит от времени разгона электропривода.

Для устранения погрешностей, связанных с деформацией упругого элемента тензозвена, предусмотрен зазор  $b$ , принимаемый по величине таким образом, чтобы обеспечивалась надежная работа тензодатчиков 12 в диапазоне допустимых деформаций упругого элемента 10. Для предотвращения взаимных перемещений стебля и хвоинки, а их обоих в фиксирующих устройствах 6 и 13 и исключения искажения получаемых результатов тензометрирования, и стебель и хвоинка надежно закреплялись в фиксирующих устройства с помощью механического зажима 8 (рис. 3, а), стойкого к воздействию высоких и низких температур.

При проведении опытов значения температуры в месте крепления хвоинки со стеблем, усилия и ускорения в моменты ее отрыва фиксировались соответствующими датчиками 8, 9 и 16 (на рис. 2), а автоматическая обработка получаемых при этом данных и их регистрация осуществлялись



с помощью тензометрических модулей 2 и ПЭВМ 1.

Эксперименты по исследованию влияния высоких температур при нагреве на величину усилия отрыва хвои осуществлялись путем продувки места крепления хвоинки со стеблем через сопло 4 (рис. 3, а) воздухом, нагретым с помощью теплогенератора (на рис. 3, а не показано). При этом в теплогенераторе предусмотрена плавная регулировка температуры нагрева в пределах от 100 до 300 °С. Продолжительность нагрева составляла в пределах от 120 до 360 с.

Процесс отделения хвои с использованием СВЧ-энергии основан на удалении влаги из клеток растения. За счет большой влажности хвои (более 100 %) процесс сушки протекает за короткий период времени. Интенсивная потеря влаги ведет к нарушению связи листовой пластинки с черешком, т. к. поперечное сечение мутовки (основании хвоинки) хвои в 4 ... 6 раз меньше. Было выявлено, что в мутовке влажность ниже, чем в самой листовой пластинке, вследствие чего происходит ослабление связи хвои с черешком, что и способствует лучшему её отделению [2].

Серии опытов по глубокому охлаждению исследуемого объекта в пределах от –60 до –120 °С выполнялись с помощью дозируемых объемов жидкого азота, подаваемого через воронку 12 (рис. 3, б) к месту крепления хвоинки со стеблем. Продолжительность воздействия холодом составляла в пределах от 60 до 300 с. Для повышения эффективности охлаждения и обеспечения безопасности при выполнении экспериментов предусмотрено ограждение 13.

Аналогичные исследования фрагментов стеблей с хвоинками путем их СВЧ-обработки выполнялись с помощью разработанных по рекомендациям [7, 8] и изготовленных компактного СВЧ-нагревателя 17 (рис. 3, в), установленного на монтажной площадке 2 и блока управления 18. Варьируемыми параметрами в этом случае были мощность, затрачиваемая на нагрев стебля и хвоинки в пределах от 5 до 50 Вт, и, продолжительность СВЧ-обработки – от 30 до 300 с.

Серии опытов на экспериментальной установке выполнялись в следующей последовательности. Вначале для каждого способа отделения хвои определялись максимальные из возможных значений температуры и продолжительности нагрева, охлаждения и СВЧ-обработки. При этом основным критерием годности после термообработки считалась хвоя с содержанием каротина не менее 70 мг/кг. Опыты выполнялись при естественных углах между осями хвоинки и стебля, составляющие в среднем  $45^\circ$ . После этого проводились эксперименты по определению величины усилия отрыва хвоинки при нагреве и охлаждении в выявленном ранее допустимом диапазоне температур. Кроме этого были выполнены серии опытов по определению влияния релаксации на величину усилия отрыва хвоинки. Для этого после каждой операции термообработки до момента включения механизма отрыва делались выдержки во времени продолжительностью от 0 до 900 с (с интервалом 60 с). Каждый опыт выполнялся троекратно с последующим усреднением полученных значений параметров.

Результаты экспериментов представлены графиками на рисунках 4 и 5.

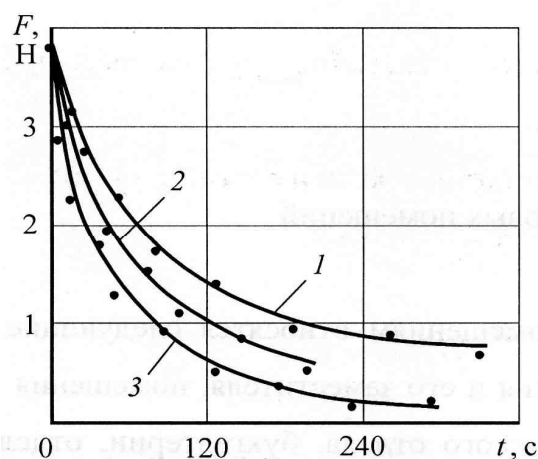


Рисунок 4 – Зависимости величины усилия  $F$  отрыва хвоинки от продолжительности  $t$  воздействия: 1 – нагрева; 2 – глубокого охлаждения; 3 – СВЧ-обработки

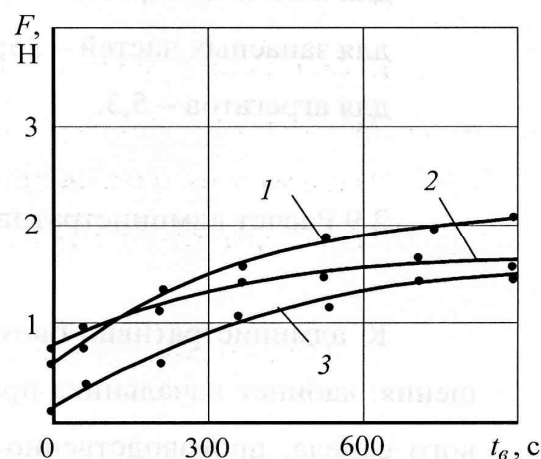


Рисунок 5 – Зависимости величины усилия  $F$  отрыва хвоинки от продолжительности выдержки во времени  $t_в$  после: 1 – нагрева; 2 – глубокого охлаждения; 3 – СВЧ-обработки

Анализ кривых графиков на рисунке 4 свидетельствует о существенном влиянии на величину усилия отрыва времени воздействия нагрева или охлаждения. Продолжительность такого воздействия составила 350, 200 и 300 с, соответственно при нагреве, глубоком охлаждении и СВЧ-обработке. При этом усилие отрыва хвоинки после СВЧ-обработки снизилось на значительную величину по сравнению с нагревом и глубоким охлаждением – соответственно в 6,3 и 4,8 раза, а без тепловой обработки – в 19 раз. Минимальные значения усилий отрыва хвоинки от черешка были зафиксированы в опытах с СВЧ-обработкой, которые составили 0,2 Н (кривая 3 на рис. 4), против 0,8 и 0,6 Н при нагреве и глубоком охлаждении, соответственно (кривые 1 и 2).

Результаты экспериментов выявили значительную зависимость восстановления прочности связи хвоинки со стеблем от времени выдержки в период от конца нагрева или охлаждения до момента включения механизма отрыва установки. Опытами установлено, что среднее время частичного восстановления прочности крепления хвоинки к стеблю (релаксации) составило 600 с при глубоком охлаждении, 800 с при СВЧ-обработке и 900 с при нагреве (кривые соответственно 2, 3, и 1 на рис. 5). За это время значения усилий отрыва хвоинки увеличились в 3,5, 2,2 и 7,5 раза, а максимальные значения усилий отрыва хвоинки в конце релаксации составили 2,1, 1,6 и 2,4 Н, соответственно при нагреве, глубоком охлаждении и СВЧ-обработке. Эти значения усилий соответственно в 1,8, 2,4 и 1,6 раза меньше значения усилия отрыва у контрольного образца хвоинки и стебля в нормальных условиях без воздействия нагрева и охлаждения.

Экспериментально было также исследовано влияние влажности окружающей среды в месте крепления хвоинки со стеблем на параметры релаксации (времени и величины усилия отрыва хвоинки). В частности, при зафиксированных условиях проведения опытов в лаборатории: давлении 0,1013 ... 0,1014 МПа, температуре 16 ... 18 °С и влажности воздуха 40 ... 45 %, продолжительность времени релаксации с увеличением относи-

тельной влажности на 10, 20 и 30 % уменьшилась в среднем соответственно на 7, 12 и 20 %. При этом влияние способа нагрева или охлаждения хвоинки и стебля оказалось незначительным. В аналогичных условиях величина усилия отрыва хвоинки повысилась незначительно – в среднем соответственно на 3, 5 и 9 %, т. е. находилась в пределах ошибки измерений.

Выявленный эффект релаксации, очевидно, объясняется частичным восстановлением внутренней структуры (формы и геометрических размеров клеток и др. элементов) мутовки листовой пластинки и черешка в результате интенсивного насыщения их влагой, вытесненной ранее при тепловом воздействии. В тоже время изменение влажности в аналогичных опытах с контрольными образцами хвоинок и стеблей не выявили заметной релаксации.

Отдельными экспериментами на установке было также исследовано влияние на величину усилия отрыва величины угла между осями хвоинки и стебля (угол отрыва), как в продольном, так и в поперечном относительно оси стебля направлениях. С этой целью поворотная монтажная площадка (см. поз. 5 на рис. 2), стебель и ложе фиксирующего устройства установки (см. поз. 6, 10 и 11 на рис. 3, а) устанавливались и закреплялись в соответствующем положении. Углы отрыва хвоинки в продольном направлении устанавливались следующими:  $10^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  (естественное положение хвоинки на стебле),  $90^{\circ}$  и  $170^{\circ}$ , а в поперечном:  $90^{\circ}$  (естественное положение хвоинки на стебле),  $135^{\circ}$  и  $180^{\circ}$ . Результаты опытов позволили установить, что наибольшая величина усилия отрыва хвоинки достигает при ее естественном положении на стебле и уменьшается с увеличением отклонения от этого положения, как в продольном, так и в поперечном направлениях. В продольном направлении усилие отрыва уменьшалось при углах отрыва  $10^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  и  $170^{\circ}$  соответственно на 20, 30 и 50 %, а в поперечном направлении при углах отрыва  $135^{\circ}$  и  $180^{\circ}$  соответственно на 25 и 40 %.

Обобщение результатов комплексного экспериментального исследова-

ния по отделению хвои различными способами позволило заключить следующее:

– способ СВЧ-обработки хвойных лапок в 1,7, 2,8 и 5,8 раз менее энергозатратен, по сравнению с методами, соответственно нагрева, механическим и глубокого охлаждения;

– наиболее высокое качество отделения хвои обеспечивается способом СВЧ-обработки и составляет 97 %, против 85, 75 и 90 %, соответственно способами глубокого охлаждения, нагрева и механического;

– способ СВЧ-обработки обеспечивает высокое качество отделения хвои за одну операцию, тогда как глубокое охлаждение, нагрев и механический способы требуют повторных операций для доочистки хвои;

– при прочих равных условиях, усилие отрыва хвоинки от стебля после их СВЧ-обработки в 4,8, 6,3 и 19 раз меньше, чем соответственно при глубоком охлаждении (до  $-120^{\circ}\text{C}$ ), нагреве (до  $300^{\circ}\text{C}$ ) и механическом отделении хвои;

– на величину усилия отрыва хвои существенно влияет процесс релаксации, который в значительной степени определяется влажностью окружающей среды и временем выдержки между окончанием теплового воздействия и моментом отрыва хвоинки и в меньшей степени зависит от способа отделения;

– за время релаксации (600 ... 900 с) значения усилий отрыва хвоинки увеличились в 3,5, 2,2 и 7,5 раза, а максимальные значения усилий отрыва хвоинки в конце релаксации составили 1,1, 0,8 и 1,2 Н, соответственно при нагреве, глубоком охлаждении и СВЧ-обработке;

– для устранения отрицательного влияния релаксации в проектируемой установке необходимо исключать или сводить к минимуму продолжительность выдержки, а влажность снижать путем интенсивной вентиляции рабочей камеры хвоеотделителя;

– наибольшая величина усилия отрыва хвоинки достигается при ее

естественном положении на стебле и уменьшается с увеличением отклонения от этого положения, как в продольном, так и в поперечном направлениях в среднем на 20 ... 50 %.

Результаты выполненных экспериментальных исследований позволили предложить перспективный способ и новое техническое решение устройства для получения кондиционной хвои [9].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Запольский, Б. А. Комплексная переработка кроны / Б. А. Запольский, Е. Н. Быков // Лесная промышленность. – 1960. – № 7. – С. 23-24.
- 2 Свиридюк, К. А. Механизированная заготовка древесной зелени / К. А. Свиридюк [и др.] // Лесная промышленность. – 1984. – № 6. – С. 14.
- 3 Кевиньш, Ю. Ю. Механизация заготовки древесной зелени и щепы из лесосечных отходов: Обзор / Ю. Ю. Кевиньш. – Рига : ЛАТНИИЛХ, 1980. – 39 с.
- 4 Посметьев, В. И. К моделированию процесса СВЧ-нагрева древесной зелени / В. И. Посметьев, О. С. Калашникова // Лесной вестник. – 2006. Препринт № 103. – С. 3-5.
- 5 Посметьев, В. И. Обоснование способа и схемы установки для отделения хвои / В. И. Посметьев, О. С. Калашникова // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : Материалы международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГТУ, 2006. – 28-30.
- 6 Калашникова, О. С. Экспериментальная установка для определения усилия отрыва хвои от стебля / О. С. Калашникова // Сборник научных трудов проф. Петровского. – 2006.
- 7 Низкоинтенсивные СВЧ-технологии (проблемы и реализации) / Под ред. Г. А. Морозова и Ю. Е. Седельникова. – М. : Радиотехника, 2003. – 112 с.
- 8 Торговников, Г. И. Сверхвысококачественный способ обработки древесной зелени / Г. И. Торговников, Т. В. Минакова // Лесной журнал. – 1983. – № 2. – С. 52-55.
- 9 Патент РФ 2308827. 2006. МПК А01G 23/00. Способ обработки древесной зелени и устройство для его осуществления.