

ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ УДАЛЕНИЯ НЕЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЛЬНОВОЛОКНА ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ КАВИТАЦИИ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
просп. Октябрьский, 43 А, г. Николаев, 54018, Украина*

В настоящее время возродился интерес к разработке высокоэффективных процессов котонизации льноволокна. При этом повышенные требования выдвигаются к качеству получаемого продукта – товарного льноволокна. Сравнительно новый способ котонизации – электроразрядный, поэтому здесь еще много не решенных задач, одна из которых – кинетика удаления пектинов, лигнина, парафинистых и смолистых веществ из обрабатываемых электрическим разрядом волокон. Замечено, что удаление нецеллюлозных веществ из волокон может легко смениться процессом вторичного загрязнения капилляров волокон только что отделенными нецеллюлозными веществами под воздействием электроразрядной кавитации [1–3]. Кроме того, показатель уровня очистки льноволокна от нецеллюлозных веществ в определенных условиях может служить количественной характеристикой интенсивности электроразрядной кавитации. Удаление нецеллюлозных веществ из технического льноволокна – это и расщепление его на элементарные волокна.

Для изучения кинетики процессов технологической очистки и кондиционирования льноволокна в условиях комплексного воздействия подводного электрического взрыва для количественных оценок нами выбран интегрирующий массоэнергетический показатель m . Он вычислялся точным взвешиванием высушенных образцов волокна до и после обработки, установлением унесенной массы как разницы этих весов, отнесением ее к первоначальному весу образца, измерением суммарной энергии, затраченной при каждой такой операции и расчете количества отделенных от волокон нецеллюлозных веществ, приходящихся на единицу затраченной на это энергии. Таким образом, массоэнергетический показатель m имеет размерность мг/г·Дж. Показатель m очень удобен – с его помощью легко пересчитывать сугубо технологические показатели процессов обработки льноволокна и энергетические характеристики генераторов импульсных токов, используемых в технологическом оборудовании.

Кинетика удаления нецеллюлозных веществ из льноволокна в условиях электроразрядной обработки практически не исследована и имеет ряд особенностей по сравнению с другими видами подобной обработки.

Обработка образцов льноволокна производилась в реакторе с относительным объемом воды 1:3500. Для уменьшения числа факторов фиксировались число импульсов воздействия, частота посылок импульсов, энергия импульса (путем пересчета с измеренными рабочим напряжением U и емкостью накопителя C), вес образцов. Для каждого режима обработки устанавливалась оптимальная длина разрядного промежутка.

На рис. 1 приведены изменения m в результате обработки льноволокна подводными электрическими разрядами с энергией в импульсе $W_0 = 25$ Дж, причем при постоянной величине энергии в импульсе варьировалась емкость конденсатора $C = 0,10; 0,25; 0,40$ мкФ и соответственно устанавливалась различная величина зарядного рабочего напряжения $U_0 = 22,3; 14,1; 11,2$ кВ.

Анализируя полученные зависимости, отметим, что наибольших значений $m > 240 \cdot 10^{-4}$ мг/г·Дж достигает в интервале от 1 до 50 импульсов (см. рис. 1, а), но затем в каждом интервале, кратном 50 (то есть 100; 150; 200; 250 импульсов), происходит быстрое уменьшение массоэнергетического показателя для всех значений емкости конденсатора, причем до величины

$m < 80 \cdot 10^4$ мг/г·Дж. Это можно объяснить тем, что в начале процесса очистки льноволокна общая концентрация нецеллюлозных веществ высока и легко разрушается разрядом, их часть быстро подвергается деструкции и выносится в раствор.

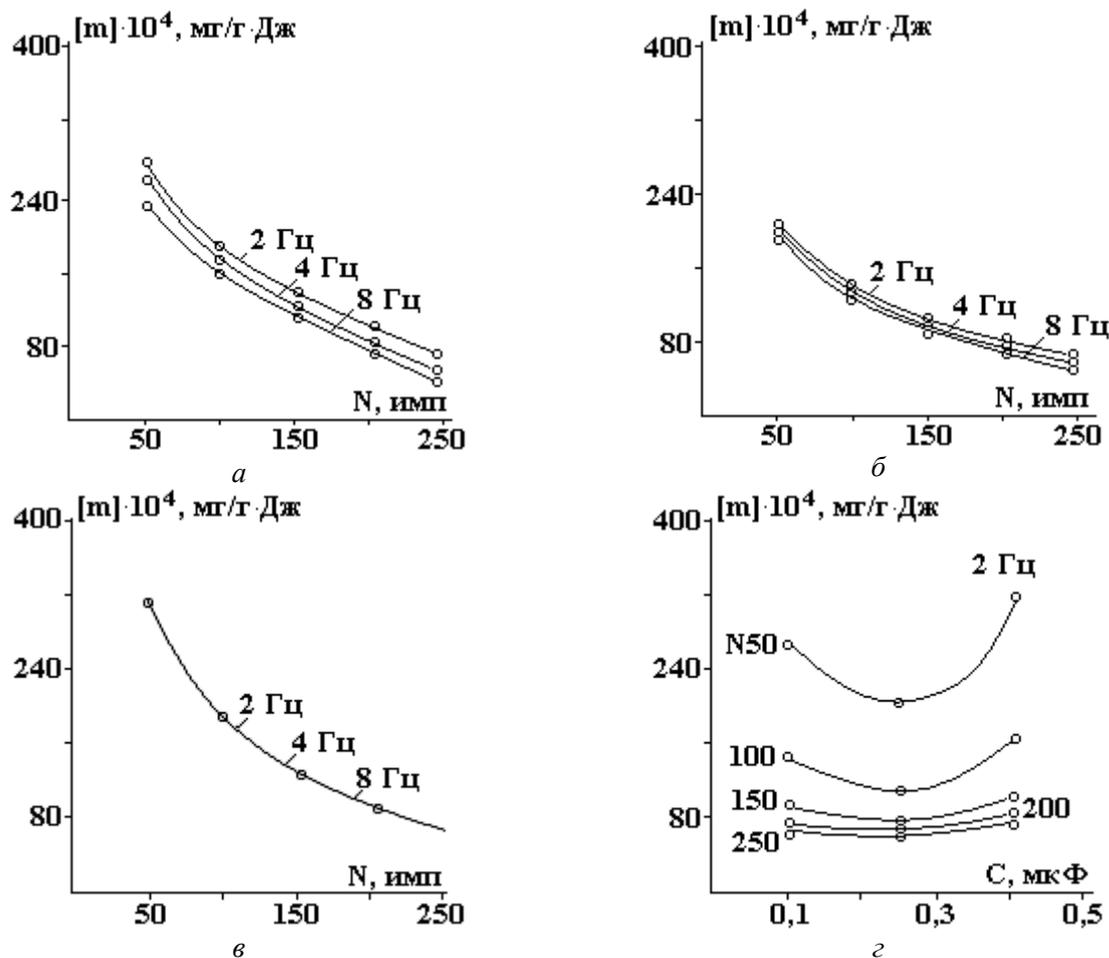


Рис. 1. Зависимость массоэнергетического показателя очистки льна от количества импульсов и частоты посылок импульсов при: $W_0 = 25$ Дж, а – $C = 0,1$ мкФ, $U_0 = 22,3$ кВ; б – $C = 0,25$ мкФ, $U_0 = 14,1$ кВ; в – $C = 0,4$ мкФ, $U_0 = 11,2$ кВ

Далее соотношение легко разрушаемых и трудно разрушаемых веществ смещается в сторону последних. Это замедляет в целом процесс очистки волокна от нецеллюлозных веществ-спутников. Однако главная часть инкрустов удаляется именно за первые десятки импульсов электроразрядного воздействия. Максимальное количество нецеллюлозных веществ ($m = 320$ мг/г·Дж) выносится из образцов волокна для $W_0 = 25$ Дж при емкости конденсатора $C = 0,4$ мкФ (см. рис. 1, в). Это вполне естественно, так как для такого режима характерно высокая интенсивность воздействия послеразрядной кавитации. При этом наблюдалась самая высокая скорость очистки волокна. Немаловажно, что для всех варьируемых частот посылок импульсов $f(m)$ имеет меньшее значение при $f = 8$ Гц, а большее – при частоте $f = 2$ Гц. Этот факт подтверждает, что в процессах электроразрядной очистки льноволокна велика роль самой поздней стадии электроразрядной нелинейной, объемной кавитации (ЭРНОК). В этой стадии ЭРНОК переходит в квазистационарный режим и развивается послеразрядная пульсация кавитационных пузырьков. Кроме того, следует отметить малую чувствительность такого режима к изменению частоты посылок импульсов, а влияние емкости носит выраженный экстремальный характер для частоты посылок импульсов 2 Гц (см. рис. 1, г).

По мере увеличения энергии в импульсе (25→50→100 Дж) эффективность ее использования быстро снижается, и значения m уменьшаются. Наибольшая достигнутая в данных экспериментах скорость удаления нецеллюлозных веществ составила 12,8 мг/г·Дж·с для $W_0 = 25$ Дж и $C = 0,4$ мкФ, в других исследованных режимах скорость удаления значительно ниже.

Приведенные результаты исследований кинетики удаления нецеллюлозных веществ из льноволокна получены для полностью высушенных перед загрузкой в реактор образцов волокон, что не является обычным в практике обработки льноволокна.

В прикладном плане особенно интересны результаты исследований кинетики удаления нецеллюлозных веществ из льноволокна после предварительной замочки.

На рис. 2 приведены результаты исследований кинетики очистки льноволокна в различных диапазонах последовательностей воздействующих импульсов при предварительной замочки: 0; 1; 4; 24 часа.

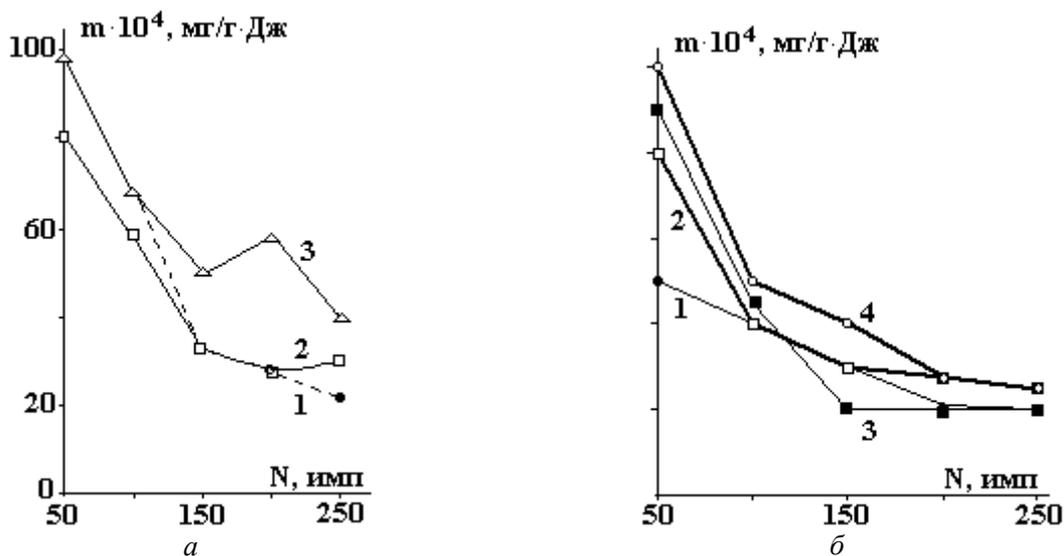


Рис. 2. Кинетика удаления разрядом. $W = 50$ Дж; а – $C = 0,25$ мкФ; $f = 2$ Гц; б – $C = 0,25$ мкФ; $f = 8$ Гц нецеллюлозных веществ из льноволокна для различной продолжительности предварительного замачивания

Из них следует, что фактор замачивания сильно влияет на кинетику очистки льноволокна, во-первых, усиливая процесс электроразрядного удаления нецеллюлозных веществ, во-вторых, увеличивая глубину очистки. Кроме того, в массиве волокон идут параллельно и одновременно два процесса: извлечение из волокон нецеллюлозных веществ и возвращение их в уже очищенные волокна. В интервале последовательностей от 50 до 100 импульсов для всех диапазонов скорость удаления наибольшая, поскольку здесь основной процесс – очистка. В интервале последовательностей от 100 до 150 импульсов практически для всех диапазонов происходит общее замедление удаления спутников целлюлозы, поскольку усиливаются процессы вторичного загрязнения. В интервале от 150 до 200 импульсов процессы очистки усиливаются и превалируют над процессами вторичного загрязнения, достигая максимума на высоком краю интервала. В интервале последовательностей от 200 до 250 импульсов и далее вновь резко усиливаются процессы вторичного загрязнения, m принимает минимальное значение и так далее. Следовательно, процесс электроразрядного извлечения нецеллюлозных веществ из льноволокна имеет волнообразный характер и целесообразнее строить экономный технологический процесс электроразрядной очистки волокна в первой стадии волны.

Все это показано в кинетике уноса инкрустирующих веществ из льноволокна, которые предварительно замачивались в течение различного времени, для каждого количества импульсов выбранных последовательностей с параметрами разрядного контура $W_0 = 50$ Дж, $C = 0,25$ мкФ, $U_0 = 20$ кВ.

Хорошо видно, что кинетика различна для частот посылок импульсов 2 (рис. 2,а) и 8 Гц (рис. 2,б). В первой последовательности (50 импульсов) самый высокий унос нецеллюлозных веществ в первом и во втором случаях, причем для частот посылок импульсов 8 Гц выше примерно на 50%, однако ко второй и третьей последовательностям (100 и 150 импульсов) этот унос и для 2 и 8 Гц практически одинаков. В четвертой и пятой последовательностях (200 и 250 импульсов) унос инкрустов при обработке разрядами с частотой посылок импульсов 2 Гц уже превышает аналогичный показатель обработки с частотой посылок импульсов 8 Гц. Даже поставленный на электроразрядную обработку сухой образец, отставая в первой и второй сериях по m , превзошел образец с четырехчасовым замачиванием по комплексному показателю.

На рис. 3 представлены результаты исследований скорости изменения m от частоты следования импульсов для волокна, которое помещалось в реактор сухим, то есть без предварительного за-

мачивания. Выбрана энергия в импульсе $W_0 = 50$ Дж. Самая высокая скорость наблюдалась при частоте посылок импульсов 2 Гц, что можно объяснить сравнительно высокой инерционностью массообменных процессов в капиллярных системах льноволокна, снижающей эффективность очищающего воздействия с частотой следования импульсов более 2 Гц.

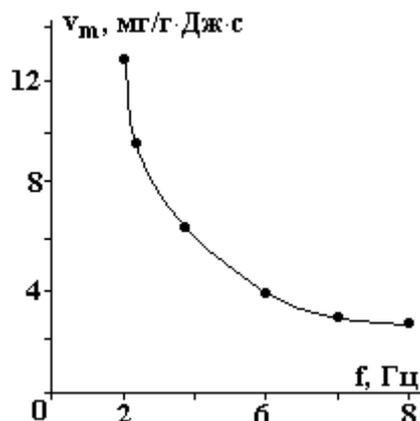


Рис. 3. Зависимость скорости удаления нецеллюлозных веществ из начально-сухого волокна от частоты посылок импульсов

На рис. 4 приведены данные по кинетике набухаемости H_m очищенных ранее электроразрядным способом с частотой посылок импульсов 8 Гц, предварительно замоченных образцов льноволокна. Эти образцы после очистки перед взвешиванием подвергались полному высушиванию, но затем хранились в обычных условиях и набирали влагу из воздуха, то есть поступали для исследования набухаемости несколько увлажненными. На рис. 5 – то же самое, но с частотой посылок импульсов 2 Гц. Максимум набухаемости достигается на образцах, которые были предварительно замочены на 4 часа. В целом набухаемость льноволокна весьма высока, быстро происходит увеличение поперечных размеров на величину от 1,2 до 1,6 раза при комнатной температуре. В подтверждение ранее сделанным наблюдениям образцы, полученные при частоте 2 Гц, отличаются большей набухаемостью, чем обработанные с частотой посылок импульсов 8 Гц. То есть в первом случае наблюдается более полное удаление инкрустов. Столь высокая набухаемость льноволокна, обработанного электроразрядом, позволяет сделать предположение, что оно должно хорошо окрашиваться.

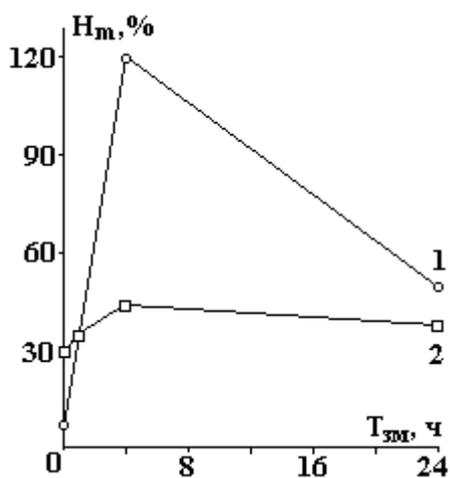


Рис. 4. Изменение набухаемости льноволокна, очищенного при частоте посылок импульсов $f = 8$ Гц после различного по времени предварительного (до очистки) замачивания. 1 – 50 импульсов; 2 – 250 импульсов

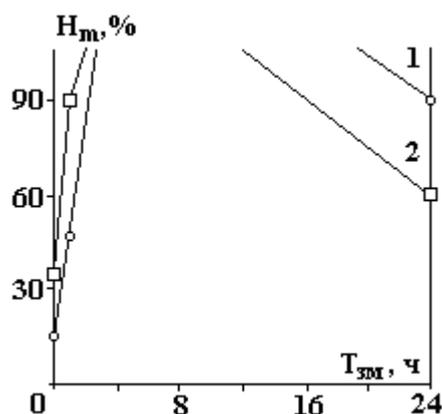


Рис. 5. Изменение набухаемости льноволокна, очищенного при частоте посылок импульсов $f = 2$ Гц после различного по времени предварительного (до очистки) замачивания. 1 – 50 импульсов; 2 – 250 импульсов

Рис. 6 наглядно иллюстрирует вторичную насыщенность льноволокна нецеллюлозными веществами, тормозящими дальнейшую набухаемость волокна в диапазоне 200 и 250 воздействующих импульсов.

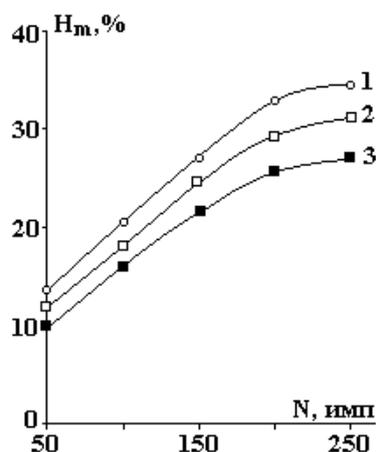


Рис. 6. Набухаемость сухого льноволокна, обработанного различными сериями импульсов с частотой посылок $f=2$ Гц; 1 – 100, 2 – 50, 3 – 25 Дж

Важно отметить что, если исходное перед обработкой состояние волокна льна сухое, то эффективность удаления нецеллюлозных веществ выше при частоте посылок импульсов сравнительно невысокой – до 2 Гц, что связано с процессом как бы замачивания волокна (быстрого под действием тех же разрядов), но при сравнительно высокой частоте посылок импульсов – 8 Гц – такое квазимачивание произойти не успеваает.

Для дополнительной оценки полноты удаления нецеллюлозных веществ из волокон льна и демонстрации обратного процесса, то есть «загрязнения», производилось окрашивание образцов грубой льняной ткани (мешковина), предварительно отбеленных по разрядно-импульсной технологии (исходный цвет – желтоватый), а для сравнения – окрашенных по неотбеленным образцам из той же ткани (исходный цвет – серый).

Их цветовые координаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные цветовые координаты образцов льняной ткани

Цветовая координата	Неотбеленного образца	Отбеленного разрядом образца
Оттенок	53	54
Насыщение	44	80
Яркость	219	219
Основные цвета		
красный	222	224
зеленый	225	230
синий	213	208

В качестве красителя использовался ярко-оранжевый активный – ярко-оранжевый КХ.

Окрашивание производилось при нормальной температуре $T_T = 23^\circ\text{C}$ с применением (время обработки – 2 мин) и без электрических разрядов (время окрашивания 2 и 60 мин). Энергия в импульсе при окрашивании $W_0 = 1,125$ Дж. После окрашивания проводилась быстрая промывка проточной водой в течение 2 мин.

Оценка окрашиваемости производилась по цветовым координатам: «оттенок», «насыщение», «яркость» и основным цветам «красный», «зеленый», «синий» в относительных единицах от 0 до 255 (от черного до белого).

Результаты оценки приведены в табл. 2 и 3.

Для полноты оценки следует сравнить данные табл. 2 с подобными данными окрашивания неотбеленных разрядом образцов льняной ткани, сохранившими весь остаток нецеллюлозных веществ в каналах и порах волокон и нитей.

Из результатов оценки окрашивания видно, что цветовые координаты в значительной степени зависят от исходного состояния образца (отбеленный – неотбеленный) по количеству оставшихся в волокне нецеллюлозных веществ. Но самое значительное – это удивительно высокая скорость окрашивания образцов ткани под воздействием разрядов в холодной воде, подтверждающее резкое усиление диффузионных и капиллярных процессов в волокнах и нитях. Именно эти процессы являются определяющими для кинетики удаления (замещения) нецеллюлозных веществ в льняных волокнах.

Таблица 2. Окрашивание отбеленных разрядом образцов ткани

Цветовые координаты	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Оттенок	22	22	16
Насыщение	231	233	234
Яркость	213	175	194
Основные цвета			
красный	251	248	250
зеленый	215	178	181
синий	175	102	138

Здесь и в табл. 3 образец № 1 – окраска 2 мин без разрядной интенсификации; № 2 – окраска 2 мин с разрядной интенсификацией; № 3 – окраска 60 мин без разрядной интенсификации

Таблица 3. Окрашивание неотбеленных разрядом образцов ткани

Цветовые координаты	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Оттенок	23	23	9
Насыщение	209	209	210
Яркость	188	200	181
Основные цвета			
красный	243	245	242
зеленый	193	204	146
синий	133	155	120

В целом анализ кинетики очистки льноволокна позволяет утверждать, что промышленная обработка льноволокна с целью удаления нецеллюлозных веществ должна производиться при невысоких уровнях энергии в импульсе (от 25 до 30 Дж), сравнительно высокой частоте (8 Гц) посылок импульсов, если принята технология предварительного замачивания волокна, но при сравнительно низкой частоте (2 Гц), если принята технология обработки волокна без предварительного замачивания. Должна применяться многоэлектродная разрядная система. Желательно использовать предварительно короткое (от 1 до 4 часов) замачивание льноволокна и вести обработку в назначаемом интервале последовательностей импульсов от нескольких десятков до 100 импульсов. Это весьма приемлемо для обработки волокна, погружаемого под тонким слоем воды на движущейся сетчатой конвейерной ленте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ющишина А.Н., А.А. Смалько. Йодометрическое определение электроразрядной объемной кавитации // Электронная обработка материалов. 2002. № 3. С. 41–44.
2. Смалько А.А. Малюшевская А.П., Тихоненко С.М. О факторах, влияющих на электроразрядную кавитацию // Там же. 2003. № 4. С. 41–47.
3. Малюшевская А.П., Малюшевский П.П., Левда В.И. Электровзрывная нелинейная объемная кавитация в технологических реакторах. Часть 1 (Электроразрядное генерирование газовой фазы – зародышей кавитации) // Там же. 2004. № 1. С. 46–53.

Поступила 06.04.04

Summary

The article is dedicated to researches of electrodigit processing of lienen fibre with the purpose of deleting from it noncellulose matters (pectins, lignin, paraffinaceous and resins). The special attention is given to features of a kinetics of noncellulose matters' deleting from lienen fibre. The explanation to is obtained that the process of deleting of noncellulose matters of fibres can easily be replaced by process of secondary pollution of capillary tubes of fibres just unbound by noncellulose matters. With the purpose of analysis of a kinetics of processes of technological clearing and conditioning of lienen fibre in conditions of integrated effect of underwater electrical explosion, for quantitative assessments the integrating mass-power parameter [m] was selected. The analysis of a kinetics of deleting of noncellulose matters from lienen fibre has allowed to justify optimum regimes electrodigit lienen fibre's cottonization.