

УДК 631.623; 631.626.1

Моделирование процесса очистки мелиоративного канала ротационным рабочим органом горизонтального типа

А.Н. Басаревский, К.А. Кравченин

РУП "НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства"
(г. Минск, Беларусь), belagromech@tut.by

В статье описаны результаты моделирования процесса удаления древесных остатков из мелиоративных каналов. Определены максимально допустимые диаметры веток различных пород древесины, встречающихся в мелиоративных каналах, которые могут быть срезаны ротационным рабочим органом. Проанализировано влияние плотности и модуля Юнга веток на их предельно срезаемый диаметр. Получены графические зависимости, связывающие указанные параметры.

Ключевые слова: очистка, канал, профиль дна, мелиоративный, моделирование, древесные остатки, расчёт, предельный, ротационный, диаметр, воздействие.

Введение. В Республике Беларусь площади сельхозугодий составляют около 8,99 млн. га [1]. Из них около 2,9 млн. га — земли, подвергнутые осушению, в числе которых польдерные — 250 тыс. га. Земли, охваченные осушительно-увлажнительными системами имеют площадь более 700 тыс. га, а орошаемые земли составляют около 100 тыс. га. На мелиорированных землях имеется до 800 тыс. км коллекторно-дренажной сети, более 15 тыс. водорегулирующих сооружений, около 35 тыс. переездных сооружений, свыше 10 тыс. км дамб и дорог.

Важнейшим элементом мелиоративных систем являются различного назначения каналы и водоприемники. От состояния каналов во многом зависит работоспособность всей мелиоративной системы. При неудовлетворительном отведении воды коллекторным или магистральным каналом затрудняется выход воды из дрена, что приводит к повторному заболачиванию осушенных мелиоративной системой площадей. Основными причинами, приводящими к нарушению работоспособности каналов, являются их заиливание, зарастание древесной и травяной растительностью, сползание грунта с откосов.

При избытке влаги и высокой температуре воздуха в каналах повышается рост растительности. Это приводит к значительному снижению пропускной способности воды в канале, при этом повышаются уровни воды, увеличиваются потери на фильтрацию и испарение, образуются подпоры, а также увеличивается шероховатость русла, что приводит к изменению проектных профилей каналов. Вследствие указанных факторов необходимо периодически уничтожать сорную растительность на каналах.

В развитых аграрных странах для очистки мелиоративных каналов всё чаще прибегают к машинам с ротационными рабочими органами.

Востребованность такой техники вызвана её высокой производительностью и хорошей надёжностью. При работе подобные устройства не разрушают поперечный профиль канала, аккуратно очищают дно канала от наносов и сорной растительности.

Цель работы — на основе моделируемого компьютерного эксперимента установить, какое влияние оказывает тип убираемой растительности, её физико-механические свойства и плотность зарастания на способность каналоочистителя с ротационным рабочим органом удалить из мелиоративного канала сорную растительность.

Теоретические предпосылки. Ряд ученых (И.А. Долгушев, Т.П. Жук, В.С. Алтунин, С.А. Ваняев, А.А. Коршиков, Т.А. Погоров, Ф.И. Пикалов, М.Н. Багров, И.П. Кружилин, Э. Урбонас и др.) отмечают, что в результате зарастания мелиоративных каналов влаголюбивой растительностью их пропускная способность может снизиться на 50 - 80%. Растительность, произрастающая в каналах, создает значительное сопротивление потоку воды [2]. Заросшие оросительные каналы резко снижают свой КПД, что приводит к недополиву сельскохозяйственных культур.

В работе И.А. Будахова [3] освещены вопросы влияния параметров ротационно-дискового режущего аппарата на скашивание толстостебельных культур. Автор пришёл к выводу, что бесподпорное резание оказывается эффективнее резания с подпором при срезе жесткостебельной растительности. При срезе тонкостебельных культур наоборот, резание с подпором эффективнее.

При рассмотрении взаимодействия ножа и стебля при бесподпорном резании проф. Е.М. Гутьяр предположил [4], что деформация

изгиба после удара ножа по стеблю перемещается вверх и вниз от места резания со скоростью распространения звука в материале, приводя к синусоидальному изгибу стебля.

А.Ю. Ишлинский обосновывает критическую скорость резания [5] при допущении, что жесткость стебля по длине есть величина постоянная, а масса стебля сосредоточена на его конце. Им также получено уравнение для расчёта критической скорости резания.

В работах Ф.М. Магомедова [6] проведено теоретическое исследование технологического процесса скашивания растительности в мелиоративных каналах. Разработаны теоретические аспекты резания растительности в воде.

Результаты, полученные М. Рендалом и Ф. Каифашем [7], а также М.И. Карпенко [8], при определении мощности, необходимой на резание растительности в зависимости от скорости резания, показывают, что в данном вопросе единое мнение отсутствует.

Из проведенного анализа можно сделать вывод о том, что разные авторы получают зачастую существенно отличающиеся результаты, существующие теоретические выкладки часто не учитывают специфических условий, в которых работает каналочиститель. Принимая во внимание всю важность поддержания работоспособности мелиоративной сети и возможный экономический ущерб от несоблюдения требований эксплуатации водохозяйственных объектов, можно утверждать, что более глубокое исследование процесса резания (измельчения) растительности и очистки каналов, обоснования параметров и режимов работы ротационных рабочих органов является актуальной задачей.

Исходные данные и моделирование эксперимента. Как правило, ротационный рабочий орган состоит из следующих элементов (рис. 1): ножей 1, отбрасывающих лопаток 2, кронштейна 3, фронтального ножа 4, кожуха 5, гидросистемы и башмака.

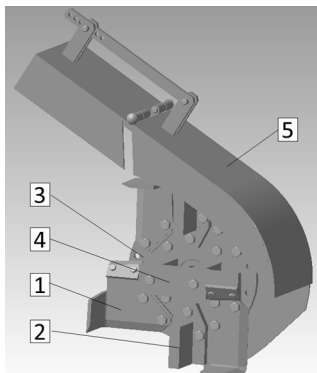


Рис. 1. 3-х мерная модель ротационного рабочего органа горизонтального типа

За прототип рабочего органа для создания 3-х мерной модели был принят ротационный рабочий орган опытного образца каналочистителя КОРО-2 (рис. 1).

Первоочередная задача моделирования — установить, при какой плотности зарастания канала сорной растительностью и скорости вращения ротационного рабочего органа каналочиститель утратит свою работоспособность и не обеспечит очистку профиля дна мелиоративного канала от наносов и сорной растительности.

Моделирование процесса удаления растительности проводилось в среде программного комплекса ANSYS (рис. 2). 3-х мерная модель ротационного рабочего органа горизонтального типа создавалась на базе программы ProEngineer.

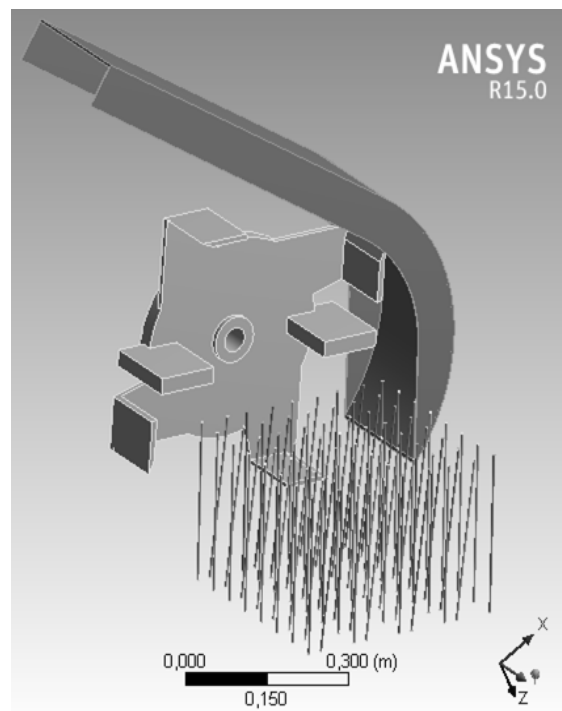


Рис. 2. Генерация сетки конечных элементов

Следует иметь в виду, что длительность вычислений, производимых специализированными программными комплексами, базирующимися на методе конечных элементов, напрямую зависит от количества составных единиц модели, от её сложности. Чем больше элементов включает в себя модель, тем больше времени занимает расчёт. Современному производительному персональному компьютеру потребуется не менее 10 часов для расчёта одной подобной задачи. Поэтому было принято решение опыт упростить, свести к минимуму количество элементов модели, так как проведение множества опытов по-

требовало бы значительных затрат времени. Проведение подобных расчётов возможно только на суперкомпьютере.

В русле мелиоративных каналов часто можно встретить различные древесные остатки, молодые деревья и кустарник. Их появление в канале может быть обусловлено различными факторами, от некачественной очистки каналов, до последствий ураганного ветра.

Древесные остатки, достаточно долго находящиеся в канале, постепенно заиливаются, обрастают корнями сорной растительности, основательно закрепляются в нём. По данным исследований В.Н. Титова и К. А. Гуцановича [9, 10, 11], наиболее часто на каналах мелиоративных систем встречаются такие породы древесно-кустарниковой растительности, как береза, осина, ольха, крушина, тополь, ива, которые чаще всего закрепляются на откосах самосевом и растут достаточно быстро.

Древесно-кустарниковая растительность обычно располагается выше уреза воды. При благоприятных погодно-климатических условиях зарастание мелиоративного объекта древесно-кустарниковой растительностью происходит в течение 3...5 лет. К кустарникам относится древесная растительность всех пород с диаметром стволов от 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 2 см и кустарника до 7 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 представляют серьёзную угрозу поломки для каналоочистителей с ротационным рабочим органом. Таким образом, важно установить максимально допустимый диаметр веток древесных остатков, которые способен удалить ротационный рабочий орган каналоочистителя. Получение таких данных позволит уточнить методики разработки (проектирования) ротационных рабочих органов и вопросы ухода за мелиоративными каналами.

При проведении подобных опытов приходится идти на некоторые допущения и упрощения. Смоделировать каждую конкретную ветку невозможно. В природе не существует тождественности, все ветки строго индивидуальны, имеют свою форму и изгиб, характерный для различных пород древесины. Также не представляется возможным продублировать микро-

рельеф коры древесины. Однако известно, что при частоте вращения рабочего органа 900 об/мин и выше нож моментально прорезает ветку. Кора имеет значение лишь для веток малого диаметра, не обладающих достаточной массой, и отклоняющихся при соударении с ножом.

Неизвестно, насколько хорошо закреплены (связаны) древесные остатки в русле канала. При слабом закреплении и большой толщине ветки, наиболее вероятным последствием соударения будет изменение положения ветки ножом, который прижмёт её ко дну или откосу канала, или отбросит в сторону, на берму канала. Нами была смоделирована ситуация, при которой ветка жестко закреплена своим основанием в канале и не может быть перемещена, а только срезана.

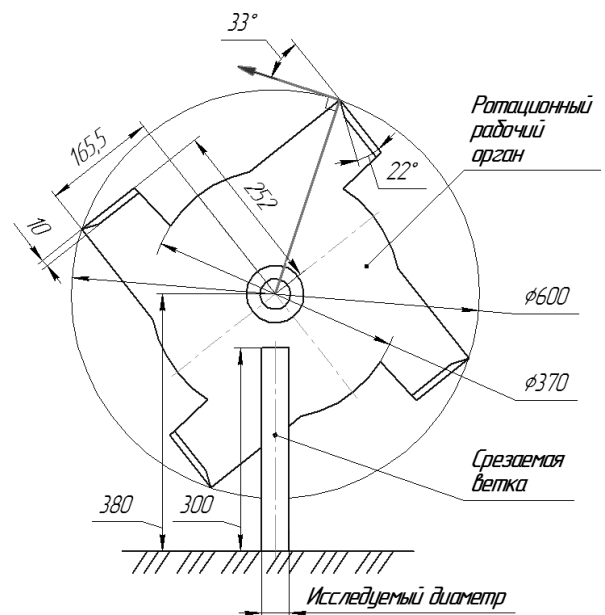


Рис. 3. Схема моделируемого опыта

В опыте использовалась упрощённая 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. Это было необходимо для сокращения количества исходных элементов модели и ускорения вычислений. Как видно из рисунка 3 диаметр ротационного рабочего органа по периферии режущей кромки ножей составляет 600 мм, ветка длиной до 300 мм расположена на расстоянии 380 мм от основания до центра вращения рабочего органа.

Угол заточки режущей кромки ножа составляет 22° , а угол отклонения от периферии резания основания ножа равен 33° . Удар ножом о ветку происходит на расстоянии около 80 мм от земли. При этом скорость вращения рабочего

органа составляет 900 об/мин. Коэффициент Пуассона поперёк волокон для всех веток принят равным 0,02 [10].

При создании трёхмерной модели, предназначенной для анализа процесса очистки мелиоративного канала от древесных остатков каналочистителем с ротационным рабочим органом горизонтального типа, учитывались физические свойства различных пород древесины, наиболее часто встречающихся вдоль мелиоративных каналов. Необходимые для трёхмерного моделирования физические свойства материалов приведены в табл. 1 [11]. Принимая во внимание все допущения и упрощения, получены следующие результаты, представленные в таблице 1 и изображенные на рисунке 4.

Рассмотрим полученные результаты моделирования на примере одной из пород древесины. Ветки берёзы плотностью 640 кг/м³ и модуле Юнга 14,2 ГПа срезаются ротационным рабочим

органом каналочистителя, до предельного диаметра ветки в 42,1 мм.

Таблица 1. Физико-механические свойства пород древесины, встречающихся в мелиоративных каналах

Порода древесины	Плотность, кг/м ³	Модуль Юнга, ГПа	Макс. диаметр среза, мм
Берёза	640	14,2	до 42,1
Дуб	780	14,2	до 42
Ель	445	9,6	до 48,9
Ива	455	8,98	до 50,8
Ольха	525	9,33	до 49,6
Осина	495	11,2	до 48,5
Сосна	505	12,2	до 44,9

При значениях диаметра свыше предельных среза не происходит (рис. 5).

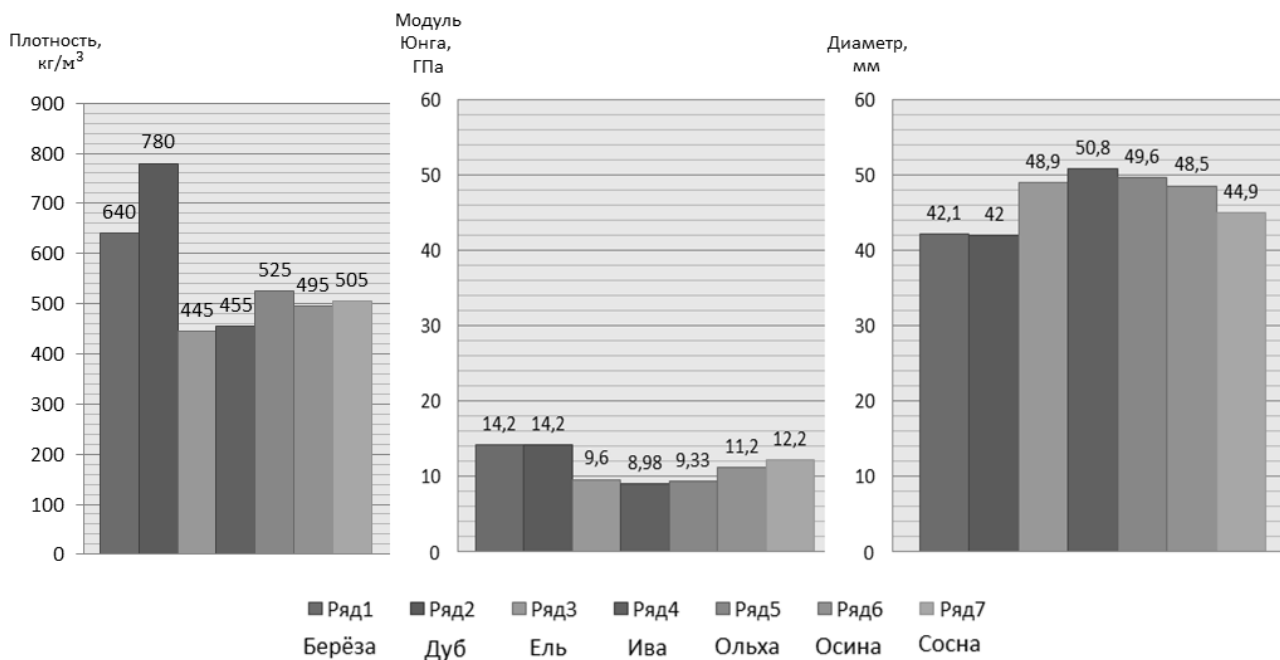


Рис. 4. Влияние плотности и модуля Юнга различных пород древесины на максимальный диаметр срезаемой ветки

Наиболее легко срезаемыми ветками, из представленных в опыте, являются ивовые (max. \varnothing 50,8 мм.), а наиболее тяжело срезаемые — ветки дуба (max. \varnothing 42 мм.) и берёзы (max. \varnothing 42,1 мм.). Опыты показывают, что разница в плотности древесины не оказывает значительного влияния на срезание ветки. Рост плотности срезаемой ветки на 100 кг/м³ всего на 0,21% уменьшает максимально срезаемый предельный диаметр древесных остатков. При умень-

шении модуля Юнга ветка становится более гибкой и пластичной, увеличивая тем самым 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.

Таким образом, учитывая возможность поломки ротационного рабочего органа, ввиду невозможности удалить древесные остатки в виде

веток различных пород древесины, с диаметрами превышающими предельно допустимые, целесообразным будет их предварительное удаление из каналов (см. табл. 1).

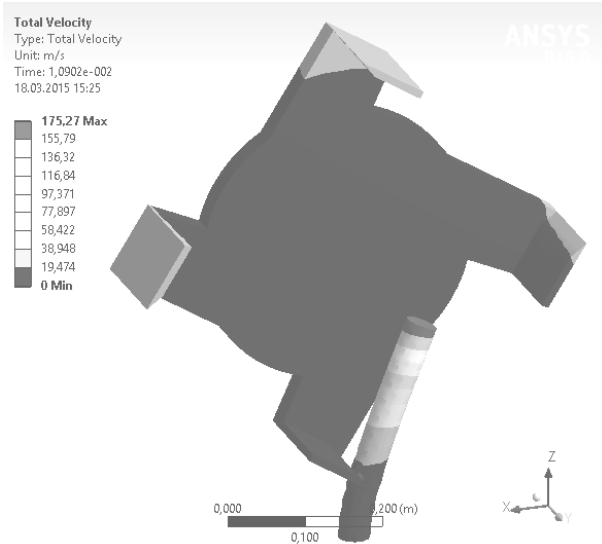


Рис. 5. Соппротивление ветки берёзы диаметром 42,1 мм срезанию ротационным рабочим органом горизонтального типа

Шкала Total Velocity в левой части рисунка 5 отображает максимальное изменение скорости движения крайних точек моделируемых объектов. Для снимка вращение модели было приостановлено, поэтому цвет рабочего органа находится в положении нулевого изменения скорости. Максимальная скорость движения приходится на кончик срезаемой ветки и составляет 175,3 м/с.

Выводы.

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 так же частота вращения ротационного рабочего органа. Наиболее легко срезаемыми ветками, из представленных в опыте, являются ивовые (max. \varnothing 50,8 мм.), а наиболее тяжело срезаемые — ветки дуба (max. \varnothing 42 мм.) и берёзы (max. \varnothing 42,1 мм.).

2. Для ротационного рабочего органа, диаметром 600 мм, ось вращения которого расположена на расстоянии 380 мм от земли, вращающегося со скоростью 900 об/мин, срезающего ветки длиной до 300 мм, рост плотности срезаемой ветки на 100 кг/м^3 всего на 0,21% уменьшает максимально срезаемый диаметр древесных остатков. В то же время, уменьшение модуля Юнга на 1 ГПа увеличивает максималь-

но срезаемый диаметр веток на 3,83%, что в среднем составляет 1,86 мм.

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

Литература

1. Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011 – 2015 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 августа 2010 г. № 1262).

2. Магомедов Ф.М. Влияние типа режущего аппарата на качество скашивания растительности на каналах / А.А. Коршиков, Н.Г. Фаталиев // Агропромышленные машины и оборудования. Сборник научных трудов. – Новочеркасск: НГМА, 2008. – С. 4 - 8.

3. Будашов И.А. Обоснование параметров ротационно-дискового режущего аппарата для резания толстостебельных культур / Автореферат диссертации. – Барнаул, 2013. – 22 с.

4. Фомин В.И. Исследование процесса бесподпорного среза трав / В.И. Фомин // Сборник научных трудов ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, 1962. – Вып. 39: Исследование новых технологических процессов и рабочих органов сеноуборочных машин. – С. 3 - 56.

5. Васильев Б.А. Мелиоративные машины / В.Б. Гантман, В.В. Комиссаров, И.И. Мер, А.Н. Павлинов, Ю.Г. Ревин, В.В. Суриков; под ред. И.И. Мера. – М.: Колос, 1980, – 351 с.

6. Магомедов Ф.М. Оптимизация параметров режима технологического процесса скашивания растительности на оросительных каналах / Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 65-ти летию Победы в ВОВ. Ч.1. – Махачкала: ДГСХА, 2010. – С. 263 - 270.

7. Тихонов Н.И. Определение силы резания ножом / Н.И. Тихонов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – №11. – С. 24 - 27.

8. Иванюта В.М. Процессы формирования и оценки леса / В.М. Иванюта. – М.: МЛТИ, 1972. – 195 с.

9. Моисеев В.С. Таксация молодняков / В.С. Моисеев. – Л.: Леспроект, 1971. – 342 с.

10. Мажугин Е.И. Мелиоративные машины. Основы теории и расчета: Учеб. пособие / Е.И. Мажугин. – Горки: БГСХА, 2007. – 161 с.

11. Перельгин Л.М. Древесиноведение / Л.М. Перельгин, Б.Н. Уголев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 286 с.

Анотація

**Модельювання процесу очищення меліоративного каналу
ротаційним робочим органом горизонтального типу**

А.Н. Басаревский, К.А. Кравченін

У статті описані результати модельювання процесу видалення деревних залишків з меліоративних каналів. Визначено максимально допустимі діаметри гілок різних порід деревини, що зустрічаються в меліоративних каналах, які можуть бути зрізані ротаційним робочим органом. Проаналізовано вплив щільності і модуля Юнга гілок на їх гранично зрізається діаметр. Отримано графічні залежності, що зв'язують вказані параметри. Отримано аналітичні залежності, що зв'язують вказані параметри.

Ключові слова: *очистка, канал, профіль дна, меліоративний, модельювання, деревні залишки, розрахунок, граничний, ротаційний, діаметр, вплив.*

Abstract

**Modelling of the drainage channel cleaning process
rotary working body of horizontal type**

A.N. Basareuski, K.A. Kravchenin

The article describes the results of the modeling process, the removal of woody debris from drainage canals. Determine the maximum allowable diameter of branches of different types of wood found in drainage canals, which can be cut by rotary working body. The influence of the density and Young's modulus of the branches to be cut is their maximum diameter. We obtain a graph of binding parameters specified.

Keywords: *purification, the channel, bottom profile, meliorative, modeling, woody residue debris, calculation, limit, rotational, diameter, the impact.*

Представлено: В.І.Пастухов/ Presented by: V.I.Pastukhov

Рецензент: Л.Я.Степук/ Reviewer: L.Ya.Stepuk

Подано до редакції / Received: 01.03.2015