

М. В. Ходосовский

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ УРАВНЕНИЯ ПРОГИБОВ ВЕРШИН
ХЛЫСТОВ

Гибкость хлыстов, т. е. зависимость величины прогиба вершины от подъемной силы, является одним из важных факторов, способствующих повышению проходимости вozов по волокам при трелевке полуподвесными установками. Экспериментальные исследования гибкости хлыстов, построенные по методу формирования трех-четырёх объемных групп для каждой породы и разряда высот, позволили получить корреляционные уравнения прогибов вершин для хлыстов объемом от 0,15 до 0,5—0,7 м³.

Обработка экспериментального материала начиналась с уточнения среднеарифметических объемов каждой объемной группы. В процессе исследований средний объем группы назначался по объему первых вошедших в нее хлыстов, вокруг которых формировалась вся группа с наибольшими принятыми отклонениями объема вводимых в нее хлыстов $\pm 3\%$, а для объема менее 0,2 м³ — $\pm 4\%$.

Для каждой объемной группы, кроме среднего объема, вычислялся и средний вес хлыста, на основании которого производился в дальнейшем параллельный контроль за средней величиной коэффициента сопротивления движению μ , вычисленного по тяговому усилию и весу каждого хлыста. Кроме того, данные о весе хлыста позволяли в некоторой степени контролировать влажность древесины (свежесрубленная или подсохшая) и в случае больших отклонений объемного веса исключать хлыст из обработки.

Материалы экспериментальных исследований по определению зависимости величины прогиба вершины от подъемной силы обрабатывались методом математической статистики. В процессе исследований вершины хлыстов поднимались на одинаковые интервалы высот через 0,1 м, в связи с чем отпадала необходимость разбивки вариационного ряда на классы. Обработка производилась по каждому интервалу высоты методом округления среднеарифметической силы. Для каждого интервала высоты подъема вершины (от 0,1 до 2 м при объеме 0,3 м³ и больше и от 0,1 до 0,15 м при объеме меньше 0,3 м³) вычислялись среднеквадратичное отклонение вариант силы, средняя ошибка среднеарифметического, коэффициент изменчивости и показатель точности. В обработку было включено 420 хлыстов, по 15—20 шт. в каждой объемной группе.

Анализ статистических величин всех объемных групп показывает, что наибольшая изменчивость среднеарифметической силы имеет место на первом и втором интервалах высоты подъема, затем она уменьшается и в дальнейшем, начиная с высоты 0,4—0,5 м, близка к постоянной для всей группы.

Если на высотах подъема вершины от 0,3—0,4 м и выше показатель точности составляет 3,5—4,5%, то на первых интервалах высот он пони-

жается до 8—10%, а в нескольких объемных группах до 15—17%. Большая изменчивость силы на малых высотах подъема присуща всем объемным группам.

Объясняется это явление относительно малыми значениями самой силы и большим влиянием на ее сбежистости вершины, естественной кривизны, сучковой зоны. По мере увеличения прикладываемой силы и подъема вершины на большую высоту влияние этих факторов уменьшается, что приводит к улучшению статистических показателей.

Для решения задач по выбору оптимального типа трелевочной установки важно иметь наиболее достоверные данные о прогибах вершин под действием сравнительно малых подъемных сил, которые функционировать на значительных протяжениях волока. Находясь на полулогарифмическую сетку точки среднеарифметических сил опытных объемных групп, убеждаемся, что все они, за исключением одной-двух нижних, достаточно точно располагаются на прямой линии. Следовательно, между высотой подъема вершин хлыстов и подъемной силой существует строгая показательная зависимость, которая выражается уравнением вида

$$y = Ce^{Pa},$$

где y — высота подъема вершины, см;

P — подъемная сила, кг;

e — основание натуральных логарифмов.

Если все точки силы, начиная с высоты подъема 0,3 м и выше, представляют на полулогарифмической сетке прямую линию, то и первые точки должны располагаться на этой линии. Графическое выравнивание одной-двух нижних точек позволяет максимально приблизиться к их истинным значениям, опытное определение которых потребовало бы огромного числа наблюдений.

Для получения данных о прогибе хлыстов тех объемов, которые находились в промежутке между объемными группами, были составлены вспомогательные графики для каждой породы и разряда высот. Один из таких графиков для ольхи II изображен на рис. 1. Одноименные точки высот подъема практически замыкаются плавными кривыми линиями, что свидетельствует о существовании определенной зависимости между высотой подъема вершины, величиной подъемной силы и объемом хлыста. Характерно, что нижние кривые по мере увеличения объема хлыста стремятся к параллельному расположению с осью абсцисс. Происходит это вследствие того, что вершины хлыстов объемом 0,3—0,7 м³ с близкими по величине диаметрами их торцов подобны между собой и при прикладывании к ним малых подъемных сил над опорной плоскостью поднимаются балки почти одинаковой длины. Основываясь на постепенном понижении крутизны нижних кривых, можно утверждать, что с увеличением объема хлыста проходимость их по волокнам будет улучшаться.

Вспомогательные графики дают возможность путем списывания с них точек силы получать данные для вывода уравнений прогиба вершины хлыстов любых объемов в пределах от 0,15 до 0,7 м³.

Параметры «С» и «а» корреляционных уравнений вычислялись методом наименьших квадратов. Для каждой породы и разряда высот вычислялось 8—10 уравнений (4 уравнения опытных объемных групп и 4—6 дополнительных уравнений промежуточных объемов, точки сил которых снимались с вспомогательных графиков).

Такое количество уравнений позволяло более точно установить

характер зависимости между их параметрами и средним объемом хлыста.

Все полученные уравнения в пределах одной породы и разряда высот различаются величиной параметра «а». Параметр «С» в уравнениях одной породы и разряда высот сохраняется практически постоянным.

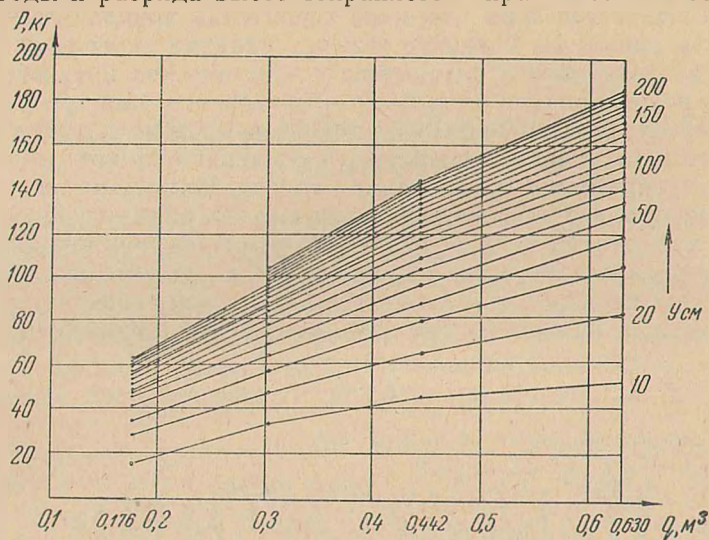


Рис. 1. Вспомогательный график прогибов вершин ольхи II.

Так, например, для ольхи II показатель точности среднеарифметического параметра «С» составляет $P = 0,44\%$. Параметр «а» имеет достаточно строгую гиперболическую зависимость от среднего объема хлыста

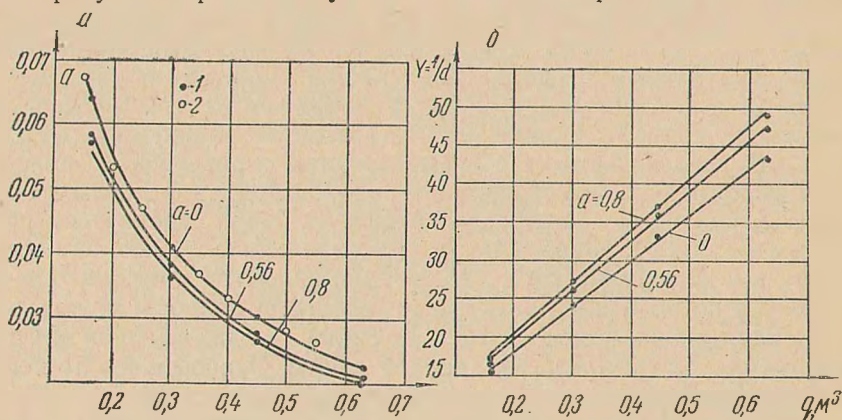


Рис. 2. Гиперболическая зависимость параметра «а» от среднего объема хлыста (ольха II)
(1 — опытные; 2 — дополнительные).

(рис. 2, а). Корреляционное уравнение связи между прогибом (высотой подъема вершин ваз) и поперечной силой имеет вид

$$y = C e^{\frac{P}{(mq+b)n}},$$

где q — средний объем хлыста, m^3 ;

n — количество хлыстов в вазе.

Остальные обозначения — параметры уравнения, приведенные в табл. 1. Параметры « m » и « b » вычислялись способом выбранных точек при помощи графиков, аналогичных тому, который изображен на рис. 2, б.

Корреляционное отношение η зависимости между прогибом вершины и подъемной силой вычислялось для опытных объемных групп способом сумм. Величина η колеблется в пределах от 0,68 до 0,83. Отношение корреляционного отношения к его ошибке во всех объемных группах больше четырех, что свидетельствует о существовании достаточно тесной корреляционной криволинейной связи между исследуемыми величинами.

Оценка пригодности эмпирической формулы производилась для всех опытных объемных групп, причем в качестве опытных сил на двух нижних интервалах высот принимались их выравненные значения. Очень малые отклонения вычисленных сил от опытных, не превышающие 3—4 кг, свидетельствуют о достаточно высокой точности корреляционных уравнений.

Материалы экспериментальных исследований по установлению зависимости между высотой подъема вершин хлыстов и поперечной силой с учетом совместного действия продольных сил, обусловленных величиной коэффициента μ , обрабатывались аналогичным образом. С целью уменьшения трудоемкости обработки интервал высот подъема вершин был принят равным 0,2 м. Соответствующая высоте подъема величина поперечной силы вычислялась по снятым с осциллограмм тяговому усилию и углу наклона каната к горизонтали. На каждый хлыст имелось две осциллограммы — одна при естественном коэффициенте $\mu_1 = 0,56$ — 0,60, вторая — при искусственно создаваемом $\mu_2 = 0,8$ (необходимая для этого тормозная сила, определяемая по формуле $P_1 = Q\gamma(\mu_2 - \mu_1)$, устанавливалась по динамометру при помощи большего или меньшего зажатия тормозной ленты во время подстрелки хлыста к экспериментальной установке). Ввиду того что протаскивание хлыстов совершалось на одном и том же участке волокна с сухим песчаным грунтом, величина μ_1 оставалась практически постоянной для каждой исследуемой породы.

Анализ статистических величин для одинаковых объемных групп показывает, что на первых интервалах высот показатель точности силы несколько улучшается в сравнении с теми низкими значениями, которые он имел при $\mu = 0$, т. е. при статическом прогибе вершин. По-видимому, здесь сказывается действие продольной силы, которая несколько выравнивает естественную кривизну продольной оси вершины при движении хлыста и тем самым уменьшает влияние этой кривизны на изменения поперечной силы в первоначальной стадии подъема. На больших интервалах высот, напротив, показатель точности среднеарифметической силы понижается в среднем на 1,5—2,5%. Ухудшение статистических величин объясняется, по-видимому, накоплением целого ряда погрешностей, неизбежных при данных исследованиях.

Анализируя параметры уравнений, вычисленные методом наименьших квадратов, устанавливаем, что 1) величина параметра « C » в уравнениях одной породы и разряда высот независимо от μ остается постоянной или изменяется в таких малых пределах, что дает полное основание принять его за константу; 2) параметр « a » в каждой объемной группе по мере увеличения μ уменьшается.

Полученные точки параметров « a » при μ_1 и μ_2 довольно точно замыкаются на графике гиперболами, концентричными гиперболе параметров « a » при $\mu = 0$. Согласно рис. 2, обнаруживается очень важное свойство показателя степени « a », которое заключается в том, что отно-

нительные изменения его величин при увеличении коэффициента μ от нуля до 0,8 не зависят от объема хлыста, т. е. сохраняются почти постоянными в пределах данной породы и разряда высот.

Между показателем степени «а» и коэффициентом μ во всех объемных группах существует прямолинейная или очень близкая к прямолинейной зависимость (рис. 3, а). Опираясь на установленную зависимость, представилось возможным преобразовать показатель степени корреляционного уравнения таким образом, чтобы оно стало универсальным для одной породы и разряда высот, т. е. было пригодным для вычислений прогибов вершин при значениях $\mu = 0-0,8$.

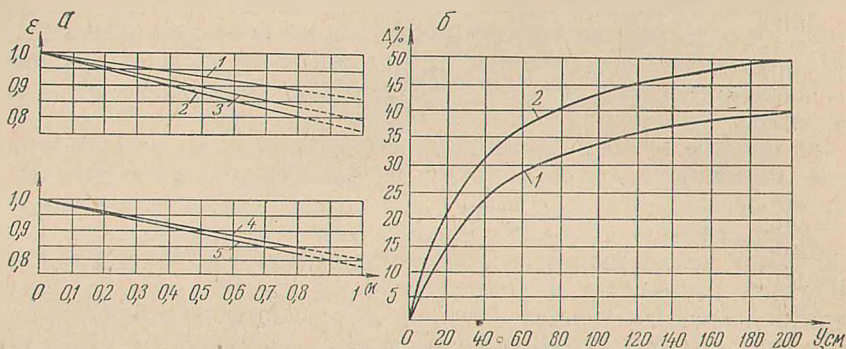


Рис. 3. Относительные изменения параметра «а» в зависимости от величины коэффициента μ (а) и изменение прогибов вершин хлыстов ели I и ольхи II при $\mu = 0,8$ в сравнении с прогибами в статике (б):

1 — ольха II; 2 — ель I; 3 — ель IV; 4 — береза III; 5 — береза II.

С этой целью, отложив по оси ординат среднеарифметические отношения ϵ показателей степени «а» для опытных объемных групп данной породы при μ_1 и μ_2 , а по оси абсцисс μ , проведем через них прямую линию. Для того чтобы избежать в показателе формулы лишней цифры 0,8, продолжим прямую до $\mu = 1$ и, решая условие, при котором три точки лежат на одной прямой, найдем соответствующую ему величину отношения ϵ . Решая уравнение прямой, получим множитель показателя степени $(1-K\mu)$.

Тогда корреляционное уравнение связи между высотой подъема вершин ваз хлыстов и подъемной силой в статике и в движении запишется в следующем виде:

$$y = Ce^{\frac{P(1-K\mu)}{n(mq+b)}}$$

Параметры уравнения прогибов вершин приведены в табл. 1, а графики прогибов представлены на рис. 4.

Оценка достоверности корреляционного уравнения устанавливалась по величине расхождений фактических данных с вычисленными при μ_1 и μ_2 . Наибольшее отклонение отдельных вариантов не превышает 4—6%, что свидетельствует о пригодности уравнения для расчетов проходимости хлыстов по волокам.

Общий вид уравнения показывает, что величина коэффициента K могла быть получена с достаточной точностью другим способом, без вычислений параметров «а» методом наименьших квадратов, если бы анализу подвергался характер зависимости не «а» и μ , а P и μ . Дей-

Таблица 1

Параметры корреляционного уравнения прогибов вершин хлыста

Порода	Разряд высот	П а р а м е т р ы				Пределы пользования уравнением		
		<i>c</i>	<i>m</i>	<i>v</i>	<i>K</i>	по объему хлыста	по коэффициенту μ	по высоте подъема вершин
Ель	I	4,89	52,11	8,25	0,228	0,15—0,70	0,8	От 5 до 200 см при объеме хлыста 0,25 м ³ .
	III	3,73	58,87	5,50	0,209	0,15—0,70	0,8	
	IV	3,08	56,98	5,40	0,198	0,15—0,70	0,8	
Береза	II	4,76	69,92	6,00	0,212	0,15—0,50	0,8	От 5 до 150 см при объеме хлыста 0,25 м ³ .
	III	3,59	67,25	6,40	0,203	0,15—0,50	0,8	
Ольха	II	2,62	56,43	7,00	0,147	0,15—0,65	0,8	

ствительно, множитель $(1 - K \mu)$ с одинаковым основанием может быть отнесен как к «*a*», так и к *P*. Исследуя относительные изменения подъем-

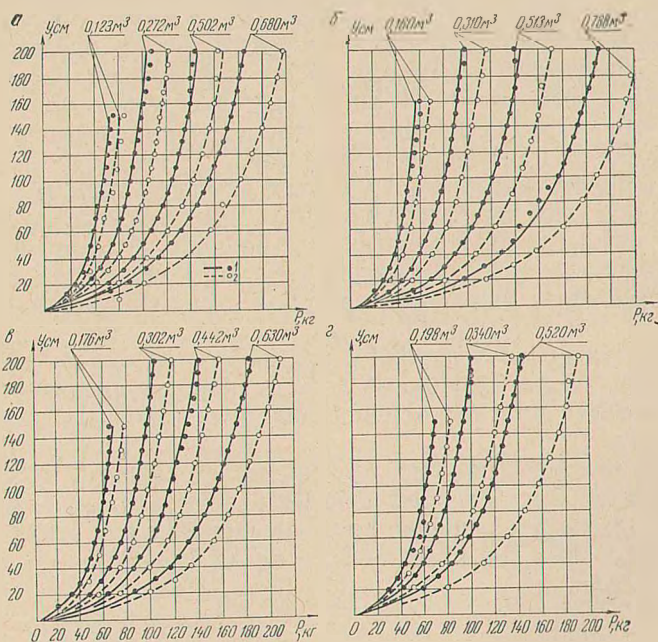


Рис. 4. Графики прогибов вершин хлыстов:

a — ель I; *b* — ель IV; *v* — ольха II; *z* — береза II (1 — в статике; 2 — в движении при $\mu = 0,8$).

ной силы *P* при μ_0, μ_1 и μ_2 , обнаруживаем, что они варьируют возле средних величин, очень близких к относительным изменениям параметра «*a*».

Характерно, что для более гибких пород ели и березы высших раз-

рядов высот коэффициент K имеет несколько большие величины. Происходит это, по-видимому, вследствие того, что одни и те же растягивающие силы оказывают большее влияние на прогиб гибкого хлыста в сравнении с менее гибкими.

Относительный прогиб вершины при одинаковых поперечных силах и увеличении μ от нуля до 0,8 изменяется в зависимости от гибкости хлыста и длины его приподнятой части.

Наглядное представление о характере изменения относительных прогибов вершин хлыстов ольхи II и ели I дает график (рис. 3, б). По оси абсцисс здесь отложены интервалы высот, по оси ординат — уменьшение прогиба (в %) при $\mu = 0,8$ в сравнении с прогибами в статике (при $\mu = 0$).

График показывает, что особенно интенсивное уменьшение относительных прогибов наблюдается в начальный период подъема, до высоты 60—80 см, т. е. на том участке, где происходят значительные приращения длины приподнятой части хлыста. При высоте подъема 80 см хлыст среднего объема уже приближается к полуподвешенному положению. Дальнейший подъем вершины приводит к очень малому увеличению длины полуподвешенной части хлыста, поскольку последний почти полностью поднят над грунтом.

Величина приращения длины приподнятой части хлыста постепенно уменьшается по мере увеличения высоты подъема, что полностью согласуется с графиками относительных изменений прогибов в зависимости от коэффициента μ . При высоте подъема 10 см длина приподнятой части хлыста среднего объема составляет порядка 3—5 м, при высоте 20 см — 4—7 м, на следующем интервале высот, т. е. при $y = 30$ см — 5—8 м и т. д. Начиная с высоты 80—90 см приращение длины приподнятой части незначительно и кривая изменений относительных прогибов на графике (см. рис. 3, б) становится более пологой.

На основании изложенного можно сделать выводы:

1. Примененный при исследованиях гибкости хлыстов метод объемных групп, основанный на тщательном подборе четырех групп одинаковых по объему хлыстов для каждой породы, позволил установить основные закономерности изменения прогибов вершин хлыстов в статике и в движении.

2. Величина прогиба вершины под действием подъемной силы изменяется в зависимости от объема хлыста, породы древесины и разряда высот. Изменение прогиба вершин для двух смежных разрядов высот незначительно.

3. Величина коэффициента μ оказывает существенное влияние на прогиб вершины. С изменением коэффициента μ от нуля до 0,8 наибольшее относительное уменьшение прогиба вершины ели I при одной и той же поперечной силе достигает 50%, а ольхи II — 33%.