

УДК 631.623; 631.626.1

**А.Н. Басаревский,  
К.А. Кравченин**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

## **АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РОТАЦИОННЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ В МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛАХ**

### **Введение**

Почвенно-климатические условия Республики Беларусь не позволяют на территории площадью около 8,99 млн га вести интенсивное земледелие из-за переувлажнения. Поэтому мелиоративные системы являются значимой составляющей агропромышленного комплекса страны, а поддержание их работоспособности – жизненно важной необходимостью [1].

В 15 районах республики, особенно в Полесском, осушенные земли составляют 50 процентов сельскохозяйственных угодий и являются основным средством производства для этих хозяйств [2].

Для обеспечения проектных норм осушения сельскохозяйственных земель используется сложный комплекс гидротехнических и других сооружений. В его составе 170 тыс. км каналов и водоприемников, 3,3 тыс. мостов, 2,2 тыс. шлюзов-регуляторов, 24,4 тыс. труб-регуляторов, 52,4 тыс. труб-переездов, 480 насосных станций, 17,8 тыс. эксплуатационных дорог, 1074 пруда и водохранилища, 4770 защитных и ограждающих дамб.

Из-за несвоевременного проведения ремонтно-эксплуатационных работ, по данным инвентаризации на 1 января 2005 г., 38,3 тыс. км каналов было закустарено (22 %), 41 тыс. км заилено (24 %).

В результате принятых мер их состояние значительно улучшилось, и уже по данным инвентаризации мелиоративных систем на 1 января 2014 г., только 11,3 тыс. километров каналов заросли древесно-кустарниковой растительностью, 16,9 тыс. километров каналов заилено.

Несмотря на принимаемые меры, имеются сложности в выполнении Государственной программы сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 годы. Так, с течением времени сложность и капиталоемкость работ по реконструкции объектов мелиорации возрастает. В связи с чем особую актуальность приобретают разработка и освоение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий выполнения эксплуатационных и профилактических работ для обеспечения максимального срока службы мелиоративных каналов.

Для очистки или окашивания каналов, различных по размерам, назначению, грунтовым условиям, типу и количеству наносов, степени деформации дна и откосов, роду и густоте растительности, применяются машины с рабочими органами различных типов.

В настоящее время восстановление работоспособности каналов производится главным образом путем их очистки одноковшовыми экскаваторами с различными ковшами или специализированными машинами-каналоочистителями с рабочими органами циклического или непрерывного действия. Одноковшовые каналоочистители позволяют очищать каналы, засоренные камнями, древесиной, и проводить ремонт, а также очистку каналов, у которых бермы обсажены деревьями и непроходимы для каналоочистителей непрерывного действия. Однако ковшовые каналоочистители часто нарушают дно и откосы канала, имеют низкие производительность и качество работ, неспособны очищать каналы малых размеров и, как правило, требуют проведения дополнительных работ.

В аграрно развитых странах для очистки мелиоративных каналов все чаще прибегают к машинам с ротационными рабочими органами. Востребованность подобной техники вызвана высокими надежностью и производительностью. При работе подобные устройства не разрушают поперечный профиль канала, аккуратно очищают дно канала от наносов и сорной растительности. Однако недостаток подобной техники заключается в том, что она не предназначена для удаления древесно-кустарниковой растительности, а встреча с крупными камнями, плотно зарытыми в русле мелиоративного канала, может привести к ее поломке.

Появление древесно-кустарниковой растительности в русле и на откосах мелиоративного канала может быть обусловлено различными факторами: от некачественной очистки до последствий ураганного ветра. Древесные остатки, достаточно долго находящиеся в канале, постепенно заиляются, обрастают корнями сорной растительности, основательно закрепляются в нем. По данным исследований В.Н. Титова и К.А. Гуцановича [3, 4, 5], наиболее часто в каналах мелиоративных систем встречаются такие породы древесно-кустарниковой растительности, как береза, осина, ольха, тополь, ива, которые чаще всего закрепляются на откосах самосевом и растут достаточно быстро.

Древесно-кустарниковая растительность обычно располагается выше уреза воды. При благоприятных погодных-климатических условиях зарастание мелиоративного объекта древесно-кустарниковой растительностью происходит в течение 3...5 лет. К кустарникам относится древесная растительность всех пород с диаметром стволов до 2 см и более. По технологическим свойствам различают одноствольные (береза, ива, осина, сосна, ель, ольха, дуб) и гнездовые (ива порослевая, ольха порослевая, орешник, черемуха) кустарники. На мелиоративных каналах чаще всего встречаются заросли кустарниковой поросли с наибольшим диаметром стволов до 3–4 см. При этом зарастание может быть сплошным или в виде отдельных кустов или куртин.

Древесные остатки значительно сложнее удалить из канала, чем наносы и сорную растительность. Как и камни, древесные остатки представ-

ляют серьезную угрозу поломки для каналоочистителей с ротационным рабочим органом. Поэтому физические опыты по проверке работоспособности таких рабочих органов в запущенных каналах до сих пор не проводились. Однако, благодаря вычислительным возможностям компьютерной техники, подобные опыты можно смоделировать в среде специализированных программных комплексов. Они позволяют провести практически любой опыт, минимизировав издержки на его реализацию и риск проведения потенциально опасных экспериментов. Получение таких данных позволит уточнить методики разработки (проектирования) ротационных рабочих органов и вопросы ухода за мелиоративными каналами.

Цель работы – на основании 3 моделируемых компьютерных экспериментов установить, какое влияние оказывают физико-механические свойства различных пород убираемой древесно-кустарниковой растительности, а также конструктивные и технологические параметры ротационного рабочего органа на возможность ее удаления каналоочистителем из мелиоративного канала.

### Объекты и методы исследований

Ротационные рабочие органы каналоочистителей, как правило, состоят из следующих элементов (рисунок 1): ножей 1, отбрасывающих лопаток 2, кронштейна 3, фронтального ножа 4, кожуха 5, гидросистемы и башмака.

Прототипом рабочего органа для создания 3-мерной модели был принят ротационный рабочий орган опытного образца каналоочистителя КОРО-2. Моделирование процесса удаления растительности проводилось в среде программного комплекса *ANSYS*. 3-мерная модель ротационного рабочего органа горизонтального типа создавалась на базе программы *ProEngineer*.

Ниже приведем результаты 3 экспериментов, смоделированных на компьютере. В первом из них рассматривалась степень влияния физико-механических свойств, таких как плотность и модуль упругости Юнга, различных пород древесины на максимальный диаметр веток, которые способен удалить ротационный рабочий орган с заданными па-

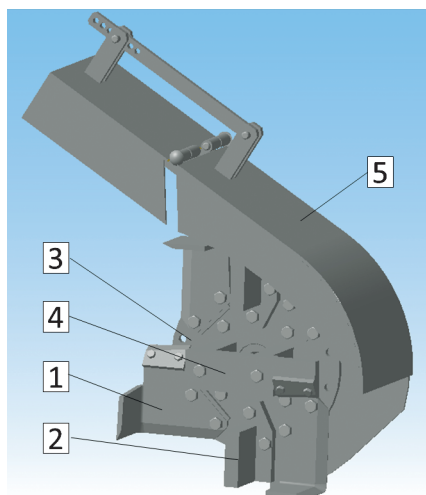


Рисунок 1. – 3-мерная модель ротационного рабочего органа горизонтального типа

раметрами. При этом частота вращения рабочего органа составляла  $900 \text{ мин}^{-1}$ . Коэффициент Пуассона поперек волокон для всех веток, участвующих в опыте, был принят равным 0,02 [4].

Второй опыт посвящен определению воздействия изменения частоты вращения ротационного рабочего органа на максимальный диаметр веток (древесных остатков), которые способен удалить ротационный рабочий орган.

Конструктивные параметры ротационного рабочего органа остались прежними и для второго опыта. Диаметр ротационного рабочего органа по периферии режущей кромки ножей составляет 600 мм, а смоделированная ветка длиной 300 мм расположена на расстоянии 380 мм от основания до центра вращения рабочего органа.

Третий опыт устанавливает зависимость смещения режущей кромки ножей ротационного рабочего органа, угла отклонения основания режущей кромки ножа от касательной (влияет на угол входа лезвия в породу, а также на концентрацию усилия резания) и максимального диаметра веток, которые способен удалить ротационный рабочий орган. Угол отклонения основания режущей кромки ножа от касательной равен  $33^{\circ}29'$  при смещении режущей кромки ножа относительно осевых линий ротационного рабочего органа на 165,5 мм;  $20^{\circ}54'$  и  $9^{\circ}24'$  – при смещении на 107 и 49 мм соответственно (рисунок 2). При этом удар ножом о ветку происходит на расстоянии от 84 до 130 мм от земли. Частота вращения ротационного рабочего органа составляет  $900 \text{ мин}^{-1}$  в обоих случаях. Остальные параметры эксперимента соответствуют предыдущим 2 опытам.

При создании трехмерной модели, предназначенной для анализа процесса очистки мелиоративного канала от древесных остатков каналочистителем с ротационным рабочим органом горизонтального типа, учитывались физи-

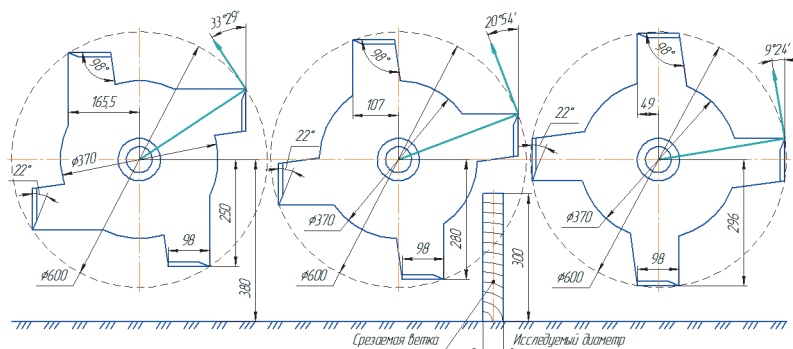


Рисунок 2. – Схема моделируемого опыта

ческие свойства различных пород древесины, наиболее часто встречающихся вдоль мелиоративных каналов (необходимые для трехмерного моделирования физические свойства материалов приведены далее, в таблице 1 [5]).

### Результаты исследований

При проведении подобных опытов приходится идти на некоторые допущения и упрощения. В опытах использовалась минималистичная модель ротационного рабочего органа и срезаемых древесных остатков, в которой нож представляет собой единое целое с кронштейном и ротором, а ветка представлена в виде длинного цилиндрического прута, жестко закрепленного в основании. Это было необходимо для сокращения количества и общего упрощения исходных элементов модели, влияющих на скорость вычислений.

Принимая во внимание все допущения и упрощения, получены следующие результаты, представленные в таблице 1 (столбец, где частота вращения ротационного рабочего органа равна  $900 \text{ мин}^{-1}$ ) и изображенные на рисунке 3. Рассмотрим полученные результаты первого эксперимента на примере одной из пород древесины. Ветки березы плотностью  $640 \text{ кг/м}^3$  и при модуле Юнга  $14,2 \text{ ГПа}$  срезаются ротационным рабочим органом каналоочистителя до предельного диаметра ветки в  $42,1 \text{ мм}$ . При значениях диаметра свыше предельных среза не происходит.

Наиболее легко срезаемыми ветками из представленных в опыте являются ивовые (тах.  $\varnothing 50,8 \text{ мм}$ ), а наиболее тяжело срезаемыми – ветки дуба (тах.  $\varnothing 42 \text{ мм}$ ) и березы (тах.  $\varnothing 42,1 \text{ мм}$ ). Опыты показывают, что разница в плотности древесины не оказывает значительного влияния на срезание ветки. Рост плотности срезаемой ветки на  $100 \text{ кг/м}^3$  всего

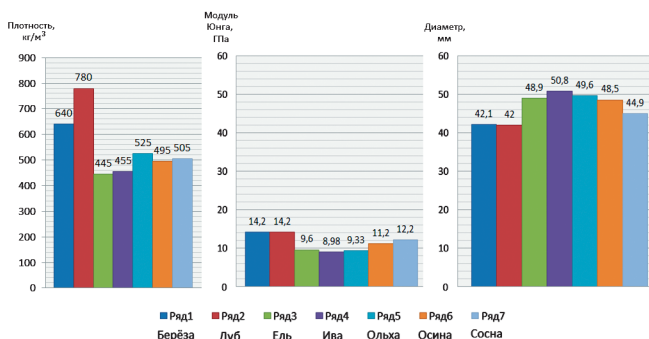


Рисунок 3. – Влияние плотности и модуля Юнга различных пород древесины на максимально срезаемый диаметр ветки

на 0,21 % уменьшает максимально срезаемый предельный диаметр древесных остатков. При уменьшении модуля Юнга ветка становится более гибкой и пластичной, тем самым увеличивается максимальный диаметр среза. Так, уменьшение модуля Юнга на 1 *ГПа* увеличивает максимально срезаемый диаметр веток на 3,83 %, что в среднем для проанализированных пород древесины составляет 1,86 *мм*.

Во втором эксперименте проводилось моделирование процесса удаления древесных остатков при различных частотах вращения ротационного рабочего органа (таблица 1). Так, ветки ивы плотностью 455 *кг/м<sup>3</sup>* и при модуле Юнга 8,98 *ГПа* при частоте вращения 700 *мин<sup>-1</sup>* срезаются ротационным рабочим органом каналочистителя до предельного диаметра ствола ветки в 48,6 *мм*, при 900 *мин<sup>-1</sup>* срезаются ветки до 50,8 *мм* и при 1100 *мин<sup>-1</sup>* – ветки до 53,6 *мм*. Анализ полученных данных позволяет заключить, что рост частоты вращения ротационного рабочего органа на 100 *мин<sup>-1</sup>* в среднем на 2,65 % увеличивает максимально срезаемый диаметр веток древесных остатков, что для рассмотренных пород древесины составляет 1,24 *мм*.

Результаты третьего эксперимента приведены в таблице 2. По данным предшествующих опытов было известно, что ветка березы при смещении режущей кромки ножа на 165,5 *мм* от осевой линии ротационного рабочего органа срезается при значениях ее диаметра до 42,1 *мм*, свыше которого среза не происходит. Судя по полученным в ходе моделируемого эксперимента данным, та же ветка березы при смещении режущей

Таблица 1. – Влияние частоты вращения ротационного рабочего органа на максимально срезаемый диаметр веток различных пород древесины

Порода древесины	Плотность, <i>кг/м<sup>3</sup></i>	Модуль Юнга, <i>ГПа</i>	Частота вращ. ротац. раб. орг., <i>мин<sup>-1</sup></i>		
			700	900	1100
Береза	640	14,2	41,8	42,1	42,5
Дуб	780	14,2	41,4	42	42,7
Ель	445	9,6	44,8	48,9	53,3
Ива	455	8,98	48,6	50,8	53,6
Ольха	525	9,33	45,9	49,6	53,4
Осина	495	11,2	45,2	48,5	52,9
Сосна	505	12,2	42,1	44,9	45,9
Средн. знач.	549,3	11,4	44,3	46,7	49,2
Мах.-min.	335	5,22	7,2	8,8	11,1
Отклон. средн. знач. в %			94,79	100	105,35
Мах.-min. от средн. знач. в %			5,26		5,34

Таблица 2. – Влияние смещения режущей кромки ножей ротационного рабочего органа на максимально срезаемый диаметр веток различных пород древесины

Порода древесины	Плотность, $кг/м^3$	Модуль Юнга, $ГПа$	Макс. диаметр среза, $мм$ , при $900 \text{ мин}^{-1}$		
			Отклон. реж. кромки на $165,5 \text{ мм}$	Отклон. реж. кромки на $107 \text{ мм}$	Отклон. реж. кромки на $49 \text{ мм}$
Береза	640	14,2	42,1	43,3	45,4
Дуб	780	14,2	42	43,17	45,26
Ель	445	9,6	48,9	50,4	51,3
Ива	455	8,98	50,8	51,7	52,6
Ольха	525	9,33	49,6	50,9	51,8
Осина	495	11,2	48,5	48,9	49,9
Сосна	505	12,2	44,9	45,8	46,7
Средн.знач.	549,3	11,4	46,7	47,6	48,9
			100 %	102,4 %	104,7 %

кромки ножа уже на  $107 \text{ мм}$  от осевой линии может быть срезана до предельного значения диаметра ствола в  $43,3 \text{ мм}$ , а при смещении режущей кромки ножа на  $49 \text{ мм}$  – до диаметра в  $45,4 \text{ мм}$ . Так, смещение режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа каналаочистителя на  $100 \text{ мм}$  увеличивает максимально срезаемый диаметр ветки на  $4,03 \%$ , что в среднем для проанализированных пород древесины составляет  $1,92 \text{ мм}$  диаметра.

Таким образом, можно заключить, что наибольшее влияние на максимально срезаемый диаметр веток различных пород древесины оказывает смещение режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа ( $4,03 \%$  на  $100 \text{ мм}$ ), на втором месте – модуль упругости Юнга ветки ( $3,83 \%$  на  $1 \text{ ГПа}$ ), затем – частота вращения ротационного рабочего органа ( $2,65 \%$  на  $100 \text{ мин}^{-1}$ ) и плотность ветки ( $0,21 \%$  на  $100 \text{ кг/м}^3$ ).

Учитывая возможность поломки ротационного рабочего органа в процессе удаления древесных остатков в виде веток различных пород древесины с диаметрами, превышающими предельно допустимые (см. табл. 1 и 2), целесообразным будет их предварительное удаление из каналов.

### Заключение

1. Наиболее важными параметрами, влияющими на срез древесных остатков, встречающихся в русле мелиоративных каналов, являются: диаметр поперечного сечения ветки, коэффициент Пуассона вдоль волокон и модуль упругости Юнга, а также частота вращения ротора и

смещение режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа.

2. Для ротационного рабочего органа диаметром 600 мм, ось вращения которого расположена на расстоянии 380 мм от земли, вращающегося с частотой 900 мин<sup>-1</sup>, срезающего ветки длиной до 300 мм, рост плотности срезаемой ветки на 100 кг/м<sup>3</sup> всего на 0,21 % уменьшает максимально срезаемый диаметр древесных остатков. В то же время уменьшение модуля Юнга на 1 ГПа увеличивает максимально срезаемый диаметр веток на 3,83 %, что в среднем для проанализированных пород древесины составляет 1,86 мм.

Рост частоты окружного вращения ротационного рабочего органа на 100 мин<sup>-1</sup> увеличивает максимально срезаемый диаметр веток древесных остатков в среднем на 2,65 %, что для проанализированных пород древесины составляет 1,24 мм.

Увеличение смещения режущей кромки ножа относительно осевой линии ротационного рабочего органа на 100 мм увеличивает максимально срезаемый диаметр веток древесных остатков в среднем на 4,03 %, что для проанализированных пород древесины составляет 1,92 мм.

5. Опыты показали, что древесные остатки в виде веток различных пород древесины диаметром свыше предельно срезаемых необходимо удалять из каналов для обеспечения работоспособности ротационного рабочего органа и соблюдения требований техники безопасности.

31.08.2015

### Литература

1. Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 августа 2010 г. № 1262) / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Минск, 2007–2015. – Режим доступа: <http://mshp.minsk.by/programms/e865922d37ea479c.html>. – Дата доступа: 10.06.2015.
2. Мелиорация земель как фактор интенсификации сельского хозяйства Республики Беларусь // Дом печати [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://dompressy.by/press-centre/pres-relisy/melioratsija-zemel-kak-faktor-intensifikatsii-selskogo-xozjajstva-respubliki-belarus\\_i\\_336.html](http://dompressy.by/press-centre/pres-relisy/melioratsija-zemel-kak-faktor-intensifikatsii-selskogo-xozjajstva-respubliki-belarus_i_336.html). – Дата доступа 15.08.2015 .
3. Моисеев, В.С. Таксация молодняков / В.С. Моисеев. – Л.: Леспроект, 1971. – 342 с.
4. Мажугин, Е.И. Мелиоративные машины. Основы теории и расчета: учеб. пособие / Е.И. Мажугин. – Горки: БГСХА, 2007. – 161 с.
5. Перелыгин, Л.М. Древесиноведение / Л.М. Перелыгин, Б.Н. Уголев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 286 с.