

УДК 630*372, 630*375.4

ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ ГАЛАКТИОНОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета ПетрГУ
galakt@psu.karelia.ru

АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ КУЗНЕЦОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета ПетрГУ
kuzalex@psu.karelia.ru

МАКСИМ АНАТОЛЬЕВИЧ ПИСКУНОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета ПетрГУ
piskunov_mp@list.ru

**ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСТИЛА ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ
И СОСТОЯНИЕ ГРУНТА НА ТРЕЛЕВОЧНОМ ВОЛОКЕ**

Статья подводит итог проведенным авторами исследований влияния использования отходов лесозаготовок на состояние лесных грунтов. Анализировалось влияние концентрации отходов лесозаготовок на величины напряжений и деформаций, возникающих в грунте. Установлены количественные характеристики концентрации отходов лесозаготовок, обеспечивающие необходимый уровень несущей способности грунта.

Ключевые слова: отходы лесозаготовок, использование отходов, лесные машины

ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время подавляющий объем лесозаготовок происходит при помощи лесозаготовительных машин. Следовательно, основное воздействие на древостой оказывают движители машин, контактирующие с грунтом. Этот контакт, кроме изменения сопротивления движению машин, сказывается на восстановлении древостоя и его качестве.

Разработать мероприятия по снижению воздействия на грунт и оценить их эффективность можно на основе изучения процессов, происходящих в грунте в момент прохождения лесозаготовительной машины, количественной оценки их характеристик.

Конкретные направления экспериментальной деятельности по обоснованию разных путей снижения энергопотребления были рассмотрены в работе [5].

Особенности древесины и отходов лесозаготовок позволяют применять их для решения всех задач на пути использования отходов лесозаго-

товок при строительстве транспортной сети. Отходы лесозаготовок традиционно используются для повышения несущей способности волоков, позволяющей лесозаготовительной технике тратить меньше энергии на преодоление тяжелых участков волока. В процессе укрепления волоков отходы лесозаготовок собираются на них, что позволяет эффективно использовать прочностные свойства и организовать их утилизацию.

Таким образом, необходимо определить минимальный объем отходов лесозаготовок для строительства волоков и оценить объем отходов, свободный для использования.

Укрепление волоков особенно актуально при работе лесных машин в сложных условиях увлажненной местности, когда необходимо максимально сохранить подрост или провести сплошные рубки. Кроме того, использование лесосечных отходов как дорожной одежды позволяет рационально использовать биомассу дерева.

При укреплении волоков лесосечными отходами увеличивается площадь контакта между движителем и почвогрунтом за счет перераспре-

деления давления в слое отходов лесозаготовок. По экспериментальным исследованиям, после 10 проходов лесной машины по транспортному пути, укрепленному лесосечными отходами, образуется конгломерат почвогрунта с лесосечными отходами [2]. В этом случае целесообразно рассматривать волок, по которому совершает движение лесная машина, как почвогрунт, армированный лесосечными отходами.

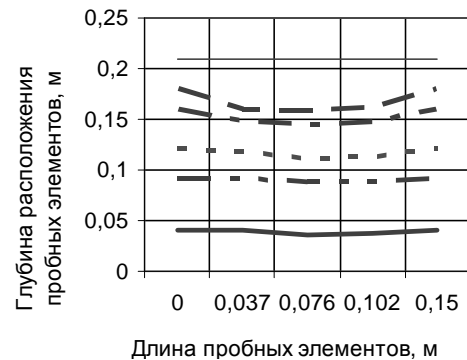
В связи с вышесказанным, необходимо провести исследования характеристик взаимодействия хворостяной подушки и почвогрунта при эксплуатации транспортных путей, на основании этих характеристик определить объем лесосечных отходов, необходимый для строительства волоков. При этом задача ставится так: определить, во сколько раз снижается воздействие лесозаготовительной машины на поверхность грунта при использовании определенного объема отходов лесозаготовок.

Методика исследования заключалась в оценке величины снижения деформации и напряжений грунта при движении лесозаготовительного агрегата по волоку с различной концентрацией отходов лесозаготовок; такая постановка задачи эксперимента позволяет отказаться от точной настройки приборов и пользоваться относительными показателями. Для исследования были выбраны первая и третья категории грунтов. Применяемая аппаратура включала ударник ДорНИИ, мерные гидроэлементы, тензодатчики, усилитель и аналого-цифровой преобразователь, специализированное и общее программное обеспечение.

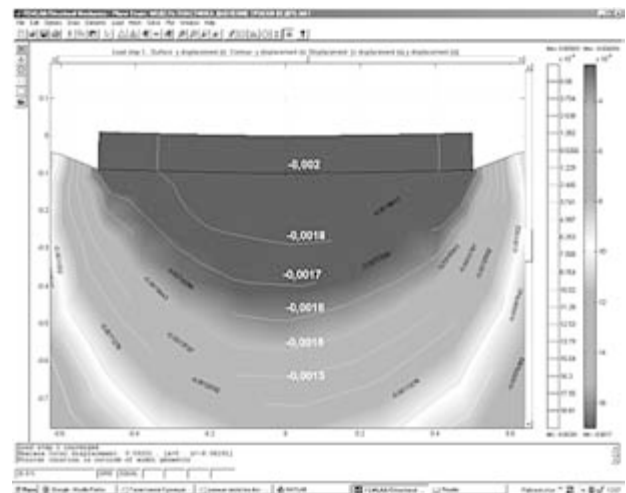
Для повышения эффективности измерений и исключения влияния близкого контакта датчика и движителей лесозаготовительных машин или элементов хворостяной подушки экспериментально определена глубина заложения датчиков, представляющих собой гибкие металлические трубки. Установлено, что оптимальной является глубина в 14–16 см (рис. 1а). Аналогичная методика описана в работе [9], где использованы точечные элементы, размещенные в толще грунта, в этой же работе показано, что максимальные смещения (15–20 см) происходят в верхнем слое грунта. Результаты моделирования в среде Матлаб дали аналогичные результаты (рис. 1б). Контроль параметров моделирования проводился на основании диаграмм напряжений грунта, приведенных в работах [3] и [7].

Основные исследования проводились в три этапа:

1. На первом этапе проведены лабораторные исследования на смоделированном образце почвы; отработывалась методика; исследовались границы изменения изучаемых параметров;
2. На втором этапе проведена оценка верхней границы необходимого для строительства волоков объема отходов лесозаготовок.



а



б

Рис. 1. Определение оптимальной глубины заложения датчиков:

а — экспериментально; б — моделированием в Матлаб (масштаб 1:10)

3. На третьем этапе с учетом ранее полученных результатов и модернизации приборной базы проводились исследования напряженного состояния грунта под опорными поверхностями лесозаготовительных машин — колесных и гусеничных, с целью выяснения взаимосвязи между объемом отходов лесозаготовок и восстановлением несущей способности.

Схема взаимодействия лесозаготовительной машины, отходов лесозаготовок и грунта приведена на рис. 2.

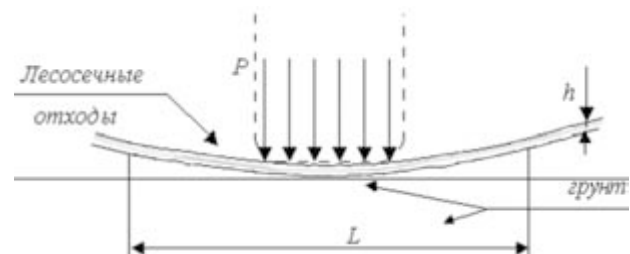


Рис. 2. Схема воздействия движителя на почвогрунт

Первый этап. Цель этапа – определить эффективность использования ориентированного размещения отходов лесозаготовок на волокне. В подготовленный образец грунта укладываются мерные элементы. При помощи рычажного механизма производим нагружение до рабочих давлений лесозаготовительной машины. Фиксируем величину деформации грунта. Затем последовательно укладываем слои с ориентацией вдоль оси предполагаемого волокна, перпендикулярно первому слою и вновь вдоль оси волокна. Промежуточные значения углов ориентации не учитывались, так как в ходе исследования выявлено их слабое влияние на показатели деформации грунта. Для исключения влияния ползучести нагружение проводилось с максимально возможной скоростью.

Второй этап. Общая схема эксперимента не изменилась, исследование проводилось в условиях движения трактора по естественному грунту. Фиксировали линейное перемещение мерного элемента, находящегося в толще грунта, при изменении состояния нагружения грунта.

Третий этап. Отходы лесозаготовок длиной 0,7 м и диаметрами от 2 до 70 мм, предварительно сформированные в пачки массой 2 кг (локальная концентрация составила от 0,003 до 0,012 м³/м²), укладывались на волок по пути следования лесозаготовительной машины. Концентрация отходов по длине волокна нарастала. Тензочувствительные элементы, связанные при помощи кабеля с усилителем и аналого-цифровым преобразователем, закладывались на глубине 150 мм; накопление и хранение данных осуществлялось при помощи портативного компьютера. Так как для установки датчика необходимо нарушить исходное состояние грунта, для минимизации воздействия датчики устанавливались в боковую стенку шурфа. После 10 проходов трактора производилось повышение локальной концентрации отходов лесозаготовок (на рисунке увеличение плотности показано более жирной штриховкой). Ориентации отходов лесозаготовок не проводилось.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведено статистическое исследование результатов: определена достоверность, рассчитаны средние значения и величина дисперсии, принадлежность к одному и тому же распределению – нормальному, определено необходимое количество опытов. После обработки построены кривые нагружения. Данные обрабатывались средствами программы Excel. Обработка включала удаление ненагруженных участков кривой, выявление максимальных значений, статистическую обработку, построение корреляций и выяснение уровня снижения напряжений при использовании отходов лесозаготовок для строительства волокон.

Общая постановка задачи не требует знания величины деформаций и напряжений, возни-

кающих в грунте. При необходимости перевод в единицы линейных перемещений в почвогрунтах осуществлялся по формуле:

$$\Delta h = \frac{4 \cdot R^2 \cdot \Delta L}{d \cdot A}, \quad (1)$$

где R – радиус пробного элемента, мм; ΔL – перемещение указателя, мм; d – диаметр пробного элемента, мм; A – длина пробного элемента, мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В первых сериях эксперимента повышение нагрузки велось до потери грунтом устойчивости; при превышении этого предела погружение пробной площадки продолжалось без увеличения нагрузки до глубины 5–6 см. Так как в этом случае происходило существенное перемещение грунта и наблюдались значительные остаточные деформации, что не позволяло вести в этих условиях дальнейшие нагружения, в последующих сериях нагружение вели до среднего давления, создаваемого груженым трактором, – 0,4–0,5 МПа.

График распределения величины деформации дает наглядное представление об изменении ее характера, как по величине, так и по набору значений при использовании отходов лесозаготовок для укрепления поверхности волокон. Подтверждает сказанное и график накопленных частот.

При чистой поверхности грунта вероятность появления средних значений меньше и более значимы деформации в области 50–90 (линия 1 на рис. 3а, 3б, величины деформаций нормированы). При использовании одного слоя отходов лесозаготовок вероятность появления средних значений повышается с одновременным уменьшением доли высоких значений деформации (линия 2 на рис. 3а, 3б). При использовании двух слоев отходов лесозаготовок с ориентацией вдоль и поперек средние значения уменьшаются, а их доля возрастает. При этом максимальные значения, обычные для первого и второго случая, не достигаются (линия 3 на рис. 3а, 3б). График изменения деформаций внутри грунта и деформации грунта на поверхности в лабораторных условиях в зависимости от давления на грунт приведен на рис. 4.

Разница в результатах объясняется тем, что при измерении деформации на поверхности происходит вдавливание элементов отходов лесозаготовок в грунт и, соответственно, изменение деформации происходит на каждом шаге однозначно (рис. 4а), при измерении деформации в толще грунта нагрузка распространяется также в стороны и, соответственно, нагрузки на отдельный элемент (рис. 4б) усредняются и уменьшаются, что вызывает появление неоднозначных данных. Кроме того, в начале нагружения происходит интенсивное перераспределение внутренних напряжений, что искажает картину смещений, особенно в условиях отсутствия укрепления.

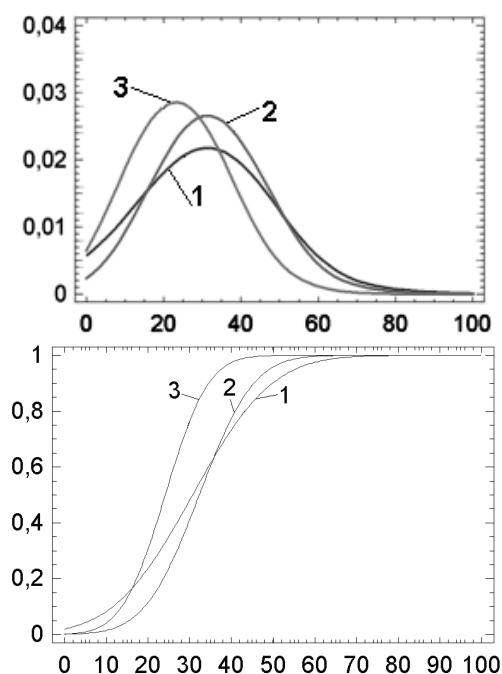


Рис. 3. Распределения деформаций грунта при изменении толщины и ориентации хвостяной подушки (лабораторные условия)

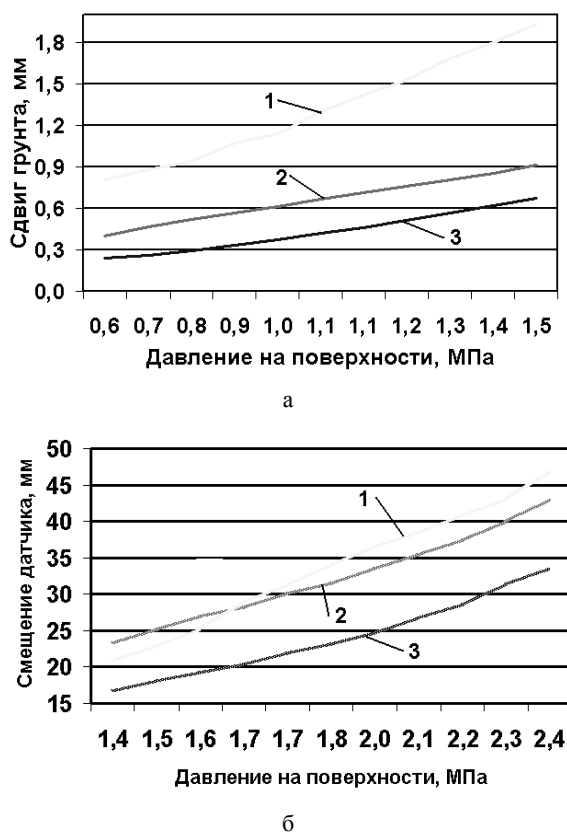


Рис. 4. Деформация в зависимости от нагрузки и расположения отходов лесозаготовок (лабораторные условия):

1 – нет отходов лесозаготовок; 2 – отходы уложены поперек (один слой); 3 – отходы уложены вдоль (два слоя)

Таким образом, показана принципиальная эффективность использования отходов лесозаготовок для устройства волоков.

Второй этап – полевые исследования – показал в целом аналогичные результаты. Отличия состоят в более четком разделении линий нагружения грунта без отходов и с одним слоем отходов лесозаготовок.

Анализ поведения нагруженного грунта в зависимости от расположения отходов лесозаготовок выявил значимое улучшение показателей состояния грунта (см. рис. 5), при поперечном (по отношению к оси волока) расположении отходов лесозаготовок показал снижение деформаций грунта соответственно в 2,79, 3,85 и 3,86 раза по сравнению с незащищенным грунтом, что в среднем для произвольного расположения отходов лесозаготовок составляет 3,5 раза. Кроме того, величины деформаций грунта достигают значений, соответствующих движению машины по волоку без защитного слоя, гораздо реже (рис. 5а, линии 3 и 4), за исключением расположения отходов лесозаготовок вдоль оси волока, при этом достаточно быстро происходит превышение значений для незащищенного грунта (рис. 5а, линия 1). На рис. 5б приведены результаты тензометрического исследования грунта со слоем отходов и без него. Заметно снижение величины деформаций и отсутствие пиков при использовании отходов лесозаготовок. Снижение деформаций составило 1,68 раза.

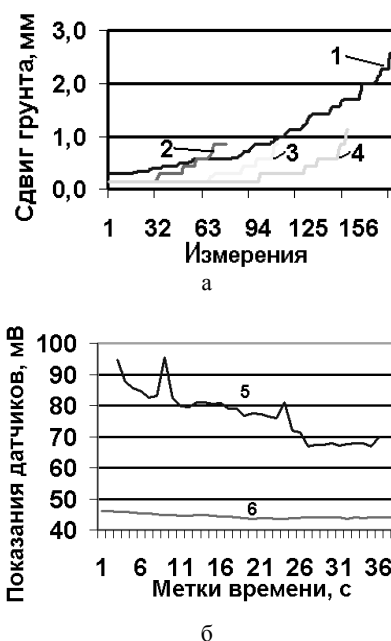


Рис. 5. Деформация в зависимости от нагрузки и расположения отходов лесозаготовок (полевые условия):

а – сортированные данные; б – показания тензодатчиков;

1 – нет отходов лесозаготовок; 2 – отходы уложены параллельно; 3 – отходы уложены поперек; 4 – отходы уложены внахлест

При проведении замеров было отмечено резкое повышение напряжения в грунте при прохождении последнего катка гусеничного трактора, аналогичное данным, приведенным в [4], что подтверждает адекватность применяемой методики реальным условиям.

Следует сделать вывод, что в целом данные первого и второго этапов эксперимента соответствуют друг другу.

Третий этап исследований нацелен на оценку объема отходов лесозаготовок, необходимого для поддержания состояния волока в работоспособном состоянии, обеспечивающем полное сохранение производительности лесозаготовительного оборудования на исходном уровне.

Результаты исследования деформаций в грунте в процессе движения гусеничного и колесного тракторов приведены на рис. 6. «Ступени» на графиках соответствуют добавлению отходов лесозаготовок на волок (в объеме $0,025 \text{ м}^3/\text{м}^2$ через каждые 10 проходов трактора).

Средняя разница между величинами снижения деформации составила соответственно 1,25, 3,79 и 5,82 раза, или в среднем 3,62 раза, что соответствует данным второго этапа, причем увеличение концентрации отходов лесозаготовок на волоке не вызывало изменения эффективности снижения величины деформации грунта на волоке.

Результаты исследований третьего этапа показали, что минимальный необходимый уровень использования отходов лесозаготовок на строительстве волоков составляет $0,023 \text{ м}^3/\text{м}^2$ для колесных и $0,012 \text{ м}^3/\text{м}^2$ – для гусеничных машин, что вызывает повышение производительности основного технологического процесса вследствие снижения вероятности буксования, увеличения скорости передвижения, снижения трения о стенки колес.

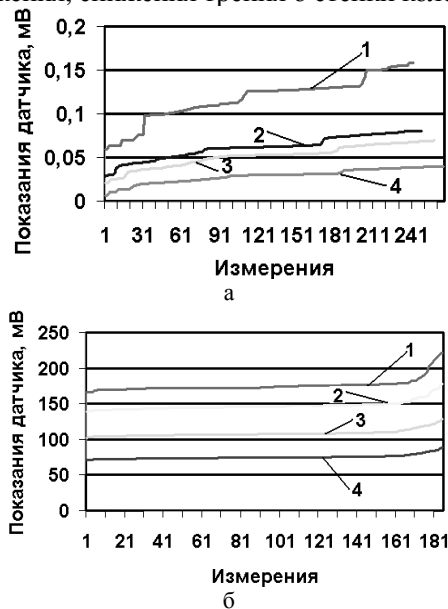


Рис. 6. Деформация грунта в зависимости от нагрузки и расположения отходов лесозаготовок, полевые условия:

а – гусеничный трактор; б – колесный трактор;
1 – грунт без укрепления; 2 – $0,025 \text{ м}^3/\text{м}^2$; 3 – $0,05 \text{ м}^3/\text{м}^2$; 4 – $0,075 \text{ м}^3/\text{м}^2$

На основании полученных результатов определено, что при задании граничного условия в виде сохранения несущей способности волока на уровне, обеспечивающем выполнение сменного задания для второго и третьего типа грунтов, требуется все отходы лесозаготовок, имеющиеся на лесосеке, направлять на строительство волоков (см. таблицу). Таким образом, использование отходов лесозаготовок в других направлениях исключено.

Количество лесосечных отходов, необходимое для обустройства волока, $\text{м}^3/\text{м}^2$

Тип машины		Гусеничные машины			Колесные машины		
Доля возврата несущей способности		0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8
1-й тип местности, относительная влажность менее 0,75 %	1 Песок	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
	2 Супесь	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
	3 Суглинок	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07
2-й тип местности, относительная влажность от 75 до 90 %	4 Песок	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,10
	5 Супесь	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,10
	6 Суглинок	0,05	0,06	0,09	0,05	0,07	0,11
3-й тип местности, относительная влажность более 90 %	7 Глина	-0,08	-0,11	-0,16	-0,56	-0,75	-1,12
	8 Песок	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,11
	9 Супесь	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,11
	10 Суглинок	0,05	0,06	0,10	0,05	0,07	0,10
	11 Глина	-0,11	-0,15	-0,23	-0,68	-0,90	-1,35
	12 Торф	-0,49	-0,65	-0,98	-1,89	-2,52	-3,77

При менее сложных условиях допустимо использование только части отходов лесозаготовок для строительства волоков или использование частичных укреплений – низин, торфяников. Возможно другое решение – направлять все возможные отходы лесозаготовок на утилизацию при малой доле слабых мест, в зимний период, на сухих или хорошо дренированных лесосеках, при высокой проходимости лесозаготовительной техники. Дополнительный положительный эффект при данном направлении использования – удобрение лесных почв продуктами разложения отходов лесозаготовок.

В рамках продолжения исследований в 2008 году, в сезон с повышенным увлажнением, проведены полевые наблюдения за работой форвардеров в условиях древостоя с запасом $118 \text{ м}^3/\text{га}$ (рис. 7). Подтвердилось предположение о невозможности обеспечить устойчивую производительность форвардеров с использованием отходов лесозаготовок. Неоднократно наблюдалось застревание машин, в основном в понижениях рельефа. В критических условиях (в соответствии со строками 8 и 12 табл. 1) для укрепления волоков использовались ценные сортаменты.



Рис. 7. Движение форвардера в условиях повышенного увлажнения

Из полученных результатов, приведенных в таблице, следует, что при укладке лесосечных отходов параллельно, перпендикулярно и внахлест уменьшение значений линейных перемещений составит соответственно 2,79, 3,85 и 3,86 раза. Значения при укладке лесосечных отходов перпендикулярно и внахлест практически не отличаются. Следовательно, при укладке лесосечных отходов с целью снижения трудозатрат на формиро-

вание покрытия необходимо придерживаться перпендикулярной схемы расположения ветвей.

ВЫВОДЫ

1. Укрепление путей первичного транспорта леса в перспективе должно повысить надежность работы лесозаготовительных машин – форвардеров, скиддеров, трелевочных тракторов.

2. Полевые исследования показали, что при укладке лесосечных отходов параллельно, перпендикулярно и внахлест уменьшение значений линейных перемещений составит соответственно 2,79, 3,85 и 3,86 раза.

3. Исследованиями установлено, что расположение отходов лесозаготовок ориентированными слоями более двух не приводит к радикальному увеличению несущей способности волоков (несущая способность увеличилась в 1,19 раза);

4. После 10 проходов лесной машины по транспортному пути, укрепленному лесосечными отходами, образуется конгломерат – грунт-лесосечные отходы, требующий отдельного исследования.

5. На лесосеках с глинистыми и торфянистыми грунтами возможно только частичное восстановление несущей способности волока.

6. Минимальный объем отходов лесозаготовок, вызывающий существенное увеличение несущей способности волока, – $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^2$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алюшин А. Б., Черепанов Б. М. Исследование напряженно-деформированного состояния замоченного лесового основания под жестким штампом-фундаментом // Ползуновский альманах АлтГТУ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://elibrary.altstu.ru/elibrary/books/Files/Vestn_2000/12_p12.htm.
2. Анисимов Г. М., Большаков Б. М. Основы минимизации уплотнения почвы трелевочными системами. СПб.: ЛТА, 1998. 108 с.
3. Бабков В. Ф., Безруков В. М. Основы грунтоведения и механики грунтов: Учебник для студентов автомобильных дорожных вузов. М.: Высшая школа, 1977. 328 с.
4. Беккер М. Г. Введение в теорию систем местность – машина. М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
5. Галактионов О. Н. Теоретические и экспериментальные исследования направлений промышленного освоения отходов лесозаготовок // Проблемы лесопромышленных регионов: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. М.: ИПИИ, 2002. С. 21–22.
6. Головкин С. И., Коперин И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987. 220 с.
7. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 511 с.
8. Михайлов Г. М., Серов Н. А. Пути улучшения использования вторичного древесного сырья. М.: Лесная промышленность, 1989. 223 с.
9. Ansorge D., Godwin R. J. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction, Part 1: Single axle-studies // Biosystems Engineering. [Elektronik resurs]. Elektronik data. 2007. № 98(1). P. 115–126. Mode access: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/2485>.