

674.6

А-2

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР

Белорусский технологический институт  
им. С. М. Кирова

Аспирант ЛАСИЦА М. Д.

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СПОСОБА  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СТРУЯМИ  
ВЫСОКИХ И СВЕРХВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ**

Автореферат  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата  
технических наук

Научный руководитель  
начальник отделения механизации и автоматизации  
лесных складов ЦНИИМЭ кандидат технических наук  
**ПАВЛОВ В. П.**

г. Минск  
1965

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР

Белорусский технологический институт  
им. С. М. Кирова.

Аспирант ЛАСИЦА М. Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СПОСОБА  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ  
СТРУЯМИ ВЫСОКИХ И  
СВЕРХВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

Автореферат  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата  
технических наук.

Научный руководитель  
начальник отделения механизации и автоматизации  
лесных складов ЦНИИМЭ кандидат технических наук  
ПАВЛОВ В. П.

г. Минск  
1965

722-ар.

Работа выполнена в лаборатории переработки низкокачественной древесины и древесных отходов Центрального научно-исследовательского и проектно-конструкторского института механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ).

## ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая потребность народного хозяйства нашей страны в древесине может быть обеспечена не только увеличением объема лесозаготовок, но также более рациональным и полным ее использованием. Особенно большое внимание вопросам комплексного использования древесины уделено на Ноябрьском (1962 г.) и Декабрьском (1963 г.) Пленумах ЦК КПСС, где отмечалось, что лесозаготовительными и деревообрабатывающими предприятиями в настоящее время около 40% всего объема заготавливаемой древесины (что составляет 160 млн. м<sup>3</sup>) превращается в различного вида отходы и низкосортные сортименты. Такие большие потери определяются в основном наличием в древесине гнилей и других пороков, не обеспечивающих заготовкам размеры и качество, предусмотриваемые ГОСТами. Между тем в этом объеме содержится 80% и более здоровой древесины, из которой могли бы быть получены целлюлоза, бумага, картон, древесно-волоконистые и древесно-стружечные плиты, различные прессованные изделия и другие материалы. С целью утилизации и включения этого огромного количества древесины в сырьевые ресурсы как в СССР, так и за границей разработано ряд мероприятий, в том числе новая технология лесозаготовок. При такой технологии используется полностью вся заготавливаемая древесина путем измельчения ее на технологическую щепу непосредственно на лесосеке, с последующей транспортировкой до перерабатывающих предприятий по трубопроводной системе в гидравлической среде.

Однако, при измельчении древесины механическими способами, отделение коры, особенно от щепы, полученной из сучьев и ветвей, а также гнили от здоровой части древесины затруднено, а иногда невозможно. Это значительно снижает качество технологической щепы или усложняет процесс ее получения, затрудняя внедрение в промышленность новой технологии лесозаготовок.

Эти и другие обстоятельства определяют необходимость поисков новых способов измельчения древесины на технологическое сырье. Поэтому в ЦНИИМЭ с 1961 года проводятся

исследования гидравлического способа измельчения древесины при помощи тонких водяных струй высоких и сверхвысоких давлений.

Исследованиями установлено, что при воздействии на древесину тонкими струями в торец происходит ее измельчение на однородные частицы длиной, равной величине подачи, с толщиной и шириной от 0,01 до 3,0 мм. После сепарации на фракции измельченная древесина, пригодна без дополнительной обработки для производства древесной массы, картона, древесно-волокнистых, древесно-стружечных плит, прессованных деталей, блоков, панелей и других материалов, обеспечивая изделиям повышенные качества. Гидравлический способ измельчения древесины становится еще более актуальным с применением катализаторов при гидротранспорте. Во время транспортирования в такой среде измельченная древесина проходит одновременно стадию разложения, что значительно сокращает цикл варки ее в целлюлозном и др. производстве.

В связи с тем, что новым является не только способ, но и активный элемент измельчения — струя, теоретические и экспериментальные исследования проводились по изучению некоторых характеристик струй и основных факторов, определяющих процесс измельчения ими древесины.

## ГЛАВА I

### Состояние вопроса

Гидравлические струи с давних времен находят широкое применение для разрушения различных материалов. Начиная с низконапорных струй большого диаметра, полученных за счет перепада уровней, до струй высоких и сверхвысоких давлений, образуемых современной гидромеханизацией — таков долгий путь совершенствования и применения их для практических целей. Развитие гидромеханизации значительно расширило область промышленного применения струй в народном хозяйстве. Гидроструи широко и эффективно применяются на приисках золота и платины, при добыче угля, олова, торфа, марганцевых и других руд, на строительных работах, при производстве вскрышных работ на добыче полезных ископаемых и др. Применение комплексной гидромеханизации обеспечивает упрощенную, малооперационную технологию производства, исключает ручной труд, увеличивает производительность в 3—5 раз, на 30—40% сокращает капиталовложения при сооружении предприятий и значительно уменьшает вспомогательные работы. В СССР и за границей проводятся также исследования возможности применения гидроструй для резания металлов, горных пород

высокой прочности, бурении скважин, резании и обработке древесины и др. материалов.

В большинстве работах довоенного и даже послевоенного периода исследовались процессы размыва песков при добыче полезных ископаемых и на строительных работах, где применяются низконапорные струи больших диаметров. К первым работам относятся исследования А. Е. Иванова, С. С. Пастернака, Н. Д. Аверина, А. Ф. Биркенгофа и др.; к более поздним — работы Г. А. Тер-Степанова, И. Д. Евдокимова, А. М. Дементьева, С. И. Горюнова, Г. Н. Ропера, Г. П. Никонова и др.

Эти работы устанавливают эмпирические зависимости производительности гидромониторов и представляют значительный научный интерес, хотя они и не раскрывают физической сущности процесса гидроразрушения и не учитывают взаимосвязи между физико-механическими свойствами грунта и динамическими характеристиками струи.

Одними из первых работ по гидродобыче угля являются работы проф. В. С. Мучника. Позднее исследованиями в этой области занимались Н. Ф. Цяпко, В. И. Геронтьев, А. М. Журавский, М. Борецкий, А. М. Чапка, В. Г. Гейер, И. С. Куклин; Г. Н. Хрущев и др. В создании гидронасосов сверхвысоких давлений и резании прочных горных пород и металлов ценные работы выполнены проф. Л. Ф. Верещагиным, А. А. Семерчаном, А. Н. Зеленым, Г. М. Веселовым, Ю. Г. Коняшиным, Н. Е. Черкасовым, К. Б. Шляпиным, Я. С. Аитовым и др., а в создании импульсных водометов, образующих струи давлением до 60000 атм., акад. М. А. Лаврентьевым, чл. кор. АН СССР Б. В. Войцеховским, Ю. А. Антоновым.

Для окорки, измельчения и резания древесины в СССР струи впервые применены А. И. Осиповым, В. Г. Юговым, затем автором; в США — Брайном. Полученные первые результаты показывают целесообразность их использования для безоппочного резания, разделки и измельчения древесины, на валке леса и обрезке сучьев, удаления коры и гнили и ряда других операций.

При гидравлических способах разрушения различных материалов струи являются активным рабочим органом, определяющим не только производительность, но и эффективность процесса в целом. Поэтому изучение их характеристик является одной из главных задач исследования. В основу изучения гидроструй положены результаты теоретических и экспериментальных исследований свободных затопленных газовых струй. А. Я. Милович получил уравнение энергии и неразрывности потока. Исследования Прандтля, Тольминса, Шлихтинга, Свена, Сыркина, Рейхарда, Тейлора и др. определили теорию газовых струй. Эти исследования впослед-

ствин были обобщены и представлены в общем виде в трудах Г. Н. Абрамовича и Л. Г. Лойцянского, Г. Н. Абрамович разделяет струю по длине на 2 участка: начальный и основной. В соответствии с принятой схемой струи он получил ряд уравнений для определения структуры, геометрических размеров, осевой скорости струи и др. характеристик. Коэффициент турбулентной структуры по выводам Г. Н. Абрамовича, в широком диапазоне чисел  $Re$  не изменяется и не зависит от него. Этот коэффициент изучался также в работах Трюпеля, Цимма, Туркуса и Сыркина. Исследованиями свободных затопленных струй воды занимались И. М. Коновалов, Е. А. Замарин, Н. И. Теперенин, В. Я. Чичасов и др. Значительный интерес в изучении струй воды представляют работы Н. П. Гавырина, Г. А. Тер-Степанова, Г. Н. Кононова, Г. И. Роера, В. И. Геронтьева, Л. П. Северина, А. М. Журавского и др. Особую ценность в определении обобщенных зависимостей гидравлических характеристик гидроструй представляют последние работы Н. Ф. Цяпко, Г. П. Кононова, С. С. Шавловского, В. Ф. Хныкина, И. С. Куклина, К. М. Штукатурова и др., для получения которых авторами применены безразмерные относительные величины, а в качестве критерия подобия — коэффициент турбулентной структуры или длина начального участка.

Этими исследованиями установлено, что основные характеристики гидроструй не остаются постоянными не только по длине, но и в плоскости поперечного сечения; осевые же скорость и давление, плотность и расход на начальном участке струи остаются постоянными, а на основном изменяются по определенной закономерности. Это определяет и разрушительную способность гидравлических струй в зависимости от расстояния до насадки.

## ГЛАВА II.

### Постановка вопроса и некоторые теоретические предпосылки

Из анализа гидравлических способов разрушения различных материалов можно предположить, что тонкие струи при воздействии на древесину наряду с другими операциями могут производить ее измельчение на технологическое сырье. Для получения древесных частиц однородного состава предполагалось направление струи в торец или близкое к нему. Анализ показывает, что измельчение древесины гидравлическими струями — сложный комплексный процесс, определяемый многочисленными факторами, которые объединяются в три основные группы:

1. Факторы, определяющие кинематические и гидродинамические характеристики струй.

2. Факторы, характеризующие физико-механические свойства и биологическое строение древесины.

3. Факторы, определяющие взаимодействие гидроструй с древесиной в процессе ее измельчения.

На первой стадии исследовались основные факторы, в большей степени влияющие на изучаемый процесс как с точки зрения производительности, так и степени измельчения. К ним относятся: воздействие струи в направлении волокон древесины к годовым кольцам, удельное давление в плоскости воздействия, диаметр струи на вылете из насадки, расстояние от насадки плоскости контакта струи с древесиной, скорость относительного перемещения струи и древесины (скорость подачи), количество воздействий струи по одной плоскости. Определено влияние каждого из перечисленных факторов на процесс измельчения древесины.

Кроме того, для получения обобщенных зависимостей изучаемых факторов и объяснения характера их изменения определена необходимость в изучении силы воздействия струй в зависимости от их начального диаметра, давления воды перед насадкой, расстояния между преградой и насадкой, а также коэффициента расхода насадки при сверхвысоких давлениях. Вместо коэффициента турбулентной структуры струи— $a$  и длины начального участка— $l_n$  теоретическим анализом в качестве критерия подобия установлена возможность применить расстояние от насадки до максимума силы воздействия— $l_{R_{max}}$ .

В данном разделе дан также теоретический анализ работы гидронасоса за рабочий ход плунжера, и произведены исследования необходимых характеристик при его работе без ресивера и с ресивером, образующим импульсные и непрерывные струи.

## ГЛАВА III

### Методика экспериментальных исследований гидравлических струй сверхвысоких давлений и измельчения ими древесины

Для изучения гидравлических струй и процесса измельчения ими древесины была разработана методика исследования и созданы необходимые механизмы, приборы и приспособления. В исследованиях применен гидравлический насос, образующий струи высоких и сверхвысоких давлений.

При изучении силы воздействия струи применены приборы, созданные в ЦНИИМЭ. С помощью их достаточно точно измерялись сила воздействия струи на преграду и давление воды перед насадкой. Регистрация этих двух величин производилась одновременно осциллографом ОУ-24 при помощи гальванометра ГМЗ-46 V группы.



Коэффициент расхода определялся отношением фактического расхода к теоретическому. Для измерения фактического расхода воды применен комплект приспособлений, которые регистрировали фактический расход воды, истекающей не только через насадку, но и через сливной патрубков. Так как при сжатии вода нагревается, то производилось измерение ее температуры.

В связи с тем, что струя не перемещается по древесине, для исследования процесса измельчения изготовлен механизм подачи, обеспечивающий закрепление и перемещение образцов с необходимой скоростью и на нужном расстоянии от насадки. Кроме того, им обеспечивалось регулирование величины подачи. Критерием оценки результатов экспериментов принята величина  $b$  — глубина внедрения струи в древесину за однократное воздействие, так как при постоянных скорости подачи —  $u$  и величине подачи —  $h$  она определяет производительность гидроструй.

Исследования проводились на древесине ели. Образцы из нее заготавливались в соответствии с техническими условиями ГОСТ 6336-52.

#### ГЛАВА IV.

##### Экспериментальные исследования струй малых диаметров высоких и сверхвысоких давлений

Поскольку гидравлический способ измельчения древесины зависит от ряда характеристик струй, то для получения обобщенных зависимостей выявилась необходимость изучения силы воздействия струи на преграду —  $R$  и коэффициента расхода насадки —  $\mu$ .

Сила воздействия струй диаметром на выходе из насадки 0,46; 0,78; 0,96; 1,0; 1,2; 1,5 и 2,0 мм измерялась при давлениях от 200 до 1000 атм. с градацией через 100 ат. Изучение осциллограмм показало, что при объеме ресивера даже в 10 л. наблюдается некоторая пульсация. Это подтверждает необходимость при изучении силы воздействия измерять одновременно и давление воды в гидросистеме при помощи приборов соответствующей точности, но не отсчитывать по манометру, регистрирующему лишь средние значения.

Экспериментальные исследования зависимости  $R = f(P)$  показали, что сила воздействия гидроструй с увеличением давления в гидросистеме возрастает по параболической, но близкой к прямолинейной, зависимости. Причем, она не совмещается с теоретической величиной, всегда ниже  $R_T$  и с увеличением давления больше отклоняется от нее.

При выявлении зависимости  $R = f(\omega_n)$  в качестве сопоставимых величин приняты максимумы силы воздействия.

Анализ полученных данных показал прямолинейную зависимость этих величин. Следовательно, максимум силы воздействия находится в прямопропорциональной зависимости от площади поперечного сечения струи.

При исследовании силы воздействия струи в зависимости от расстояния преграды до насадки установлено, что полученные частные зависимости качественно подобны между собой. Если рассматривать изменение величины  $R$  от насадки и далее по оси струи, то она изменяется следующим образом. Вначале с удалением от насадки возрастает, на определенном расстоянии достигает максимума (расстояние от насадки, до максимума силы воздействия условно обозначено индексом  $l_{R_{max}}$ ), последующее удаление преграды от насадки приводит к постепенному снижению силы воздействия по зависимости, близкой к прямолинейной.

Следовательно, гидравлическим струям малых диаметров высоких и сверхвысоких давлений свойственна та же закономерность изменения силы воздействия в зависимости от расстояния, что и низконапорным струям больших диаметров.

Анализ полученных зависимостей функции  $R = f(l)$  показывает, что максимум силы воздействия с увеличением начального диаметра струи удаляется от насадки, т. е. с увеличением  $d_n$  величина  $l_{R_{max}}$  возрастает. На эту величину оказывает влияние также и давление воды в ресивере, с увеличением которого она несколько уменьшается.

Сравнение изменения величины  $l_{R_{max}}$ , полученной в наших исследованиях, с изменениями длины начального участка —  $l_n$ , полученной при исследовании низконапорных струй больших диаметров, явно выражено их взаимосвязанное изменение. Учитывая невозможность измерения в наших условиях величины  $l_n$ , для получения обобщенной зависимости функции  $R = f(l)$  в качестве критерия подобия применена величина  $l_{R_{max}}$ . Если экспериментальные данные выразить в безразмерных величинах и графически построить их в координатной системе рис. 1, где по оси ординат принята безразмерная сила воздействия —  $\frac{R_l}{R_T}$ , а по оси абсцисс — безразмерное расстояние от насадки —  $\frac{l}{l_{R_{max}}}$ , то все частные зависимости совмещаются и группируются в явно выраженную обобщенную зависимость.

Из графика следует, что максимум силы воздействия по сравнению с теоретической величиной с увеличением давления воды в гидросистеме от 200 до 1000 ат изменяется от 0,98  $R_T$  до 0,92  $R_T$ , т. е.:

$$R_{max} = (0,98 \div 0,92) R_T.$$

Расстояние максимума силы воздействия до насадки в наших экспериментах изменяется от  $140 d_n$  до  $160 d_n$ ; т. е.:

$$l_{R_{max}} = (140 \div 160) d_n.$$

Математической обработкой экспериментальных данных получена эмпирическая формула зависимости  $R = f(l)$ .

$$R_l = R_T \left[ 0,9224 + 0,00153 \left( \frac{l}{l_{R_{max}}} \right)^3 - 0,0196 \left( \frac{l}{l_{R_{max}}} \right)^2 + \right. \\ \left. + 0,03543 \left( \frac{l}{l_{R_{max}}} \right) \right]$$

Для объяснения снижения максимума силы воздействия в связи с увеличением давления воды в ресивере, а также того, что величина  $R_{max}$  не достигает  $R_T$ , проведены измерения фактического расхода воды, и по нему определен коэффициент расхода насадки —  $\mu$ . Этот коэффициент при увеличении давления от 200 до 1000 ат. изменяется от 0,97 до 0,93. Величина  $R_{max}$  при тех же давлениях, как известно из предыдущего, изменяется от  $0,98 R_T$  до  $0,92 R_T$ . Из этого следует, что на отклонение максимума силы воздействия от  $R_T$  в основном влияет масса струи, истекающей в единицу времени. Остальные же потери, из-за которых сила воздействия не достигает теоретической величины на 1—2%, вызываются потерями энергии на трение в насадке при формировании струн, потерями энергии струн при аэрации, сжимаемостью и температурой воды, химическим ее составом и другими факторами.

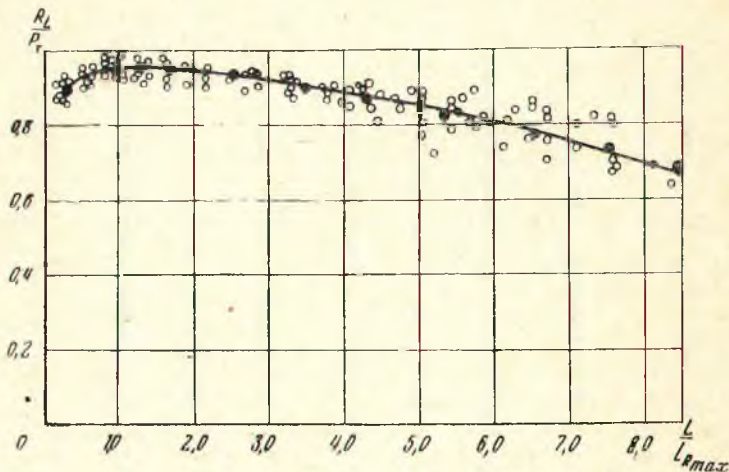


Рис. 1. Обобщенная зависимость  $\frac{R_l}{R_T} = f\left(\frac{l}{l_{R_{max}}}\right)$   
при  $p = 200 \div 1000$  ат,  $d_n = 0,46 \div 2,0$  мм и  $l = 4,6 \div 114,0$  см.

Описанный характер изменения силы воздействия гидроструй в зависимости от расстояния плоскости воздействия до насадки объясняется, по нашему мнению, следующим обстоятельством. При перемещении преграды в пределах основного участка плоскость воздействия оказывает струе равное и противоположно направленное противодействие через реактивный гидравлический конус, образуемый на плоскости воздействия. Основание конуса равно поперечному сечению ядра постоянных скоростей. Натекая на этот конус, струя расклинивается и отклоняется от нормального направления. В этом случае сила воздействия струи раскладывается на составляющие нормальную и касательную. Так как сечение ядра постоянных скоростей тем больше, чем ближе к насадке, то угол отклонения струи, в этом случае также становится большим и нормальная составляющая силы воздействия в этом сечении меньше, чем дальше от насадки. В переходном сечении касательная составляющая отсутствует, вследствие чего в этом сечении достигается максимальное значение силы воздействия. Дальнейшее увеличение расстояния от насадки вызывает снижение силы воздействия под влиянием земного притяжения, потерь, связанных с аэрацией струй и др. факторов.

## ГЛАВА V.

### Исследование основных факторов измельчения древесины гидравлическими струями

Предварительными опытами по выявлению условий экспериментов установлено целесообразным воздействие струи на древесину в торцовом и переходных, но близких к нему направлениях. Такие направления обеспечивают измельчение древесины на частицы однородного состава по длине волокон, длина которых равна величине подачи. Поперечное же сечение их составляет от нескольких долей миллиметра до нескольких миллиметров. После рассортировки на фракции измельченная древесина соответствует древесно-волокнустой массе и дробленке, которые могут быть применены перерабатывающими предприятиями как технологическое сырье без дополнительной обработки. Биологическое строение древесины также оказывает влияние на характер измельчения. Направление струи к годичным кольцам в определенной степени определяет производительность струи. Порода же при одинаковой твердости древесины в направлении воздействия не оказывает на нее существенного влияния.

Основными экспериментальными исследованиями процесса измельчения древесины гидроструями определялось влияние на производительность удельного давления, начального

диаметра струн, расстояния до насадки плоскости контакта струн с древесиной, скорости подачи (относительного перемещения струн и древесины), количества проходов струн по древесине в одной плоскости.

Выявление зависимости глубины внедрения струн в древесину от удельного давления  $\delta = f(P)$  производилось при 50, 75, 100, 150, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1500 атм. и диаметрах струн на вылете из насадки, равных 0,96; 1,0; 1,2; 1,5 мм. Твердость древесины в направлении воздействия составляла 204 кг/см<sup>2</sup>, влажность 24,7%. Исследованиями установлено, что при давлениях до 100 атм. струя не оказывала разрушительного воздействия на древесину. Свойственный гидравлическому способу процесс измельчения ее достигается при 200 атм. Из этого следует, что критическое давление струн приближается к твердости древесины в направлении воздействия.

$$F_{кр} \approx H_T.$$

Дальнейшее увеличение давления обеспечивает рост глубины внедрения струн в древесину, а соответственно и производительность измельчения по параболической, близкой к прямолинейной зависимости рис. 2 без существенного изменения качества измельчения. Несколько параболический характер зависимости в исследованных пределах давлений можно объяснить тем, что с ростом его возрастают масса воздействующей воды. Поэтому интенсивность воздействия возрастает не только за счет возросшего удельного давления, но и за счет роста активной массы воды, производящей измельчение.

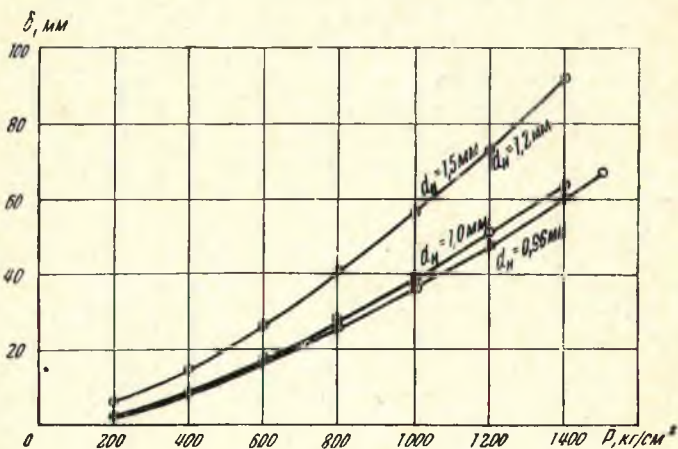


Рис. 2. Зависимость глубины внедрения струн в древесину от удельного давления в плоскости воздействия при  $h = 20,0$  мм;  $u = 4,8$  м/мин,  $d_n = 0,96; 1,0; 1,2$  и  $1,5$  мм.

Анализ экспериментальных данных зависимости  $\delta = f(P)$ , при указанных выше диаметрах насадок, а также данных, полученных дополнительно с другими диаметрами показывает, что для струй диаметром до 1,2 мм площадь поперечного сечения в определенной степени увеличивает глубину внедрения струи в древесину и соответственно производительность измельчения. Дальнейшее увеличение  $\omega_n$  не оказывает существенного влияния на производительность гидроструи.

Следовательно, по производительности измельчения струи диаметром близким к 1,2 мм являются оптимальными. Однако, эффективность определяется не только производительностью, но и энергоемкостью, которая в данных исследованиях может быть ориентировочно определена по расходу воды. Поэтому анализом был определен удельный расход воды на единицу измельченной древесины, которым также подтвердилось, что диаметры близкие к 1,2 мм обеспечивают измельчение древесины при наименьшем расходе воды, т. е. при наименьших затратах энергии.

Влияние расстояния от насадки плоскости воздействия на производительность измельчения выявлялось при давлениях в ресивере от 200 до 1000 ат. с градацией через 100 ат. и диаметрах насадок, равных 0,96; 1,2; 1,5 мм. Графическое построение зависимостей  $\delta = f(l)$  показывает, что на близком расстоянии достигается максимальная глубина внедрения струи в древесину —  $\delta_{max}$ . Это расстояние условно обозначено  $l_{\delta_{max}}$ . За пределами расстояния  $l_{\delta_{max}}$  происходит сначала резкое снижение глубины внедрения, а затем постепенный переход к почти прямолинейной зависимости. Это можно объяснить расширением струи с удалением от насадки и снижением из-за этого удельного давления на плоскости воздействия.

Увеличение начального диаметра струи обеспечивает сохранение максимальной производительности измельчения на более дальних расстояниях от насадки. С увеличением давления в ресивере это расстояние несколько уменьшается. Наблюдения за характером разрушения и степенью измельчения древесины показали, что на минимальных расстояниях от насадки измельчение древесины не происходит, а осуществляется ее резание. Увеличение расстояния свыше 5—6 см. обеспечивает подрезание древесины и скалывание подрезанных элементов с разделением на крупные частицы. При увеличении расстояния до 8—12 см соответственно для  $d_n = 0,96 \div 1,5$  мм обеспечивает разделение по волокнам на мелкие частицы.

Сравнение величин  $l_{R_{max}}$  и  $l_{\delta_{max}}$  показывает, что они зависят от диаметра струи и удельного давления в ресивере.

На основании такого подобия при построении обобщенной зависимости расстояние от насадки выражено в безразмерной величине  $\frac{l}{l_{Rmax}}$ , а безразмерная глубина внедрения принята в  $\frac{\delta}{\delta_{max}}$ . Из обобщенной зависимости рис. 3 видно, что на расстоянии  $l = 0,5 l_{Rmax}$  сохраняется максимальная производительность гидрострун. Увеличение расстояния от (0,5 ÷ 2,5)  $l_{Rmax}$  снижает производительность на 40% по сравнению с максимальной. При дальнейшем увеличении расстояния снижение величины  $\frac{\delta}{\delta_{max}}$  замедляется, но работа на таких расстояниях не представляет практического интереса. Следовательно, рабочим участком струн при измельчении древесины можно считать участок, равный

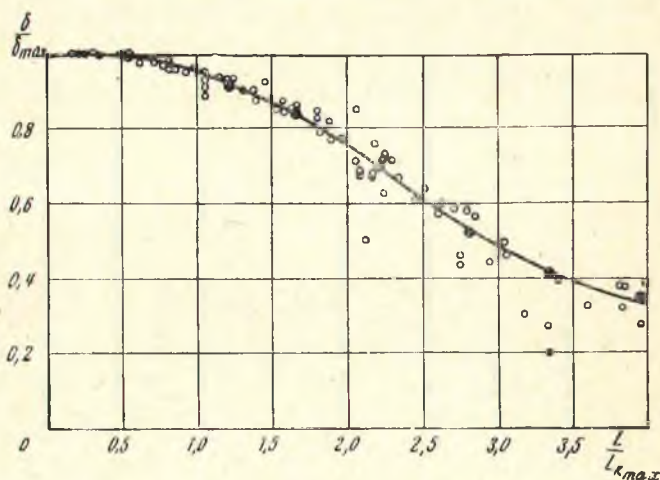


Рис. 3. Обобщенная зависимость  $\frac{\delta}{\delta_{max}} = f\left(\frac{l}{l_{Rmax}}\right)$  для  $d_n = 0,96; 1,2$  и  $1,5$  мм; при  $p = 200 \div 1000$  см;  $h = 20,0$  мм;  $u = 4,8$  м/мин.

$$l_p = (0,5 \div 2,5) l_{Rmax},$$

или выражая в начальном диаметре струн:

$$l_p = (80 \div 375) d_n.$$

Математической обработкой результатов опытов получена эмпирическая формула:

$$\delta_l = 1,1 \delta_{max} - l^* \cdot \delta_{max} (0,15 - 0,01 l^*),$$

где  $l^*$  — безразмерное расстояние от насадки —  $\frac{l}{l_{Rmax}}$ .

При гидравлическом способе резания различных материалов на эффективность процесса отрицательно сказывается влияние водяного барьера, образуемого деформированной струей на плоскости контакта ее с объектом воздействия. С целью снижения вредного влияния этого барьера проведены исследования по выявлению рационального количества воздействия по одной плоскости и определение оптимальных скоростей подачи.

При выявлении влияния рационального количества воздействия установлено, что максимальная глубина внедрения струи в древесину обеспечивается при однократном воздействии. Каждое последующее воздействие снижает производительность по сравнению с предыдущим, потому что остающаяся не срезанная стенка оказывает сопротивление струе, несколько изменяет ее направление и этим снижает ее работоспособность.

Скорость подачи является необходимым условием любого способа разрушения или резания материалов. При гидравлическом же способе измельчения древесины как и при разрушении других материалов относительное перемещение струи и древесины, кроме отмеченного, устраняют еще и вредное влияние водяного барьера на плоскости контакта. Определение оптимальных значений скорости подачи производилось при изменении ее от 1,95 до 45,91 м/мин. Эксперименты проводились при давлении воды в ресивере от 300 до 900 ат на древесине ели абсолютной влажности 27% с твердостью 180 кг/см<sup>2</sup>. Исследовались зависимости объема измельченной древесины за один рабочий ход плунжера —  $W_i$  при различной скорости подачи. Эти зависимости показывают, что с увеличением скорости подачи объем измельченной древесины за рабочий ход плунжера возрастает. Но при определенной скорости подачи, условно принятой нами  $U_{W_{max}}$ , производительность достигает максимума, после которой наблюдается резкий ее спад. Такой характер изменения зависимости  $W_i = f(u)$  можно объяснить тем, что сначала с увеличением скорости подачи происходит ослабление влияния водяного барьера и вместе с этим улучшение условий образования гидроклина, разрушающего древесину. При  $U_{W_{max}}$  достигаются условия, при которых образующийся на плоскости воздействия водяной барьер оказывает с одной стороны минимальное вредное влияние и с другой — обеспечивает наилучшие условия для образования гидроклина. Такие условия при измельчении древесины можно считать оптимальными. При скорости подачи свыше  $U_{W_{max}}$  вредное влияние водяного барьера сказывается еще меньше, но значительно ухудшаются условия образования гидроклина, снижающие производительность гидроструи. Анализ зависимостей  $W_i = f(u)$



показывает, что каждому удельному давлению соответствует определенная скорость подачи, при которой достигается максимальная производительность, причем с увеличением давления  $U_{W_{max}}$  возрастает.

С целью определения рабочих условий получена обобщенная зависимость в относительных величинах  $\frac{W_u}{W_{u_{max}}} = f\left(\frac{v}{u}\right)$ , где

$v$  — скорость струи в м/сек;

$u$  — скорость подачи в м/мин;

$W_{u_{max}}$  — максимальная производительность при  $P = \text{const}$ ;

$W_u$  — производительность струн, соответствующая скорости подачи  $U$ .

Из графика этой функции (рис. 4) следует, что максимальная производительность достигается при отношении  $\frac{v}{u} = 10$ . Рабочими можно считать такие условия, при которых отношение скорости струи к скорости подачи, выраженных в указанной размерности, равны:

$$\frac{v}{u} = 40 \div 10$$

Для выявления экономической целесообразности применения гидроструй для измельчения древесины проведены заключительные эксперименты по определению производительности измельчения в зависимости от давления воды в ресивере при оптимальном начальном диаметре струи и скорости подачи, обеспечивающей максимальную производительность.

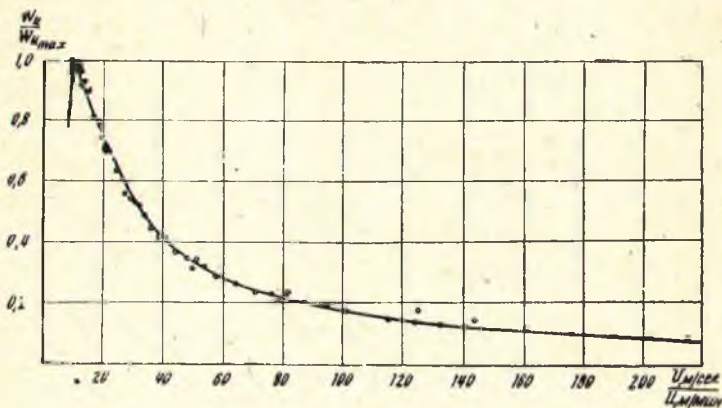


Рис. 4. Обобщенная зависимость  $\frac{W_u}{W_{u_{max}}} = f\left(\frac{v}{u}\right)$  для  $d_n = 0,96$  мм, при  $p = 300 \div 900$  ат,  $h = 20,0$  мм.

Из графика этой зависимости рис. 5 следует, что с увеличением удельного давления производительность возрастает по близкой к прямолинейной зависимости.

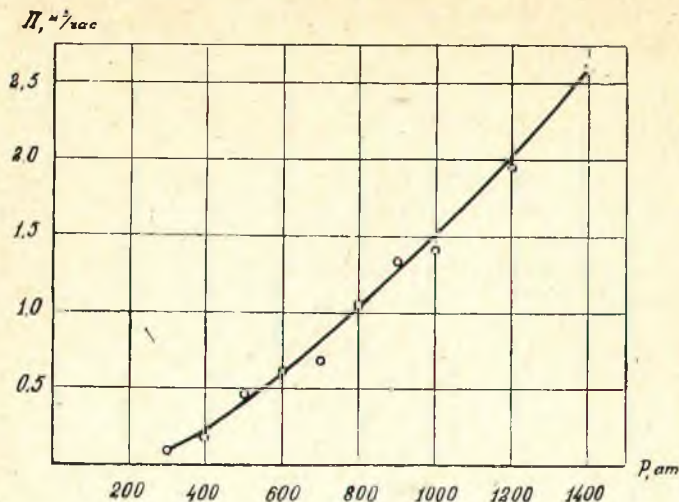


Рис. 5. Производительность измельчения древесины гидроструей при  $p = 300 \div 1400$  ат;  $h = 20,0$  мм; для  $d_n = 1,2$  мм.

Удельная энергоёмкость и удельный расход воды при данных условиях экспериментов приведен в следующей таблице.

	Удельное давление $P$ ат					
	400	600	800	1000	1200	1400
$E_{уд} \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$	61,4	30,6	26,9	28,4	26,9	25,2
$g_{уд} = \frac{\text{м}^3 \text{ воды}}{\text{м}^3 \text{ древес.}}$	5,53	1,83	1,21	1,023	0,808	0,648

Удельная энергоёмкость и удельный расход воды могут быть значительно снижены, прежде всего увеличением величины подачи до 3,0 см и более (в опытах эта величина принята  $h = 2,0$  см). Кроме того применение многоструйных машин снижает энергоёмкость при добыче угля на 40%, а применение импульсных струй снижает их еще на 30—40%.

Можно полагать, что эти и другие мероприятия позволят снизить  $E_{уд}$  и  $g_{уд}$  не менее чем в два раза.

Дополнительными исследованиями выявилась возможность практического использования измельченной гидравли-

ческим способом древесины, для чего она рассортировывалась по крупности на четыре фракции: крупная и мелкая щепа, дробленка и волокнистая масса.

Из первых двух фракций во Всесоюзном научно-исследовательском институте бумаги были произведены варки сульфатной и сульфитной целлюлозы с бисульфитом на магневом основании и испытаны ее физико-механические свойства. Для сравнения производились варки целлюлозы из щепы, полученной на рубильных машинах.

В результате выявлено, что эти фракции могут использоваться как технологическое сырье для варки целлюлозы, которая по качеству соответствует техническим условиям, а по некоторым показателям превосходит их.

Из дробленки и волокнистой массы были изготовлены плиты, физико-механические свойства которых также соответствуют техническим условиям, что подтверждает возможность их применения в промышленности.

## ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Измельчение древесины при помощи струй воды обеспечивает одноступенчатый процесс получения технологического сырья, которое без дополнительной переработки может использоваться в промышленности.

2. Наряду с измельчением от здоровой древесины отделяется кора, периферийная и внутренняя гнили.

3. Измельчение древесины струями—сложный комплексный процесс, зависящий от динамических качеств струи, физико-механических свойств древесины и взаимодействия струи с древесиной.

4. При изучении тонких струй высоких и сверхвысоких давлений установлено, что сила воздействия является функцией давления воды в ресивере, площади поперечного сечения струи и расстояния плоскости воздействия до насадки.

5. Расстояние от насадки до максимума силы воздействия — величина  $l_{R_{max}}$  может использоваться критерием подобия гидроструй при получении обобщенных зависимостей изучаемых величин от расстояния и зависит от начального диаметра струи, удельного давления в ресивере и др. факторов, определяющих качество струи.

6. Коэффициент расхода насадки  $\mu$  при высоких и сверхвысоких давлениях зависит от давления воды в ресивере и с его увеличением несколько снижается.

7. Однородный состав измельченной древесины достигается при направлении струи в торец или при переходных, близких к нему, направлениях.

8. При исследовании процесса измельчения древесины получены зависимости производительности гидроструи от направления ее к годичным кольцам, удельного давления, начального диаметра, расстояния от насадки плоскости воздействия на древесину, скорости подачи, количества воздействий струи по одной плоскости.

9. Наиболее рациональным является радиальное направление к годичным кольцам.

10. Критическое удельное давление, обеспечивающее измельчение древесины на технологическое сырье, приближается к твердости древесины в направлении воздействия.

11. Оптимальными диаметрами струй при измельчении древесины являются диаметры, близкие к 1,2 мм.

12. Максимальная производительность измельчения достигается на расстоянии от насадки, равном

$$l_{s_{max}} = 0,5 l_{R_{max}}.$$

13. Рабочим участком струи, обеспечивающим лучшее качество измельченной древесины, является:

$$l_p = (0,5 \div 2,5) l_{R_{max}},$$

или

$$l_p = (80 \div 375) d_n.$$

14. Рациональным по производительности является однократное воздействие струи на древесину, что может быть обеспечено применением многоструйных механизмов.

15. Скорость подачи, обеспечивающая максимальную производительность, зависит от скорости струи и соответствует их отношению  $\frac{v \text{ м/сек}}{u \text{ м/мин}} = 10$ ; рабочими пределами можно считать отношение  $\frac{v}{u} = (40 \div 10)$ .

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Ласица М. Д. Основы кинематики и динамики импульсных гидрокомпрессоров и импульсных водяных струй. Труды ЦНИИМЭ вып., 41, 1963.

2. Ласица М. Д. Применение струй дозвуковой и сверхзвуковой скорости для измельчения древесины. Труды ЦНИИМЭ вып. 57, 1964.

3. Ласица М. Д. Исследование гидравлических струй малых диаметров сверхвысоких давлений. Труды ЦНИИМЭ вып., 57, 1964.

4. Югов В. Г., Ласица М. Д. Прибор для измерения силы воздействия гидравлических струй на преграду. Гидравлическая добыча угля № 24 (2), 1965.

---

Подписано к печати 4/VI-65 г.

Бумага 60×92

Печ. л. 1,25

Л-105887

Тираж 150

Зак. 101

---

Типография ЦНИИМЭ