

УДК 630.31; 630.37; 630*116.2; 630*181.36

КРИТИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ ОПРОКИДЫВАНИЯ ДЕРЕВЬЕВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОДОХРАНИЛИЩ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИХ В КАЧЕСТВЕ ОПОР КАНАТНОЙ СИСТЕМЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ ДРЕВЕСИНЫ

Жук А.Ю.

*ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет»,
Братск, e-mail: zhuk30@yandex.ru*

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по определению усилия опрокидывания с корневой системой (корчевания) деревьев, произрастающих на размываемых берегах водохранилищ ГЭС, для установления возможности использования их в качестве береговых опор канатных систем при эксплуатации устройств для сбора и транспортировки древесины. Это является необходимым элементом технологического процесса, ограничение по максимальному весу транспортируемой пачки лесоматериалов даёт представление о производительности машин, их технологической оснастке. Выходным параметром являлось усилие опрокидывания (корчевания). В начале проводились разведочные опыты, целью которых было получение информации о влиянии различных факторов на усилие корчевания. Установлено что факторы, значимо влияющие на величину выходного параметра, так или иначе связаны между собой. С учетом необходимости использования в регрессионных моделях только независимых факторов, а также результатов оценки коэффициентов корреляции построены регрессионные зависимости для расчета усилия корчевания от диаметра дерева на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$) как величины, оказывающей наиболее заметное влияние на искомое усилие. Прочие факторы в модели не включались, поскольку они находятся в тесной связи с диаметром $d_{1,3}$. Полученные экспериментальные зависимости позволяют с достаточной степенью достоверности определить возможность использования деревьев береговой зоны водохранилищ в качестве береговых опор канатных систем устройств для сбора и транспортировки древесины в различных грунтовых условиях.

Ключевые слова: канатная трелёвка, береговая опора, усилие опрокидывания, размываемые берега водохранилищ, «бесхозная» древесина, аварийная древесина, прибрежные акватории водохранилищ, береговая зона водохранилищ, пассивный эксперимент, уравнения регрессии

RCRITICAL EFFORTS OF CAPSIZING OF TREES OF THE COASTAL ZONE OF RESERVOIRS AT THEIR USE AS SUPPORT OF ROPE SYSTEM OF DEVICES FOR HARVESTING AND TRANSPORTATION OF WOOD

Zhuk A.Y.

Bratsk State University, Bratsk, e-mail: zhuk30@yandex.ru

Results of experimental studies on definition of effort of capsizing are presented in article with root system (rooting out) of the trees growing on the washed-away coast of reservoirs of hydroelectric power station for establishment of possibility of their use as coastal support of rope systems at operation of devices for collecting and transportation of wood. It is a necessary element of technological process, namely restriction on the maximum weight of the transported pack of forest products gives an idea of productivity of cars, their industrial equipment. Output parameter was the effort of capsizing (rooting out). At the beginning prospecting experiments which purpose was an obtaining information on influence of various factors on effort of rooting out were made. It is established that the factors which are significantly influencing the size of output parameter are anyway connected among themselves. Taking into account need of use for regression models only of independent factors, and also results of an assessment of coefficients of correlation, regression dependences for calculation of effort of rooting out on diameter of a tree at height 1,3 m ($d_{1,3}$) as the size having the most noticeable impact on required effort are constructed. Other factors didn't join in models as they are in close connection from diameters of $d_{1,3}$. The received experimental dependences will allow with sufficient degree of reliability to define possibility of use of trees of a coastal zone of reservoirs as coastal support of rope systems of devices for collecting and transportation of wood in various soil conditions.

Keywords: rope skidding, a coastal support, effort of capsizing, the washed-away coast of reservoirs, «ownerless» wood, emergency wood, coastal water areas of reservoirs, a coastal zone of reservoirs, passive experiment, the regression equations

При проектировании технологических процессов освоения древесины в береговой зоне и прибрежных акваториях водохранилищ необходимо определить критические усилия, при которых происходит опрокидывание вместе с корневой системой деревьев, произрастающих на берегах водохранилищ ГЭС, подверженных размыву в результате

воздействия колебаний уровня воды, ветровых, волновых нагрузок и абразии. Это необходимо для установления возможности использования деревьев береговой зоны в качестве опор канатной системы устройств для сбора и транспортировки древесины. Экспериментальные исследования проведены по методике, изложенной в работах [2, 6, 7].

Цель исследований – установление возможности использования деревьев береговой зоны водохранилищ в качестве опор канатной системы устройств для сбора и транспортировки древесины [3, 4, 5, 8] путём определения критического усилия, при котором происходит их опрокидывание с корневой системой.

При обработке экспериментальных данных использовалось лицензионное программное обеспечение: *Microsoft Excel 2013* и *Statgraphics Centurion XVII.1*.

В начале проводились разведочные опыты, целью которых было получение информации о влиянии различных факторов на усилие корчевания.

Для оценки влияния факторов на усилие корчевания были рассчитаны коэффициенты корреляции [1] (как с величиной усилия корчевания F , так и между собой, что было необходимо для выявления независимых факторов, используемых при составлении регрессионных моделей).

Таблица 1

Оценка значимости коэффициентов корреляции факторов в опытах по определению усилия опрокидывания дерева (порода – сосна, грунт – суглинок)

	$H_{дер}$	h	$d_{1,3}$	$B_{кр}$	$H_{бер, уст}$	$L_{об}$	$L_{бер}$	$l_{корн, max}$	$l_{корн, min}$	F
$H_{дер}$		4,18	7,56	3,34	0,46	1,16	1,62	3,95	2,31	6,49
h	4,18		2,82	1,92	1,10	0,16	0,76	1,63	1,35	2,18
$d_{1,3}$	7,56	2,82		4,08	0,36	1,77	1,84	7,06	2,73	12,53
$B_{кр}$	3,34	1,92	4,08		0,55	1,62	1,49	5,53	4,64	3,68
$H_{бер, уст}$	0,46	1,10	0,36	0,55		0,69	1,11	0,16	0,14	0,23
$L_{об}$	1,16	0,16	1,77	1,62	0,69		1,60	2,11	1,93	1,48
$L_{бер}$	1,62	0,76	1,84	1,49	1,11	1,60		1,72	1,30	1,87
$l_{корн, max}$	3,95	1,63	7,06	5,53	0,16	2,11	1,72		4,63	6,66
$l_{корн, min}$	2,31	1,35	2,73	4,64	0,14	1,93	1,30	4,63		2,34
F	6,49	2,18	12,53	3,68	0,23	1,48	1,87	6,66	2,34	

Таблица 2

Оценка значимости коэффициентов корреляции факторов в опытах по определению усилия опрокидывания дерева (порода – сосна, грунт – песок)

	$H_{дер}$	h	$d_{1,3}$	$B_{кр}$	$H_{бер, уст}$	$L_{об}$	$L_{бер}$	$l_{корн, max}$	$l_{корн, min}$	F
$H_{дер}$		4,54	2,91	3,08	1,11	0,43	0,09	9,28	5,00	5,24
h	4,54		1,48	1,50	0,27	0,59	0,63	3,27	2,29	2,42
$d_{1,3}$	2,91	1,48		4,77	1,60	0,69	1,96	3,94	4,81	5,43
$B_{кр}$	3,08	1,50	4,77		0,86	1,49	1,34	3,82	3,53	4,84
$H_{бер, уст}$	1,11	0,27	1,60	0,86		2,35	1,10	1,11	1,64	0,94
$L_{об}$	0,43	0,59	0,69	1,49	2,35		0,01	0,46	0,10	1,15
$L_{бер}$	0,09	0,63	1,96	1,34	1,10	0,01		0,58	1,09	0,91
$l_{корн, max}$	9,28	3,27	3,94	3,82	1,11	0,46	0,58		6,66	5,31
$l_{корн, min}$	5,00	2,29	4,81	3,53	1,64	0,10	1,09	6,66		4,86
F	5,24	2,42	5,43	4,84	0,94	1,15	0,91	5,31	4,86	

Таблица 3

Оценка значимости коэффициентов корреляции факторов в опытах по определению усилия опрокидывания дерева (порода – береза, грунт – суглинок)

	$H_{дер}$	h	$d_{1,3}$	$B_{кр}$	$H_{бер, уст}$	$L_{об}$	$L_{бер}$	$l_{корн, max}$	$l_{корн, min}$	F
$H_{дер}$		0,22	<u>2,87</u>	0,06	0,92	1,15	0,80	0,60	1,95	1,57
h	0,22		0,09	0,66	0,35	0,90	0,35	1,29	0,57	0,30
$d_{1,3}$	<u>2,87</u>	0,09		1,40	<u>2,87</u>	2,08	<u>2,58</u>	0,81	<u>2,73</u>	0,35
$B_{кр}$	0,06	0,66	1,40		0,90	0,57	0,89	1,66	0,46	0,63
$H_{бер, уст}$	0,92	0,35	<u>2,87</u>	0,90		<u>2,35</u>	<u>46,85</u>	1,32	<u>3,00</u>	1,45
$L_{об}$	1,15	0,90	2,08	0,57	<u>2,35</u>		2,21	0,34	1,49	1,10
$L_{бер}$	0,80	0,35	<u>2,58</u>	0,89	<u>46,85</u>	2,21		1,36	<u>2,85</u>	1,55
$l_{корн, max}$	0,60	1,29	0,81	1,66	1,32	0,34	1,36		1,78	0,54
$l_{корн, min}$	1,95	0,57	<u>2,73</u>	0,46	<u>3,00</u>	1,49	<u>2,85</u>	1,78		0,15
F	1,57	0,30	0,35	0,63	1,45	1,10	1,55	0,54	0,15	

Таблица 4

Оценка значимости коэффициентов корреляции факторов в опытах по оценке усилия корчевания (порода – береза, грунт – песок)

	$H_{дер}$	h	$d_{1,3}$	$B_{кр}$	$H_{бер, уст}$	$L_{об}$	$L_{бер}$	$l_{корн, max}$	$l_{корн, min}$	F
$H_{дер}$		0,38	1,96	0,21	2,16	0,90	1,54	0,97	0,76	1,71
h	0,38		1,47	0,15	0,89	1,04	0,89	0,23	0,10	0,65
$d_{1,3}$	1,96	1,47		1,25	<u>4,99</u>	<u>2,45</u>	0,91	0,37	0,70	<u>4,48</u>
$B_{кр}$	0,21	0,15	1,25		1,05	1,79	0,59	2,11	0,37	1,19
$H_{бер, уст}$	2,16	0,89	<u>4,99</u>	1,05		<u>2,72</u>	0,32	0,20	1,07	<u>2,68</u>
$L_{об}$	0,90	1,04	<u>2,45</u>	1,79	<u>2,72</u>		0,96	0,64	<u>3,40</u>	<u>2,69</u>
$L_{бер}$	1,54	0,89	0,91	0,59	0,32	0,96		0,60	1,27	1,60
$l_{корн, max}$	0,97	0,23	0,37	2,11	0,20	0,64	0,60		0,46	1,19
$l_{корн, min}$	0,76	0,10	0,70	0,37	1,07	<u>3,40</u>	1,27	0,46		1,12
F	1,71	0,65	<u>4,48</u>	1,19	<u>2,68</u>	<u>2,69</u>	1,60	1,19	1,12	

Полученные данные показывают, что факторы, значимо влияющие на усилие повала (корчевания), так или иначе связаны между собой. С учетом необходимости использования в регрессионных моделях только независимых факторов, а также результатов оценки коэффициентов корреляции принято решение строить регрессионные зависимости для расчета усилия корчевания от диаметра дерева на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$) как величины, оказыва-

ющей наиболее заметное влияние на искомое усилие. Прочие факторы в модели не включались, поскольку они находятся в тесной связи с диаметром $d_{1,3}$.

Для получения более точных оценок усилия повала (корчевания) были проведены дополнительные опыты с большим числом наблюдений, в ходе которых измерялись только диаметр $d_{1,3}$ и усилие корчевания. Результаты этих опытов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты опытов по определению усилия повала (корчевания) деревьев

№ п/п	Сосна, суглинок		Сосна, песок		Береза, суглинок		Береза, песок	
	$d_{1,3}$, см	F , кН	$d_{1,3}$, см	F , кН	$d_{1,3}$, см	F , кН	$d_{1,3}$, см	F , кН
1	45	84,6	39	50,5	15	26,2	24	30,7
2	41	75,7	36	46,1	17	29,7	22	30,6
3	50	90,6	43	47,1	27	34,5	23	31,5
4	38	74,5	43	54,3	17	29,3	28	31,8
5	32	58,5	39	52,5	18	29,1	25	30,3
6	34	66,1	38	48,6	17	26,1	26	32,8
7	40	72,9	39	42,2	15	26,8	25	29,3
8	40	74,5	37	43,4	26	34,4	16	25,6
9	42	81,8	34	45,2	16	26,5	17	24,3
10	38	77,8	34	44,4	20	30,9	25	30,6
11	43	85,4	40	48,3	17	28,4	16	23,6
12	40	77,8	37	44,2	19	31,4	18	25,7
13	46	85,8	42	55,1	28	34,7	18	28,1
14	49	89,2	46	52	24	33,9	19	25,1
15	31	63	45	56,5	17	27,4	28	32
16	46	88	33	37,3	23	34,3	28	33,3
17	38	72	35	43,3	28	34	29	31,2
18	40	71,7	43	51,9	15	24,6	15	24,9
19	41	80,3	44	47,9	26	33,8	15	26,5
20	36	66,5	36	43,1	24	33	30	33
21	39	74,1	33	42,2	19	30,1	16	26,4
22	33	62,8	42	48	18	27,5	16	24,5
23	40	76,8	34	36,5	17	26,7	16	24,6
24	44	79	49	56,1	26	32,7	24	28,7
25	40	73	33	43,1	23	32,7	25	31,4
26	47	91,7	38	49,2	30	33,6	30	35,5
27	50	98,2	37	45,9	29	32,9	15	24,3
28	42	82,6	41	47,2	18	30,5	21	27,5
29	41	74,8	50	59,3	25	34,9	18	27,6
30	45	82,6	31	37,2	20	29,7	23	29,4
31	39	73	46	53,9	18	28,5	30	35,2
32	48	94,1	42	47,8	28	36	17	24,8
33	48	89,1	45	51,2	15	25,6	29	32,8
34	41	81,4	30	38,1	26	33,3	22	29,3
35	38	70,3	32	39,6	23	31	27	32,9
36	49	94,2	47	55,3	29	37	21	28
37	40	71,5	44	55,1	17	29,9	29	32,3
38	50	96,7	41	50,8	18	28,3	25	31
39	46	87,5	49	53,6	26	33,1	18	27
40	32	58,9	43	50,1	22	31,5	17	26,8
41	45	84,4	31	39,1	23	32,7	17	28,1
42	33	60	40	47,5	16	28,7	18	27,8
43	47	90,5	32	37,6	28	34,4	19	28,5
44	41	77,6	50	65,5	24	32,3	20	28,7
45	49	85,5	41	51,7	18	30,7	16	26
46	31	57,5	34	38,5	18	29,2	30	31,6
47	30	52,1	49	52,3	25	33,7	24	30,9
48	37	70,4	40	50,5	27	32,5	30	33,4
49	47	88,3	45	52,3	28	33,8	25	32,3
50	36	63,4	44	48,5	21	30,3	18	27,1

Представленные выборки не содержат аномальных значений, закон распределения исследуемой величины можно считать нормальным. Графически полученные результаты представлены на рисунках.

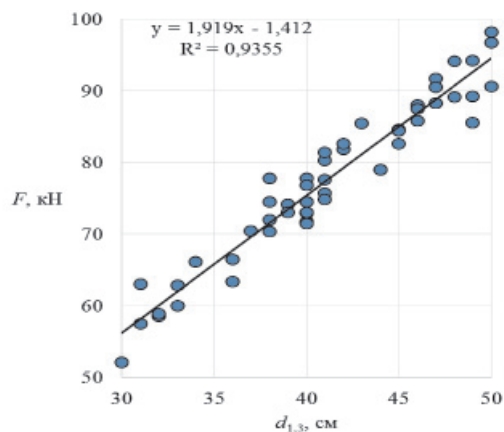


Рис. 1. Результаты опытов по оценке усилия корчевания (порода – сосна, грунт – суглинок)

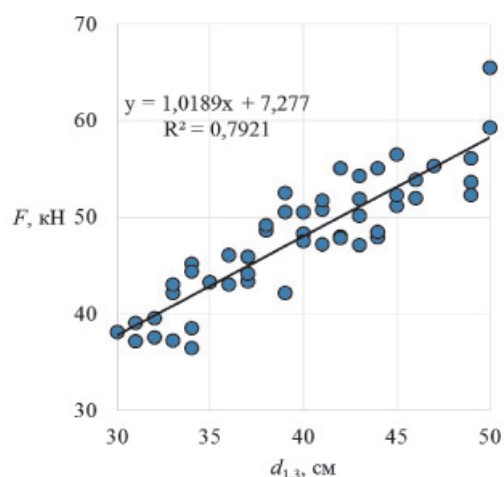


Рис. 2. Результаты опытов по оценке усилия корчевания (порода – сосна, грунт – песок)

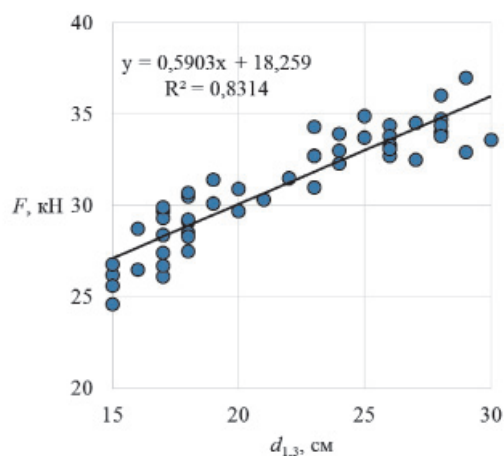


Рис. 3. Результаты опытов по оценке усилия корчевания (порода – береза, грунт – суглинок)

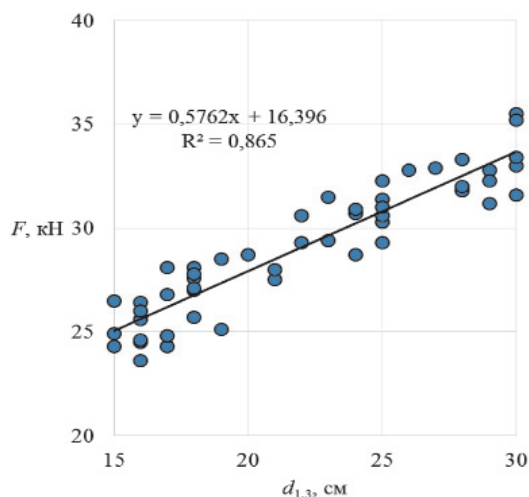


Рис. 4. Результаты опытов по оценке усилия корчевания (порода – береза, грунт – песок)

При помощи метода наименьших квадратов получены следующие регрессионные модели для оценки усилия корчевания в зависимости от диаметра дерева на высоте 1,3 м:

– сосна, суглинок ($R^2 = 9,355$):

$$F = 1,919d_{1,3} - 1,412 \pm 5,82; \quad (1)$$

– сосна, песок ($R^2 = 7,921$):

$$F = 1,5903d_{1,3} + 18,259 \pm 11,18; \quad (2)$$

– береза, суглинок ($R^2 = 8,314$):

$$F = 1,0189d_{1,3} + 7,277 \pm 7,585; \quad (3)$$

– береза, песок ($R^2 = 8,650$):

$$F = 0,05762d_{1,3} + 16,396 \pm 2,372. \quad (4)$$

Заключение

Полученные экспериментальные зависимости позволяют с достаточной степенью достоверности определить возможность использования деревьев береговой зоны водохранилищ в качестве опор канатной системы устройства для сбора и транспортировки древесины в различных грунтовых условиях.

Список литературы

1. Андреев В.Н. Математическое планирование эксперимента. – Л.: ЛТА, 1982. – 39 с.
2. Горяев А.С. Обоснование способа сбора и транспортировки аварийной древесины в береговой зоне водохранилищ: дис. ... канд. техн. наук. – Братск, 2009. – 134 с.
3. Горяев А.С., Жук А.Ю., Федяев А.А. Разработка новых способов очистки береговой зоны водохранилищ. Системы. Методы. Технологии. – 2011. – № 10. – С. 130–134.
4. Горяев А.С., Жук А.Ю. Способ доставки обожженной аварийной древесины в акваторию озер и водохранилищ и устройство для его осуществления // Патент России № 2394421. 2010. Бюл. № 20

5. Горяев А.С., Жук А.Ю., Угрюмов Б.И. Устройство для сбора обсохшей аварийной древесины с механическим захватом // Патент России № 2394422. 2010. Бюл. № 20.

6. Жук А.Ю. Обоснование и разработка технологических процессов освоения древесины в береговой зоне водохранилищ: дис. ... канд. техн. наук. – Братск, 2002. – 175 с.

7. Жук А.Ю. Методика экспериментальных исследований по определению критического усилия, при котором происходит опрокидывание деревьев на размываемых берегах водохранилищ // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3253.

8. Жук А.Ю. Агрегат для сбора и транспортировки древесины с берегов // Патент России № 88660. 2009. Бюл. № 32.

References

1. Andreev V.N. Matematicheskoe planirovanie eksperimenta. L.: LTA, 1982. 39 p.

2. Goryaev A.S. Obosnovanie sposoba sbora i transportirovki avariynoy drevesiny v beregovoy zone vodokhranilishch. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Bratsk 2009. 134 p.

3. Goryaev A.S., Zhuk A.Yu., Fedyayev A.A. Razrabotka novykh sposobov ochildki beregovoy zony vodokhranilishch. Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2011. no. 10. pp. 130–134.

4. Goryaev A.S., Zhuk A.Yu. Sposob dostavki obsokhshey avariynoy drevesiny v akvatoriyu ozer i vodokhranilishch i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya // Patent Rossii no. 2394421. 2010. Byul. no. 20.

5. Goryaev A.S., Zhuk A.Yu., Ugryumov B.I. Ustroystvo dlya sbora obsokhshey avariynoy drevesiny s mekhanicheskim zakhvatom // Patent Rossii no. 2394422. 2010. Byul. no. 20.

6. Zhuk A.Yu. Obosnovanie i razrabotka tekhnologicheskikh protsessov osvoeniya drevesiny v beregovoy zone vodokhranilishch. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Bratsk. 2002. 175 p.

7. Zhuk A.Yu. Metodika eksperimentalnykh issledovaniy po opredeleniyu kriticheskogo usiliya, pri kotorom proiskhodit oprokidyvanie derevev na razmyvaemykh beregakh vodokhranilishch // «Inzhenernyy vestnik Dona», 2015 no. 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3253.

8. Zhuk A.Yu. Agregat dlya sbora i transportirovki drevesiny s beregov // Patent Rossii no. 88660. 2009. Byul. no. 32.