

Выполненные расчеты свидетельствуют о том, что, наряду с оценкой величины уплотнения почвы в вертикальном направлении, необходимо при поворотах трелемой пачки учитывать развитие процесса уплотнения в перпендикулярном направлении, т. е. в пределах боковой поверхности.

В результате можно сделать следующие выводы.

1. Получены основные зависимости, позволяющие определять оптимальную величину расстояния трелевки по критерию воздействия на почву, а также оптимальный угол подъема пачки к горизонту при трелевке полуподвесными КТУ.

2. Разработанная математическая модель уплотнения почвы лесосеки пачкой лесоматериалов при ее полуподвесной трелевке канатной трелевочной установкой по почвам различного состояния и степени увлажнения позволяет устанавливать оптимальные параметры трелевки, при которых обеспечивается минимальное вредное воздействие переуплотнения на почву.

3. При повороте пачки на угол 25° на почвах низкой несущей способности величина относительного уплотнения почвы в боковой поверхности волока волочащейся комлевой частью пачки достигает $\bar{\rho}_b = 1,33$. Следова-

тельно, наряду с оценкой величины уплотнения почвы в вертикальном направлении, необходимо при поворотах трелемой пачки учитывать развитие процесса уплотнения в перпендикулярном направлении, т. е. в пределах боковой поверхности.

Литература

1. Анисимов Г.М., Григорьев И.В., Жукова А.И. Экологическая эффективность трелевочных тракторов. СПб.: ГЛТА, 2006. 352 с.

2. Иванов В.А. Обоснование технологии и оборудования для освоения и переработки древесины прибрежной зоны и ложа водохранилищ: дис. ... д-ра. техн. наук. СПб., 2008. 300 с.

3. Пятакин В.И., Иванов В.А., Григорьев И.В. Комплексная экономическая оценка применения канатных трелевочных установок. СПб., 2006. С.199

4. Иванов А.В., Киселев Д.С. Разработка труднодоступных лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации // Экспериментальные и теоретические исследования в области инженерных наук: материалы конф. СПб.: ГПУ, 2008. С. 50-51.

УДК 630*372/375

И.В. Григорьев, В.А. Иванов, А.И. Жукова,
А.В. Иванов, М.Е. Рудов, Ф.В. Свойкин*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ПОЧВУ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ТРЕЛЕВКИ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований уплотнения почвы под воздействием части пачки древесины, опирающейся на поверхность движения. Исследования проводились в лабораторных и производственных условиях.

Ключевые слова: трелевка, уплотнение почвы, воздействие древесины на почву.

Известно, что эксперимент (от латинского *experimentum* – проба, опыт) – научно поставленный опыт, наблюдение исследуемого явления. Эксперимент является важнейшей стороной практики и критерием истинности результатов познания [1].

Понятно, что для науки о лесе, являющейся наукой прикладной, эксперимент имеет значение, которое трудно переоценить. Известно, что множество практических расчетов во многих направлениях науки о лесе базируется на эмпирических зависимостях, получен-

* - автор, с которым следует вести переписку.

ных экспериментальным путем. В качестве примера, к таким направлениям науки о лесе можно отнести таксацию, лесоводство, технологию лесозаготовительного производства и пр. Связано данное обстоятельство с тем, что провести строгое математическое моделирование хода роста лесонасаждений (и даже одного дерева), поведения рабочего на лесосеке, развития корневой системы леса и подлеска и т. п. невозможно.

В представляемом исследовании была поставлена задача: определение уплотнения почвы элементами трелеваемой пачки – кроной, вершинной частью и комлем пачки при трелевке полуподвесной канатной трелевочной установкой.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и производственных условиях. При выполнении эксперимента в производственных условиях использовалась экспериментальная канатная трелевочная установка и оригинальный прибор [2] для взятия образцов (кернов) почвы до и после воздействия на нее трелеваемой пачки древесины. Данная часть эксперимента проводилась на двух лесосеках. Изучение предварительно сделанных почвенных разрезов показало, что на первой лесосеке оторфованная лесная подстилка, пронизанная корнями, достигает 7 см, а почвенно-грунтовый состав представляет собой белесый подзол (до 26 см) с переходом в желтовато-коричневую супесь с железистыми вкраплениями. На второй лесосеке – под пологом ельника – неразложившаяся, пронизанная корнями лесная подстилка толщиной 5-7 см переходила в темно-серый слаборазложившийся почвенный горизонт толщиной 9-11 см, далее до глубины 24-30 см шел белый суглинок с железистыми включениями.

Эксперимент проводился следующим образом: трос канатной трелевочной установки разматывался на 50 м, и к нему прицеплялась пачка лесоматериалов, после чего включалась лебедка, которая дотаскивала пачку до мачты. Перед началом трелевки по всей трассе движения, на пикетах через 1 м, брались пробы естественного сложения почвы, затем, после каждого прохода пачки на пикетах, брались пробы почвы в следе пачки. Пачка оттаскивалась трактором на исходную позицию сбоку от трассы движения.

После пяти протаскиваний пачки трасса смещалась на 65-70°, и эксперимент повторялся. Всего было выполнено три серии (де-

ревья за комли, хлысты за вершины, хлысты за комли), по 15 протаскиваний в каждой.

Эксперимент в лабораторных условиях выполнялся для определения влияния на уплотнение почвы поворотов пачки во время движения, которые возникают при работе полуподвесных канатных трелевочных установок с поворотами трассы в плане [3, 4]. Для этого использовались датчик прибора (динамометр) ДОС-3-2И, который предназначен для измерения статического сжатия, а также почва, взятая с опытной делянки в Лисинском учебно-опытном лесхозе СПбГЛТУ.

Площадь индикаторной части тензодатчика была уменьшена до $s_1=2,89 \text{ см}^2$, а вес штампа составил $Q_1=200\text{Н}$. Такие параметры нагружения грунта адекватны развитию начальных напряжений под штампом, равных 0,692 МПа, что соответствует начальным нагрузкам при $Q=190 \text{ кН}$ и площади штампа, равной $s=0,24 \text{ м}^2$, т. е. начальные напряжения составляют 0,79 МПа и отличаются от опытных значений не более, чем на 10 %.

Величина удаления (r_1) от направления трассы при опытных работах соотносилась с теоретической величиной r , исходя из подобия: отношение линейных размеров равно корню квадратному из отношения рабочих поверхностей. Оценивались два состояния: в непосредственной близости к штампу ($r=0,25 \text{ м}$, т. е. $r_1=7-10 \text{ мм}$) и в некотором удалении от него ($r=0,45 \text{ м}$, т. е. $r_1=14-17 \text{ мм}$).

Экспериментальные исследования уплотнения почвы трелеваемой пачкой в условиях первой лесосеки проводился на пяти трассах.

На первых двух трассах производилась трелевка пачек хлыстов комлями вперед, на третьей – деревьев за комли, а на четвертой и пятой – трелевка пачек хлыстов вершинами вперед. После взвешивания всех кернов в лабораторных условиях и определения плотности полученных образцов получалась выборка, или статистический ряд для построения гистограммы. Данные статистического ряда вносились в ПЭВМ и при помощи прикладных программ рассчитывались выравнивающие частоты и статистики закона распределения.

В таблице 1 приведены статистики законов распределения плотности почвы на первых трех трассах.

Таблица 1

Основные статистики законов распределения плотности лесной почвы*

Статистики, т/м ³	Трасса					
	Первая		Вторая		Третья	
	ρ_0	ρ_v	ρ_0	ρ_v	ρ_0	ρ_v
\bar{X}	0,8	0,81	0,80	0,84	0,79	0,76
$\bar{\sigma}$	0,13	0,12	0,13	0,12	0,11	0,14
X_{\min}	0,472	0,526	0,557	0,560	0,507	0,475
X_{\max}	1,01	1,08	1,246	1,27	1,12	1,00

* В таблице приняты следующие обозначения: ρ_0 – плотность почвы естественного сложения; ρ_v – плотность почвы в следе волоочащейся вершинной части пачки.

Анализ результатов исследования позволяет сделать следующие заключения. Кроны пачки деревьев при трелевке за комли не уплотняют почву, а немного рыхлят ее. Вершинная часть пачки хлыстов при трелевке за комли создает крайне низкое уплотняющее воздействие (плотность почвы увеличивается примерно на 4 %). Анализ статистик, характеризующих косость, асимметрию и крутость закона распределения, позволяет утверждать, что законы распределения плотности лесной почвы по длине волокна естественного сложения в следе волоочащейся вершинной части пачки подчиняются нормальному закону распределения. Значения статистик законов распределения плотности почвы трех трасс изменяются в узком диапазоне. Математическое ожидание плотности лесной почвы естественного сложения находится в пределах 0,76-0,80, плотности в следе вершинной части пачки – 0,79-0,84. Среднее квадратичное ожидание (СКО) для почвы естественного сложения – 0,11-0,13, в следе волоочащейся части пачки – 0,12-0,14. Следовательно, разброс математического ожидания плотности почвы естественного сложения составляет $\pm 5\%$, в следе вершинной части пачки – $\pm 4\%$.

На четвертой и пятой трассах трелевка древесины производилась пачками хлыстов за вершины. Основные статистики этих законов распределения представлены в таблице 2.

Анализ результатов этой части экспериментальных исследований позволяет утверждать, что при трелевке пачки хлыстов за

вершины будет нанесен наибольший ущерб лесной почве в виде ее уплотнения. Это можно объяснить тем, что при достаточно большой массе (более 60 % массы пачки) комлевая часть имеет небольшое пятно контакта с почвой трелевочного волокна.

Таблица 2

Основные статистики законов распределения плотности лесной почвы*

Статистики, т/м ³	Трасса			
	Четвертая		Пятая	
	ρ_0	ρ_k	ρ_0	ρ_k
\bar{X}	0,76	1,14	0,86	1,21
$\bar{\sigma}$	0,13	0,12	0,12	0,11
X_{\min}	0,51	0,99	0,54	0,81
X_{\max}	1,01	1,7	0,97	1,81

* В таблице приняты следующие обозначения: ρ_0 – плотность почвы естественного сложения; ρ_k – плотность почвы в следе волоочащейся комлевой части пачки.

Анализ статистик закона распределения позволяет сделать вывод о том, что плотность почвы в следе волоочащейся комлевой части пачки также подчиняется нормальному закону распределения. Так же, как и на первых трех трассах, значения статистик закона распределения изменяются в достаточно узком диапазоне. Математическое ожидание плотности почвы естественного сложения находится в пределах 0,76-0,86 (разброс $\pm 11\%$), а среднее квадратичное ожидание – 0,13-0,12 (разброс 7 %); математическое ожидание плотности лесной почвы в следе комлевой части пачки находится в пределах 1,14-1,21 (разброс 5,5 %), а СКО – 0,11-0,12 (разброс 7 %).

Анализ обобщающих данных по этому этапу эксперимента показал, что математическое ожидание плотности почвы естественного сложения всех пяти трасс находится в пределах 0,76-0,86 т/м³, что дает примерно 10 % разброса. При трелевке пачки древесины за комли вершинная часть волоочащейся пачки практически не уплотняет почву трелевочного волокна (максимальная степень уплотнения получена на второй трассе и составила 5 % от плотности почвы естественного сложения).

Таблица 3

Статистики закона распределения плотности почвы на второй лесосеке

Плотность почвы	Статистики, t/m^3			
	Математическое ожидание		Среднее квадратичное	
	\bar{X}	‰	$\bar{\sigma}$	‰
Естественного сложения	0,87	100	0,088	140
Плотность под комлями хлыстов	1,11	126	0,063	100
Плотность под вершинами хлыстов	0,89	102	0,074	117
Плотность под кронами деревьев	0,86	99	0,088	140

Наиболее сильное воздействие на почву трассы движения оказывает волочащаяся комлевая часть пачки древесины при трелевке вершинами вперед – среднее уплотнение в таком случае достигает 45,5 % от плотности почвы естественного сложения.

На второй лесосеке также определялась плотность почвы естественного сложения по длине трассы и плотность почвы в следе волочащейся части пачки – кроны деревьев и комлей или вершин хлыстов на трех трассах. Результаты обработки экспериментальных данных этой части эксперимента представлены в таблице 3.

Из анализа представленных в таблице 3 экспериментальных данных видно, что наибольший ущерб лесной почве наносит волочащаяся комлевая часть пачки при трелевке хлыстов за вершины. Это объясняется достаточно малым пятном контакта комлей с почвой. Кроме того, результаты экспериментальных исследований показывают, что волочащиеся кроны пачки деревьев не уплотняют почву, а в некоторой степени даже разуплотняют ее. Так, математическое ожидание плотности почвы в следе волочащихся крон тре-

люемой пачки деревьев оказалось на 0,5 % меньше, чем плотность почвы естественного сложения.

Анализ представленных данных позволяет отметить еще одну важную особенность деформирования лесной почвы, а именно – эффект его упаковки и формирования более жесткой структуры почвы. Как видно после воздействия пачки на почву, наряду с ростом значения математического ожидания плотности почвы наблюдается постепенное снижение дисперсии плотности, что свидетельствует о переходе почвы из состояния аморфной и слабосвязанной структуры к более определенной, с прогнозируемыми физико-механическими характеристиками. Этот результат хорошо коррелируется с ранее полученными данными [3, 5].

Результаты экспериментальных исследований в лабораторных условиях приведены в таблице 4, которая содержит усредненные по 5-6 измерениям (с разбросом не более 15 %) значения силы P_1 (Н), действующей на рабочую поверхность датчика с площадью s_1 для двух указанных состояний удаления тензодатчика от поверхности штампа.

Таблица 4

Экспериментальные данные при повороте штампа

Угол поворота штампа θ°	Диапазон значений P_1 при удалении датчика от штампа, мм	
	$r_1=8$	$r_1=16$
0	0-1	0-0,5
5	3-5	1-3
10	5-7,5	2-4
15	8-10	3-5

На рис. 1 представлена после обработки в Excel 2007 типичная эпюра изменения величины P_1 во времени в непосредственной близости датчика от штампа при повороте последнего на угол $\theta=15^\circ$.

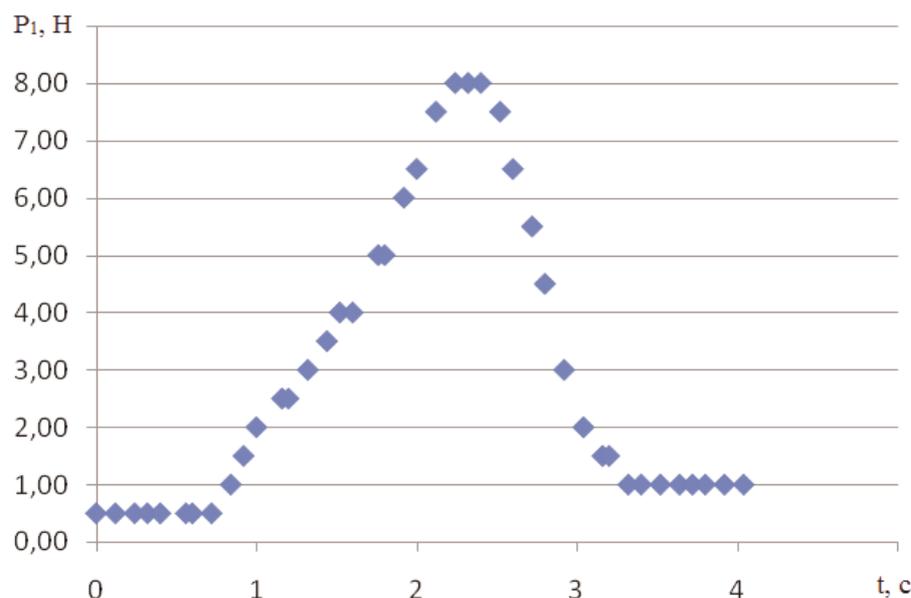


Рис. 1. Эпюра изменения силы во времени.

Из рис. 1 можно сделать вывод о том, что эпюра изменения величины P_1 описывается нормальным законом распределения. Кроме этого, рис. 1 наглядно показывает, что время нагружения почвы боковых полос трассы движения от касательных напряжений, возникающих при углах поворота пачки от 0 до 25°, соизмеримо со временем разгрузки, что позволяет производить оценку влияния цикличности нагружения на уплотнение почвы от поворотов трелеваемой пачки. Также на рис. 1 видны остаточные напряжения в почве после снятия нагрузки.

В результате обработки результатов всех этапов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Комли пачки хлыстов при трелевке за вершины и вершины хлыстов при трелевке за комли оказывают уплотняющее воздействие на почву. Математическое ожидание плотности почвы под комлем на 41-50 % больше математического ожидания плотности почвы естественного сложения. Крона при трелевке деревьев незначительно разуплотняет почву.

2. Время нагружения почвы боковых полос трассы движения от касательных напряжений, возникающих при углах поворота пачки от 0 до 25°, соизмеримо со временем разгрузки, что позволяет производить оценку влияния цикличности нагружения на уплотнение почвы от поворотов трелеваемой пачки.

3. Исследование экспериментально полученных данных показали, что под действием трелеваемой пачки древесины изменяются обе статистики закона нормального распределе-

ния плотности почвы. При этом математическое ожидание плотности почвы под воздействием комлей и вершин хлыстов растет, а дисперсия плотности почвы уменьшается. Данный факт свидетельствует о переходе почвы из состояния аморфной и слабосвязанной структуры к более определенной, с прогнозируемыми физико-механическими характеристиками.

Литература

1. Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. М.: Наука. 1981. 496 с.
2. Устройство для взятия проб почвы: пат. 32277, Рос. Федерация. № 2003113628/20; заявл. 14.05.2003; опубл. 10.09.2003, Бюл. № 25. 3 с.
3. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации / И.В. Григорьев, А.И. Жукова, О.И. Григорьева, А.В. Иванов. СПб.: ЛТА, 2008. 176 с.
4. Иванов А.В., Киселев Д.С. Разработка труднодоступных лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации // Экспериментальные и теоретические исследования в области инженерных наук: материалы конф. СПб., 2008. С. 50-51.
5. Жукова А.И. Совершенствование технологии сплошных рубок леса путем обоснования трасс и режимов работы трелевочных тракторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2006. 20 с.