

К проблеме реконструкции кровли древних полуземляночных жилищ (по материалам саргатской культуры)^[1]

С. В. Берлина, В. Г. Филисюк

Using method of limiting states, the authors undertook reconstruction of a roofing structure of the Sargatka semi-dug out dwellings. Subject to calculation being ultimate load on carrying roofing structures and supporting pillars. The paper describes possible options of warmth-keeping jackets, their characteristics and thickness. It defines the purpose of roofing additional pillars, namely, load redistribution from the walls. Investigation of general structure of roofing and walls showed that such construction was quite strong and would prevent from collapsing of the walls.

Материалы поселений являются одним из самых информативных источников для реконструкции системы жизнеобеспечения древнего человека. Один из важнейших элементов последней — жилище. В нем отражаются и, в свою очередь, влияют на него социально-экономический уклад общества, экологическая обстановка, сырьевая база данного региона и т. д. За многолетний период исследования памятников саргатской культуры получены значительные результаты в изучении хозяйственно-культурного типа, системы расселения ее носителей, социальной структуры саргатского общества и т. д. Освещено и домостроительство саргатского населения: выявлены архитектурные традиции, планировка, дана классификация [Корякова, 1984, 1988; Матвеева, 1993а, б, 1994, 2000], выполнены реконструкции [Матвеева, 1993б; Корякова, 1984; Чикунова, Берлина, 2003] жилищ.

Л. Н. Коряковой на основе анализа планиграфии поселения с привлечением этнографических параллелей у народов со сходным хозяйственно-культурным типом и с учетом климатической обстановки реконструировано трехкамерное жилище 2 селища Дуванское II. Если конфигурация стен данного жилища четко восстанавливается по данным планиграфии, то вопрос о строении кровли является спорным: «система расположения столбов могла сочетаться не только с четырехскатной, но и с трехскатной, двухскатной формами крыши» [Корякова, 1988]; кроме того, могли быть различные варианты утепления кровли, ее толщина.

Н. П. Матвеевой [1993б] реконструированы жилище 2 поселения Ингалинка 1: на основе анализа хорошо сохранившегося котлована восстановлен внешний облик постройки, по системе ям от столбов четко прослежена четырехскатная кровля; жилище поселения Рафайловский Остров: для него предполагается кровля облегченного типа из тонких бревен или жердей, утепленных берестой, хвоей.

Обычно исследователям удается достоверно восстановить толщину, технику сооружения стен, гораздо больше трудностей возникает при реконструкции кровли. Говоря о ее строении, опираются на анализ конструкции стен, формы жилища, его площади, функционального назначения, дополнительную информацию несут ямки от стоек, поддерживавших кровлю, их диаметр и глубина. Также привлекаются данные по домостроительству проживавших на этой территории народов со сходным хозяйственно-культурным типом, косвенным источником служат материалы могильников: способы перекрытия могил, использованный при этом материал (дерево, доски, камыш, трава и т. д.). Таким образом, кровля реконструируется с известной долей условности. Однако это одна из важнейших составляющих жилища, более тщательное изучение которой позволит судить об экологической стороне обитания: о том, каков был тепловой режим в жилище, насколько быстро оно могло выстывать, как это могло отражаться на физическом состоянии людей. Используя (наряду с другими данными) методы естественных наук, можно более точно восстановить конструкцию кровли, характер утепления, его толщину, т. е. получить дополнительную информацию о внешнем виде, назначении, длительности функционирования постройки и т. д. Такие возможности дает метод предельных состояний, применяемый при проектировочных работах.

При расчетах учитывается две группы предельных состояний: по несущей способности, ограниченной возможностями материала (дерева), и по непригодности к нормальной эксплуатации (определяется ограничением бытовых условий: прогибы, колебания, трещины и т. п., что может вызвать преждевременное обрушение кровли). Условия расчета по первой и второй группам предельных состояний можно записать соответственно в следующем общем виде: $N \leq \Phi$ и $\Delta \leq \Delta_{\max}$, где N — наибольшая нагрузка; Φ — соответственно наименьшее предельное сопротивление материала; Δ — перемещение, прогиб и другие повреждения, возникающие в результате нагрузок; Δ_{\max} — предельная деформация, перемещение, которое гарантирует нормальную эксплуатацию постройки. Нагрузки подразделяются в свою очередь на постоянные (собственный вес балок, вес и давление утеплителя — грунта, травы и т. п.) и временные (снеговой покров, вес людей; обычно при расчетах берут какую-то одну нагрузку: летом — вес человека, зимой — вес снегового покрова) [Русанов, 1987].

Нагрузки действуют на горизонтально лежащую балку и вертикальную поддерживающую стойку. Таким образом, для уточнения конструкции крыши и особенностей утепления нам нужно просчитать максимально возможные нагрузки на эти два элемента постройки. В нашем случае необязательно производить расчеты для всех несущих или поддерживающих балок, можно взять лишь те, которые испытывают максимальные

нагрузки, и проверить их на устойчивость и прочность.

Рассмотрим жилище 2 поселения Ингалинка 1 (рис. 1) и жилище поселения Рафайловский Остров (рис. 3) с хорошо сохранившимися котлованами и четкой системой ямок, по которым можно с высокой степенью надежности судить о каркасе кровли.

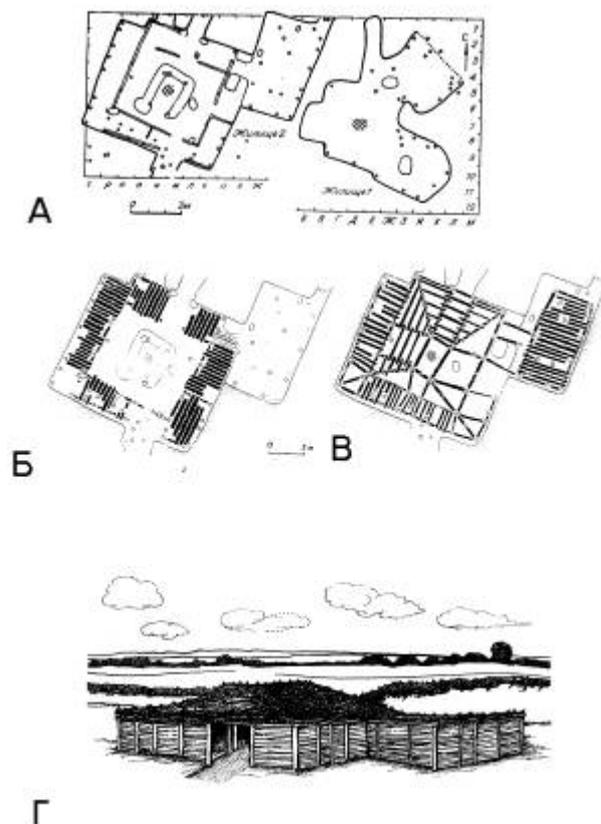


Рис. 1. Жилище 2 поселения Ингалинка 1:

А — план раскопа на поселении; Б — реконструкция жилища на уровне пола;
В — реконструкция жилища на уровне кровли; Г — внешний вид жилища
(по Н. П. Матвеевой [1936])

Жилище 2 поселения Ингалинка 1. Стены жилища возводились в технике заклада, из бревен толщиной » 20 см, примерно такой же диаметр имели поддерживавшие каркас кровли столбы, следовательно, диаметр каркасных столбов перекрытия не мог быть больше, а скорее всего был приблизительно таким же. Четырехскатное перекрытие опиралось на три последовательно вписанные прямоугольные рамы из балок, уложенных на концы вертикальных опор. Длина пролетов составляла 3,5–4 м, расстояние между угловыми опорами — около 5 м [Матвеева, 1936]. Пространство между каркасными бревнами могло забираться из притесанного кругляка, а береста, трава, камыш как утеплители — настилаться поверх жердей, верхним слоем могла быть земля. Такая структура утепления кровли и подобные зафиксированы у татар и других народов со сходным хозяйственно-культурным типом [Селезнев, 1991; Соколова, 1998].

Уточним и конкретизируем представления о строении кровли с помощью метода предельных состояний. Для расчета выберем два элемента конструкции, испытывавшие наибольшие нагрузки: вертикальную стойку А1 (рис. 2Б), имевшую наибольшую высоту, и наклонную балку Б1 (рис. 2А), имевшую наибольшую длину. Нам известны их параметры: высота стойки А1 равна предполагаемой высоте жилища, т. е. 2,5 м, ее диаметр соответствует диаметру ямки и равен 0,2 м; длина наклонной балки Б1 равна расстоянию между поддерживавшими ее стойками и составляет 3,6 м, диаметр равен 0,2–0,25 м. Также нам известны предполагаемые нагрузки: постоянные — накат из жердей ($\approx 0,06$ м диаметром), перекрытие берестой (в целях паро- и теплоизоляции, толщиной 0,002 м), слой травы как утеплителя и грунтовая засыпка; временные — снеговой покров или вес человека. Нагрузка рассчитывается на погонный метр путем умножения толщины покрытия на плотность материала и на максимальную высоту рассчитываемой площади, затем она умножается на коэффициент надежности по нагрузке, который определяется значением постройки. В результате получаем расчетную нагрузку — эта величина не должна превышать максимально допустимую, определяемую строительными нормами (табл. 1).

Таблица 1

Примерная нагрузка на наклонную балку Б1

Вид нагрузки	Реальная (нормативная) нагрузка (кгс/м)	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f	Расчетная нагрузка (кг/м)
Постоянная нагрузка			
Собственно несущая балка перекрытия	$0,113^* \times 560 \times 0,9^{**} = 56,97$	1,1	62,67
Накат из жердей, $\varnothing = 0,06$ м	$0,06 \times 560 \times 0,9 = 30,24$	1,1	33,26
Береста, $L^{***} = 0,002$ м	$0,002 \times 150 \times 0,9 = 0,27$	1,1	0,297
Трава, $L = 0,1$ м	$0,1 \times 100 \times 0,9 = 9$	1,1	9,9
Грунтовая засыпка, $L = 0,15$ м	$0,15 \times 1300 \times 0,9 = 175,5$	1,15	201,8
Временная нагрузка			
Снег, до 1м	$1 \times 100 \times 0,9 = 90$	1,4	126
Итого	361,98		433,9

* 0,113 — диаметр посередине бревна.

** 0,9 — высота рассчитываемой площади.

*** L — толщина покрытия.

Итак, 433,9 кг/м — максимальная распределенная погонная нагрузка на балку. Проверив балку по методу предельных состояний на прочность и изгиб, узнаем, реально ли было такое строение кровли, или она могла выдерживать другие нагрузки.

Проверим наклонную несущую балку на прочность. Для этого используем формулу $s = M/W \leq R_u/\gamma_n$, где s — нормальное напряжение; M — максимальный изгибающий момент (нагрузка); W — момент сопротивления сечения; R_u — нормальное сопротивление древесины, для древесины II сорта равняется 130 кгс/см; γ_n — коэффициент надежности по назначению.

Максимальный изгибающий момент M в середине балки высчитывается по формуле $M = ql^2/8$, где q — нагрузка, l — длина балки; так как нам известны эти значения, то, подставив их в формулу, получим $M = 433,9 \times 3,6^2/8 = 702,9$.

Сопротивление сечения вычисляется по формуле $W = \pi d^3/32$; подставив наши данные в формулу, получим $W = 573$. Так как мы имеем все данные, то можем вычислить, не превышает ли норма напряжение, создаваемое данной нагрузкой на балку: $s = M/W \leq R_u/\gamma_n$, т. е. $s = 70\,290/573 \leq 130/1$, или $122,7 \leq 130$.

Таким образом, условие выполняется: нагрузка немного меньше максимальной; однако запас прочности балки невелик, и значительная нагрузка могла бы вызвать обрушение конструкции, поэтому толщина предполагаемых слоев не могла быть больше.

Произведем расчет по второй группе предельных состояний, т. е. проверим балку на изгиб. Расчет производится по формуле $F = 5/384 \times ql^4/EI$, где F — глубина прогиба; I — момент инерции балки, высчитывается по формуле $I = d^4/64$. Подставив значения в формулу, получим $I = 3,14 \times 18^4/64 = 5150,4$. Модуль упругости E равен 100 000 кг/см². Реальная нагрузка q равна 361,98 кгс/м. В результате получаем $F = 5/384 \times ql^4/EI = 5/384 \times 361,98 \times 3,6^4/100\,000 \times 5150,4 = 0,0000015$.

Для нормальной работы должно соблюдаться следующее условие: $F/l \leq l/150$ (l — длина балки), т. е. отношение глубины прогиба к длине балки должно быть меньше установленной нормы. Получаем $0,0000015/360 \leq 1/150$, или $0,0000015 \leq 0,00666$. Так как условие соблюдается, то балка выполняет работу, т. е. такая конструкция вполне могла существовать без угрозы обрушения в течение длительного периода времени.

Теперь произведем расчет для вертикальной стойки А1 по методу предельных состояний. Нагрузка высчитывается путем умножения площади нагрузки на толщину покрытия и на его плотность, они нам известны по предыдущим расчетам (табл. 2). Площадь распределения нагрузки равна 3,38 м² (см. рис. 2Б).

Таблица 2

Примерная нагрузка на вертикальную стойку А1

Вид нагрузки	Реальная (нормативная) нагрузка (кгс/м ²)	Коэффициент надеж- ности по нагрузке γ_f	Расчетная нагрузка
Постоянная нагрузка			

Несущие балки, $E = 0,2$ м	$4,3 \times 0,0314 \times 560 = 75,6$	1,1	83,2
Накат из жердей, $E = 0,06$ м	$3,38 \times 0,06 \times 560 = 113,6$	1,1	124,92
Береста, $L = 0,002$ м	$3,38 \times 0,002 \times 150 = 1,014$	1,1	1,1154
Трава, $L = 0,1$ м	$3,38 \times 0,1 \times 100 = 33,8$	1,1	37,18
Грунтовая засыпка, $L = 0,1$ м	$3,38 \times 0,1 \times 1300 = 439,4$	1,15	505,31
Временная нагрузка			
Снег, до 1 м	$3,38 \times 1 \times 100 = 338$	1,4	473,2
Итого	1001,4		1224,9

Для начала проверим вертикальную стойку на прочность. Она проверяется условием $s = N/A_n \leq R_c$, где s — нормальное напряжение; N — продольная нагрузка на стойку; R_c — расчетное сопротивление древесины при сжати; A_n — площадь сечения. Устойчивость стержня сплошного сечения проверяют по формуле $s = N/(\varphi A_{расч}) \leq R_c$, где $A_{расч}$ — расчетная площадь сечения при проверке устойчивости; φ — коэффициент продольного изгиба, определяемый через гибкость элемента $\lambda = l_0/i$. При гибкости элемента $\lambda \leq 70$ он вычисляется по формуле $\varphi = 1 - 0,8 \times (\lambda/100)^2$, при гибкости $\lambda > 70$ — по формуле $\varphi = 3000/\lambda^2$. При этом $|\lambda|$ должен быть не более 120 [СНИП II-25-80]. При определении гибкости элемента $\lambda = l_0/i$ в расчет вводят приведенную (расчетную) длину — l_0 , которая зависит от характера закрепления концов стойки. В нашем случае $l_0 = 2,2l$ [Русанов, 1987]. Радиус инерции сечения для стойки круглого сечения $i = 0,25d$ [Там же]. Подставив данные в формулы, получим $i = 0,25 \times 20 = 5$; $\lambda = 250 \times 2,2/5 = 110$; так как $\lambda > 70$, то $\varphi = 3000/110^2 = 3000/12100 = 0,2479338$. Отсюда $s = N/(0,2479338 \times 314) \leq R_c$. Нагрузка $N = q = 1224,9/2 = 612,46$. Тогда $s = 612,46/77,85$; $s = 7,8$, и $7,8 \leq 130$. Таким образом, можно сделать вывод о том, что вертикальная стойка выполняла при данной нагрузке работу с большим запасом прочности (может выдержать вес в 16 раз больше имеющегося). Поэтому значительное количество стоек — по 3–4 под балку — служило скорее всего для поддержания наклонных балок, испытывавших большие нагрузки; кроме того, стойки выполняли, видимо, еще и функцию скрепления конструкции, т. е. снимали часть нагрузки от кровли со стен и тем самым обеспечивали лучшую устойчивость постройки.

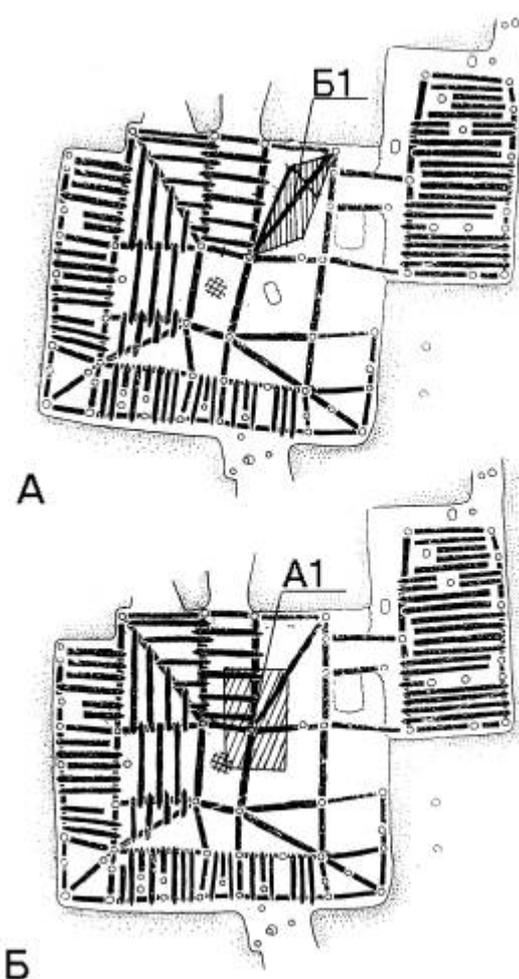


Рис. 2. Жилище 2 поселения Ингалинка 1:
 А — горизонтальная балка Б1; Б — вертикальная стойка А1
 (штриховкой показана площадь нагрузки на несущие конструкции)

Жилище поселения Рафайловский Остров. По форме оно прямоугольное, близкое к трапеции, площадью 76 м^2 (см. рис. 3). Стены и перекрытия базировались на шести линиях опорных конструкций. Так как ни одна из них не проходит через центр, то считается, что крыша была двускатной [Матвеева, 1993б]. Ввиду достаточно большого пролета — 6 м и, вероятно, значительной нагрузки на несущие балки Н. П. Матвеева предполагает кровлю облегченного типа — из тонких бревен или жердей, утепленных берестой, хвоей. Боковые пролеты могли перекрываться наклонно поставленными бревнами или жердями [Там же].

По данному жилищу можно провести аналогичные расчеты, тем более что оно отличается конструктивными особенностями: пролет больше и несущие балки не поддерживаются дополнительными стойками. Но так как мы выяснили, что вертикальные стойки могли выдерживать большие нагрузки, то произведем расчеты только для наклонной балки — в данном случае в обратном порядке: т. е. сначала рассчитаем максимально возможную нагрузку, а затем — предполагаемую.

Максимальная нагрузка определяется через соотношение $M/W \leq R_v/\gamma_n$. Так как опоры были около 20 см в диаметре, то можно предположить, что и поддерживавшие кровлю балки имели примерно такой же диаметр. Момент сопротивления для балок диаметром 20 см $W = 785$, т. е. $M/785 \leq 130/1$, отсюда $M \leq 785 \times 130 = 102\,050 \text{ кг/см}$ ($1020,50 \text{ кг/м}$). Так как $M = ql^2/8$, то нагрузка $q = 8 \times 1020,50/l^2$. Максимальная длина балки составляет 6 м, тогда $q = 8 \times 1020,50/6^2 = 226,8 \text{ кг/м}$. Итак, нагрузка не могла быть больше $226,8 \text{ кг/м}$.

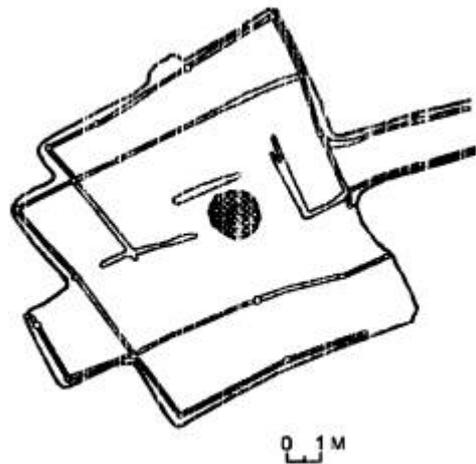


Рис. 3. Жилище поселения Рафайловский Остров

Теперь произведем примерный расчет нагрузок через их предполагаемую толщину, высоту расчетной площади и плотность (табл. 3).

Таблица 3

Примерная нагрузка на наклонную балку

Вид нагрузки	Реальная (нормативная) нагрузка (кгс/м)	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f	Расчетная нагрузка
Постоянная нагрузка			
Собственно несущая балка	$0,0314 \times 6 \times 560 = 105,5/2 = 52,7$	1,1	58
Накат из жердей, $\varnothing = 0,06$ м	$0,06 \times 2 \times 560 = 67,2/2^* = 33,6$	1,1	37
Береста, $L = 0,002$ м	$0,002 \times 2 \times 150 = 0,6$	1,1	0,7
Трава, $L = 0,3$ м	$0,3 \times 2 \times 100 = 60$	1,1	66
Временная нагрузка			
Человек	$100/2 = 50$	1,2	60
Итого	196,9		221,7

* Так как предполагается облегченный вариант кровли, то могли забирать расстояние между несущими балками через одну жердь, т. е. оставлять пробылы, поэтому делим данную нагрузку на 2.

В итоге приходим к выводу о приемлемости вышеописанного варианта утепления: накат из жердей, прослойка бересты и более толстый слой травы. Грунтовой засыпки в данном случае быть не могло, так как при ее толщине в 10 см нагрузка составила бы 260 кг/м, что уже превысило бы допустимую норму. То есть кровля действительно была облегченного типа, и максимально утеплить ее можно было только за счет увеличения слоя травы.

Таким образом, используя один из методов естественных наук, мы получили более достоверные данные о строении кровли в сооружениях древнего населения. Это позволит нам не только более точно восстановить внешний вид, но и изучить тепловой режим жилища.

Пранализировав результаты, можно заключить, что население саргатской культуры хорошо знало свойства строительного материала, имело свои строительные традиции и умело решать задачи утепления и укрепления жилища. Например, используя дополнительные опоры под несущие балки, саргатские домостроители могли достаточно хорошо утеплять кровлю, а кроме того, этот прием позволял укрепить несущую конструкцию путем перераспределения нагрузки со стен на стойки, что предупреждало опрокидывание и расползание стен. При больших пролетах в несущей конструкции кровли проблему утепления жилища могли решать путем увеличения слоя травы, хотя его и приходилось часто подновлять по мере изнашивания.

Литература

- Корякова Л. Н.* Поселения саргатской культуры // ВАН. Свердловск, 1984. Вып. 17.
- Корякова Л. Н.* Ранний железный век Зауралья и Западной Сибири. Свердловск: Урал. ун-т, 1988. 239 с.
- Матвеева Н. П.* Рафайловское городище — памятник саргатской культуры Среднего Притоболья // РА. 1993а. № 1.
- Матвеева Н. П.* Саргатская культура на среднем Тоболе. Новосибирск: Наука, 1993б. 175 с.
- Матвеева Н. П.* Ранний железный век Приишимья. Новосибирск: Наука, 1994. 152 с.
- Матвеева Н. П.* Социально-экономические структуры населения Западной Сибири в раннем железном веке (лесостепная и подтаежная зоны). Новосибирск: Наука, 2000. 399 с.
- Русанов В. М.* Строительные конструкции зданий и основы их расчета. М.: Высш. шк., 1987. 255 с.
- Селезнев А. Г.* Земляные жилища барабинских татар // Жилища народов Западной Сибири. Томск, 1991.
- СНиП II-25-80.* Ч. 2. Деревянные конструкции. М.: Госстрой СССР, 1982. 66 с.
- Соколова З. П.* Жилища народов Сибири (опыт типологии). М., 1998.
- Чикунова И. Ю., Берлина С. В.* Особенности домостроительства саргатских племен (по материалам Рафайловского комплекса) // Проблемы взаимодействия человека и природной среды. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2003. Вып. 4. С. 45–48.

Тюмень, ИПОС СО РАН,

Тюменская государственная
архитектурно-строительная академия

[1] Исследование поддержано грантом РФФИ № 01-06-80094.