

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

А. А. ЛУГА и А. С. СОЛНЦЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ 700-ЛЕТНИХ СВАЙ

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 22 II 1954)

Начало применения деревянных свай теряется в глубине веков. Природа сохранила до нашего времени деревянные сваи, забитые много тысячелетий назад. До наших дней, например, сохранились деревянные сваи озерных свайных жилищ, существовавших в неолите.

Деревянные сваи, постоянно закрытые пресной водой, а также находящиеся в грунте ниже дна водоема, практически рассматриваются как элементы с неограниченным сроком службы. В надводной части сваи подвергаются разрушению от сравнительно быстрого протекания процессов гниения. Если незащищенные деревянные сваи подвергаются естественному воздействию климата, то в результате гниения верхняя часть сваи в конечном счете падает, а часть, выходящая из воды, подвергаясь прямым воздействиям атмосферных агентов, быстро сбрасывает с себя гниль, в результате чего над водой остается сравнительно небольшой шпиль еще относительно здоровой древесины. В дальнейшем эта надводная часть также постепенно разрушается как под прямым воздействием атмосферы, так и в результате гниения. Это в общем уже медленное разрушение сваи доходит до уровня наинизшего исторического стояния воды.

Деревянные сваи, забитые на суше, в общем случае ведут себя аналогично с той только разницей, что процесс гниения распространяется до уровня наинизшего стояния грунтовых вод.

До последнего времени укоренился взгляд, что древесина, постоянно закрытая водой, независимо от того, находится ли она в водоеме или в грунте, практически не меняет своей структуры и не теряет механических свойств. Некоторые данные вынуждают по-иному подходить к оценке этого положения. В частности, мы рассматриваем случай длительного пребывания деревянных свай в грунте ниже уровня грунтовых вод.

В 1949 г. в Риге были вскрыты свайные ростверки ранее существовавших крепостных стен. Известно, что Рига была основана в 1200 г., а крепостные стены возведены к 1250 г. Таким образом, эти деревянные сваи пробыли в грунте ниже уровня грунтовых вод свыше 700 лет.

Свайные ростверки компановались из забитых частоколом сосновых и дубовых свай диаметром в 20 до 30 см, длиной от 1,5 до 2,5 м. При копке котлована головы свай были обнаружены на глубине ~ 2,5 м ниже поверхности грунта и находились на 10—25 см ниже уровня грунтовых вод (см. рис. 1). Грунт — насыщенный водой мелкозернистый песок. Часть свай нижними своими концами заходила в подстилающий пласт разнозернистого песка. Визуальный осмотр нескольких сотен извлеченных свай, продольных и поперечных их разрезов, произведенных непосредственно после извлечения свай из грунта, позволяет отметить следующие внешние изменения, происшедшие с древесиной свай.

Сосновые сваи. Древесина на глубину от 2,5 до 4 см изменилась как по своему внешнему виду, так и по механическим качествам. Будучи насыщенным водой, это наружное кольцо видоизмененной древесины напоминает пробковую кору: она упруга, легко сжимается усилием пальцев руки и вновь возвращается в прежнее положение, прочность ее резко разнится от древесины средней части ствола сваи. Этот пробкообразный слой легко отламывается как во влажном, так и в сухом состоянии. Высушенный до воздушно-сухого состояния он теряет свои резкие упругие свойства. Непосредственно к нему примыкает слой, по своим свойствам переходный между пробкообразным и древесиной ядра. Показатели механической прочности переходного слоя занимают промежуточное положение. По цвету он близок к цвету наружного пробкообразного слоя, который резко отличается от цве-

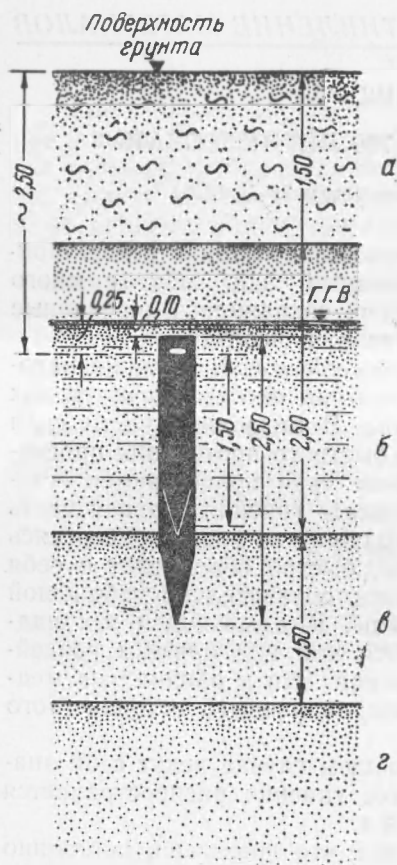


Рис. 1. Схема нахождения исследованных свай в грунте. а — суглинок иловатый темносерого цвета с растительными остатками, б — насыщенный водой мелкозернистый песок зеленовато-черного цвета, в — насыщенный водой разномзернистый песок серого цвета, г — насыщенный водой среднезернистый песок серого цвета

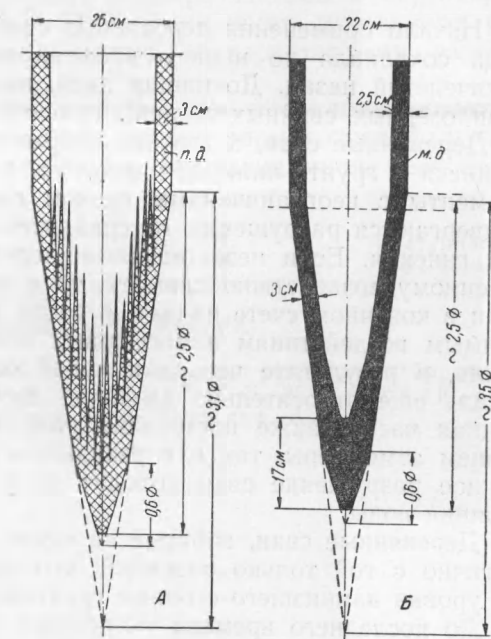


Рис. 3. Схема распространения пробковидной древесины в сосновой свае и морской в дубовой свае. А — сосна, Б — дуб; п. д. — пробковидная древесина, м. д. — мореная древесина

та древесины центральной части ствола сваи и имеет равномерный бледный серовато-бурый оттенок, контрастно отличающийся от палево-розового цвета примыкающей древесины ядра. На рис. 2 А показан воздушно-сухой образец древесины из сваи диаметром 26 см. Пробкообразный слой толщиной 3 см покрыт сетью поперечных трещин, возникших при высыхании вследствие низких механических качеств древесины этого кольца. Переходный слой имеет толщину в 1 см. Продольные радиальные разрезы ствола сваи показывают, что пробкообразный слой приурочен не только к заболонной части древесины, но и охватывает материал любой части ядра. На рис. 3 А показана схема распространения проб-

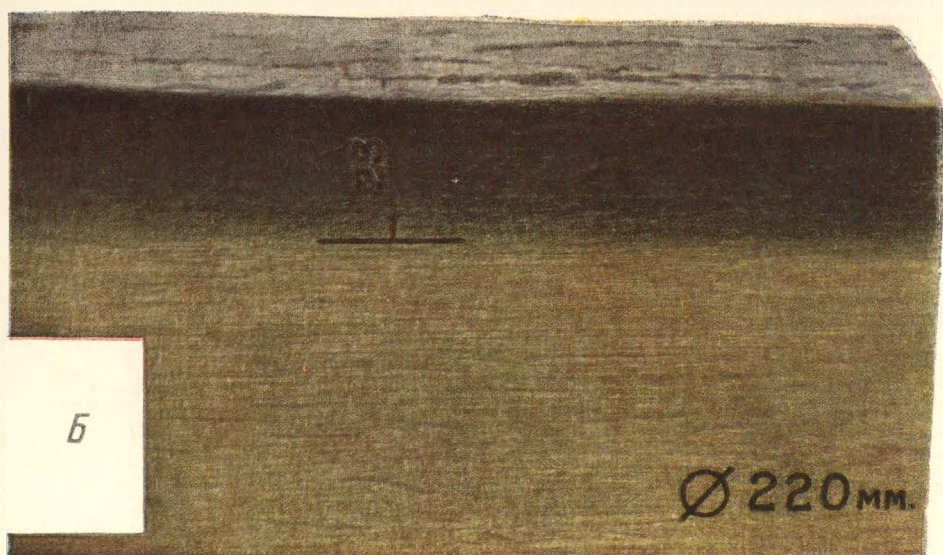
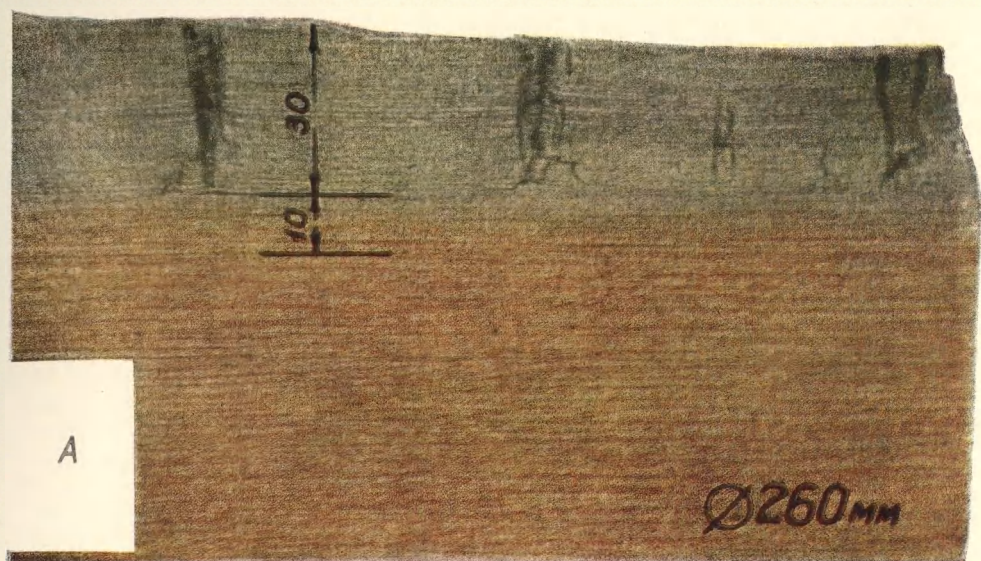


Рис. 2. Образцы, из свай: сосновый (А), дубовый (Б)

кообразного слоя: поперек волокон, по цилиндрической части тела сваи он распространяется слоем одинаковой толщины; со стороны острия сваи эти видоизменения древесины распространяются вдоль по волокнам на значительную глубину.

Дубовые сваи. Черный цвет резко выделяет мореный слой от коричневого цвета древесины центральной части ствола сваи. Продольные разрезы (рис. 2 Б) показывают, что процесс морения в пределах цилиндрической части тела сваи равномерно проник на глубину 2,5—4 см. С поверхности конуса процесс проник несколько глубже, а около острия — на глубину до 15—20 см. У дубовой сваи диаметром 22 см, разрез которой показан на рис. 3 Б, процесс морения в цилиндрической части проник на глубину 2,5 см, а около острия на глубину в 17 см.

Обращает внимание затеска свай на двойной конус (притупление конца); более 700 лет назад строителям было известно это полезное мероприятие, широко применяемое в современном строительстве.

Изменения, происшедшие с наружным слоем древесины сосновых свай, могут быть объяснены сложными и длительными процессами ее выщелачивания грунтовыми водами. Начавшийся у дубовых свай процесс морения является следствием взаимодействия растворенных в грунтовой воде солей железа с дубильными веществами древесины дуба, которые образуют соединения черного цвета. Процесс морения в данных условиях за 700 с лишним лет проник только на глубину в 2,5—4,0 см.

Значительно большая глубина проникания процессов выщелачивания и морения со стороны конусов объясняется более доступным воздействием воды вдоль волокон древесины, обнаженных при затеске свайного острия.

Основными показателями прочности для древесины свай являются величины временного сопротивления на сжатие и скалывание вдоль волокон. На рис. 4 приведены результаты механических испытаний 180 образцов древесины этих свай, а в табл. 1 — временные сопротивления в сравнении с их значениями для современной древесины, а также величины линейных усушек и объемные веса.

Временное сопротивление на сжатие вдоль волокон пробковидного слоя древесины сосны, находящегося в грунте и насыщенного водой, примерно в 10 раз меньше соответствующего сопротивления натуральной ее древесины и составляет в среднем величину ~ 20 кг/см². В воз-

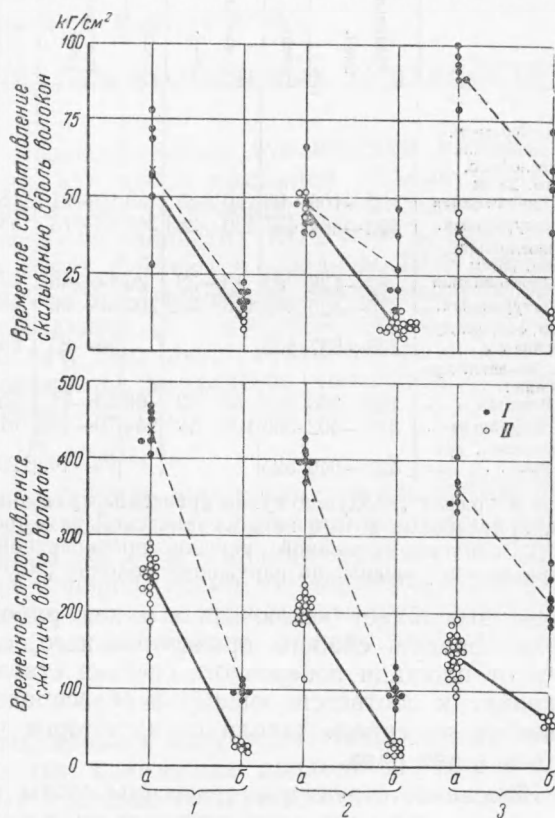


Рис. 4. Древесина: воздушно-сухая (I), насыщенная водой (II). Структура древесины: а — натуральная, б — пробковидная. Материал свай: 1 — сосна мелко-слоистая, 2 — сосна крупнослоистая, 3 — дуб

душно-сухом состоянии ее объемный вес равен объемному весу пробки. Эта резкая потеря механической прочности наружным, выщелоченным

Таблица 1

Древесина	Временное сопротивление в кг/см²								Объемный вес в г/см³ сухой древесины	Линейная усушка	
	Сжатие вдоль волокон				Скалывание вдоль волокон по тангентальной плоскости					по радиальн. направлению	по тангентальн. направлению**
	Воздушно-сухая *		Насыщенная водой		Воздушно-сухая*		Насыщенная водой				
	предельн. знач.	средн.	предельн. знач.	средн.	предельн. знач.	средн.	предельн. знач.	средн.			
Сосна, 700-летн. древесина:											
Мелкослойная, диам. 20 см											
Пробковидная	92—106	96	20—25	23	15—21	18	8,7—11,8	10	0,240	—	—
Натуральная.	402—464	437	139—283	242	28—78	58	—	—	0,562	2,4	4,1
Крупнослойная, диам. 26 см											
Пробковидная	80—128	97	13—28	20	14—46	27	3,6—13,1	7	0,265	4,6	7,0—30,0
Натуральная.	370—425	395	113—232	202	39—66	48	37,7—50,8	46	0,529	2,0	6,1
Сосна, соврем. древесины	238—637	422			35—85	64					
Дуб, 700-летн. древесина:											
Мореная . . .	188—266	218	57—63	60	53—71	55	9,0—12,5	11	0,557	6,1	12,0
Натуральная .	338—402	363	100—191	144	79—100	91	33,0—45,5	39	0,665	5,4	12,8
Дуб, соврем. древесины	420—640	525			95—145	120					

* В графах „воздушно-сухая древесина“ указаны цифры временного сопротивления, приведенные к 15% гигроскопической влажности.

** Величины линейной усушки пробковидной древесины по тангентальному направлению указаны: по наружному волокну (30,0%) и по внутреннему (7,0%).

слоем вынуждает исключать его как рабочий слой. В обследованных сваях площадь слабого пробкообразного слоя составляла в среднем 50% от площади поперечного сечения ствола сваи, что в свою очередь приводит к соответствующему перераспределению действующих напряжений в материале ствола сваи, которое через 700 лет может увеличиться в два раза.

Изменение структуры древесины сосны сказывается также и на величинах временного сопротивления на скалывание вдоль волокон, которые снижаются в 6—7 раз по сравнению с натуральной древесиной. Несколько большая прочность мелкослойной сосны по сравнению с крупнослойной сохраняется и у древесины испытанных свай.

Мореная древесина дуба имеет меньшие показатели прочности по сравнению с древесиной немореного дуба. При сжатии вдоль волокон временное сопротивление снижается примерно в 2,5 раза, при скалывании примерно в 4 раза. В данном случае обращает на себя внимание также некоторое снижение механической прочности и у немореной древесины ядра.

Для оснований под обычные сооружения возможная частичная потеря древесиной механической прочности не имеет существенного значения и может не учитываться при проектировании. Для ответственных же сооружений необходимо считаться с возможностью серьезного перераспределения напряжений с течением времени и учитывать это при проектировании фундаментов.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт железнодорожного строительства
и проектирования
Министерства путей сообщения СССР

Поступило
4 II 1954