



## Расчет Тросовых Висячих Покрытий В Пк Лира

**Санжар Жураев** – Преподаватель Архитектурно-строительного факультета Термезского Государственного Университета.

**Кувончбек Сатторов** – студент Архитектурно-строительного факультета Термезского Государственного Университета

### АБСТРАКТ

В данной статье показано, как рассчитать висячие конструкции Однопоясные системы с параллельными вантами с помощью программы ПК ЛИРА. В данной статье показано нить пролетом 36 м с постоянной нагрузкой, равной 6 кН/м (это соответствует тяжелой кровле из железобетонных плит при шаге параллельных вант 3 м).

This article shows how to calculate hanging structures Single-belt systems with parallel cables using the PC LIRA program. This article shows a string with a span of 36 m with a constant load of 6 kN / m (this corresponds to a heavy roof of reinforced concrete slabs with a step of parallel cables of 3 m).

### ARTICLE INFO

Received: 26<sup>th</sup> January 2023

Revised: 26<sup>th</sup> February 2023

Accepted: 30<sup>th</sup> March 2023

**KEY WORDS:** нить, ПК ЛИРА, переходной коэффициент, регулярные фрагменты и сети, неподвижная опора, нагрузка, пологая нить, усилия. Thread, PC LIRA, transition coefficient, regular fragments and networks, fixed support, load, sloping thread, efforts.

Однопоясные системы с параллельными вантами

В покрытиях на прямоугольном плане гибкие нити (ванты) располагаются параллельно с определенным шагом. Отметим, что в литературе встречается термин «пологая нить»; стрела провисания такой нити должна быть не более  $L/8$ . В этом случае нагрузка на нить мало отличается от нагрузки на хорду (горизонтальную проекцию). В ПК ЛИРА пологость нити никак не влияет на расчет, тем не менее будем рассматривать пологие нити с небольшой стрелой провисания.

Точность автоматизированных расчетов в ПК ЛИРА зависит от правильности задания расчетной схемы. В первую очередь это относится к выбору формы начального провисания нитей, а также частоте их разбивки конечные элементы.

Как известно, перемещения нити складываются из упругих и кинематических. Упругие перемещения обусловлены деформациями растяжения нити, а кинематические перемещения происходят при изменении формы ее провисания. Рекомендуется принимать начальное провисание таким образом, чтобы постоянная нагрузка не вызывала кинематических перемещений, т.е. была равновесной по отношению к начальной форме нити. Что касается временных нагрузок, то они могут быть как равновесными, так и неравновесными, но перемещения от этих нагрузок должны регламентироваться с целью сохранности кровли и подвесного оборудования.

В общем случае для пологих нитей со стрелой провеса  $f/L < 1/8$  начальное очертание принимают в виде функции  $Z = kM_6(X)$ , где  $X, Z$  – координаты узлов конечных элементов,  $M_6$  – изгибающий момент в свободно-опертой балке как функция  $X$ ,  $k$  – переходной коэффициент.

Для задания вертикальных координат узлов нити можно в ПК «ЛИРА» решить вспомогательную задачу изгиба балки, приняв для нее пролет, нагрузку и разбивку на конечные элементы такими же, как в реальной нити. Затем полученную таблицу значений  $M_6$  можно скопировать в программу Microsoft Excel, и, выполнив для нее соответствующие преобразования, получить значения ординат узлов нити. Далее создается новая задача для расчета гибкой нити с уже известными координатами узлов. Данную методику продемонстрируем на примерах.

**Пример: Нить на неподвижных опорах.**

Рассмотрим нить пролетом 36 м с постоянной нагрузкой, равной 6 кН/м (это соответствует тяжелой кровле из железобетонных плит при шаге параллельных вант 3 м).

Частота разбивки для гибких нитей рекомендуется не менее 20 на пролет, поэтому примем разбивку на 24 элемента по 1,5 м. Схему балку можно легко создать с помощью меню «Схема/Создание/Регулярные фрагменты и сети»; добавим связи опорных узлов, зададим сечение из стального двутавра и указанную выше нагрузку. Полученная схема балки показана на рис. 1.

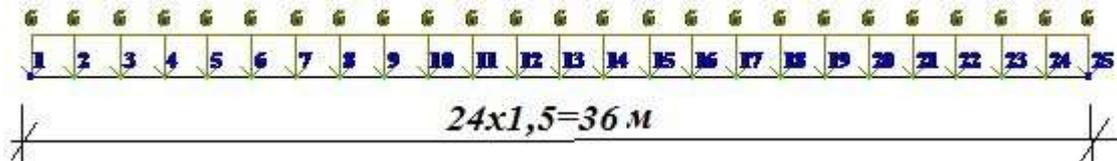


Рис. 1. Расчетная схема вспомогательной балки

Выполнив расчет, в меню «Окно/Интерактивные таблицы» выберем таблицу «Усилия», удалим в ней ненужные столбцы и строки, затем скопируем в Microsoft Excel. Выполним преобразование для стрелы провеса  $f = 3,6$  м ( $L/10$ ); полученная таблица 1 приведена ниже (с учетом симметрии значения даны только для левой половины нити).

Таблица 1. Координаты узлов нити

№ узла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X (м)	0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5	18
Z (м)	0	0.575	1.1	1.575	2	2.375	2.7	2.975	3.2	3.375	3.5	3.575	3.6

Теперь выполним расчет нити. В новой задаче введем координаты узлов, соединим их стержнями, заменим тип конечных элементов на КЭ-310 (универсальный геометрически нелинейный стержневой элемент), и зададим сечение нити из стального каната одинарной свивки ТК1х37 диаметром 20 мм с площадью сечения  $A = 2,287$  см<sup>2</sup> и модулем упругости  $E = 167000$  МПа.

Добавим связи опорного узла (неподвижная опора) и зададим указанную выше нагрузку. Затем полученную схему половины нити скопируем зеркально и получим полную расчетную схему (рис. 2). Суммарная нагрузка на элементы равна 221,62 кН; нагрузка на хорду  $6 \times 36 = 216$  кН; разница составляет 2,54%, т.е. нить достаточно пологая.

После выполнения расчета шаговым методом рассмотрим его результаты. Как показано в протоколе расчета, всего было использовано 19 шагов загрузки постоянной нагрузкой, при этом приращение нагрузки по шагам неравномерное.

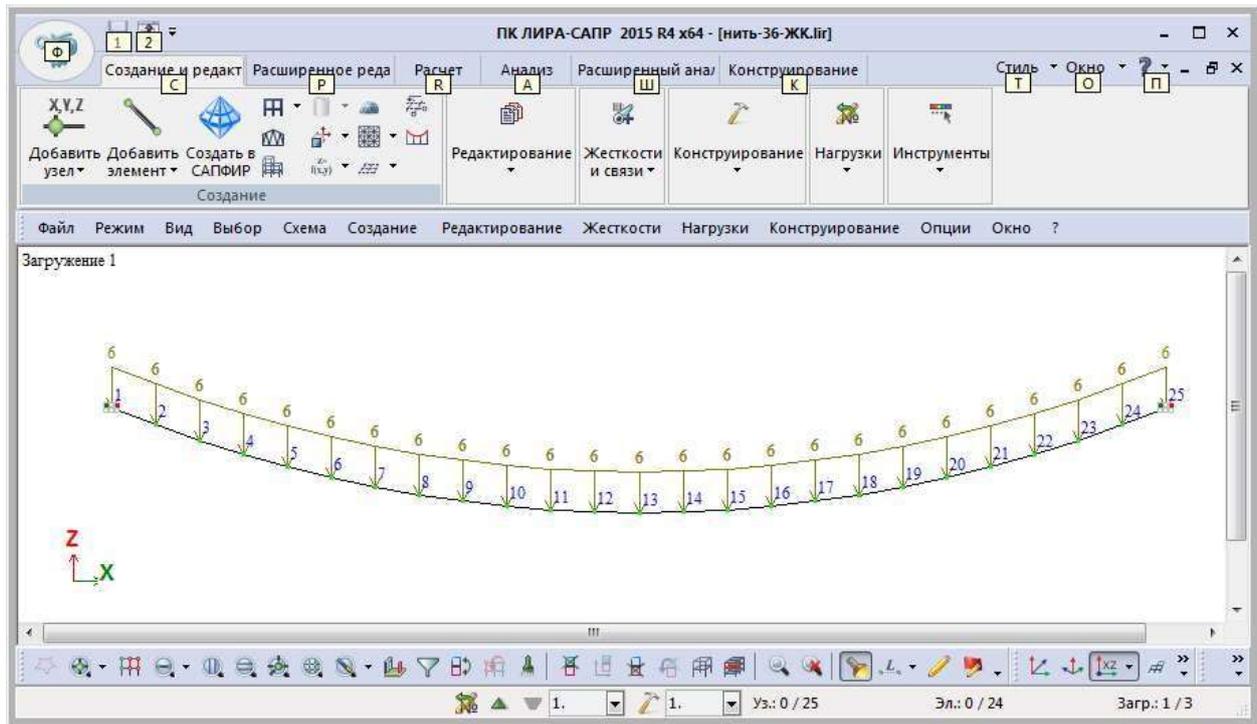


Рис. 2. Расчетная схема нити при действии постоянной нагрузки

На рис. 3 видно, что деформированная схема нити по форме не отличается от исходной, т.е. кинематические перемещения от постоянной нагрузки отсутствуют. Наибольший прогиб нити составляет 44,83 см, полная стрела провеса  $f = f_0 + f_g = 3,6 + 0,4483 = 4,0483$  м.

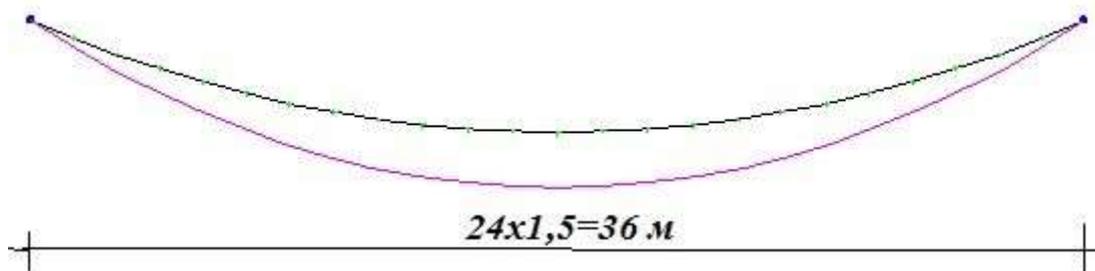


Рис. 3. Исходная и деформированная схемы нити

Проверим точность расчета. Распор нити равен

$$H = M_{b,max}/f = 972/4,0483 = 240,1 \text{ кН.}$$

Здесь максимальное значение момента  $M_{b,max}$  взято из предыдущего расчета балки. С другой стороны, распор равен горизонтальной проекции усилия в 1-ом от опоры элементе нити, то есть:

$H = N_1 \cos \alpha = N_1(X_1 - X_2)/l_1$ , где  $N_1$  – усилие в 1-ом элементе;  $X_1, X_2$  – координаты узлов 1,2, и  $l_1$  – длина 1го элемента в деформированном состоянии. Все эти данные имеются в результатах расчета; подставив их значения, получим  $265,395 \cdot (18 - 16,565)/1,5392 = 247,43$  кН.

Разница между полученными значениями распора составляет  $(247,43 - 240,1)/247,43 = 0,0296 = 2,96\%$ .

Для практических расчетов это вполне достаточная точность.

Выполним теперь полный расчет нити с учетом снеговой нагрузки. Примем снеговую нагрузку для Узбекистана равной  $0,7 \text{ кН/м}^2$ ; при шаге нитей 3 м погонная нагрузка составит  $2,1 \text{ кН/м}$  (рис. 4). При этом постоянная нагрузка будет загрузением 1, снеговая нагрузка по всему пролету – загрузением 2, и снеговая нагрузка на половине пролета – загрузением 3.

Шаговый расчет выполним для двух последовательностей нагружения – 1 и 2, 1 и 3. При этом расчет на снеговую нагрузку выполняется с учетом предыстории, т.е. по деформированному состоянию от постоянной нагрузки.

Деформированные схемы нити, полученные в результате расчета, показаны на рис. 5. Здесь видно, что равномерная снеговая нагрузка является равновесной по отношению к постоянной, а неравномерная – существенно неравновесной и вызывающей кинематические перемещения.

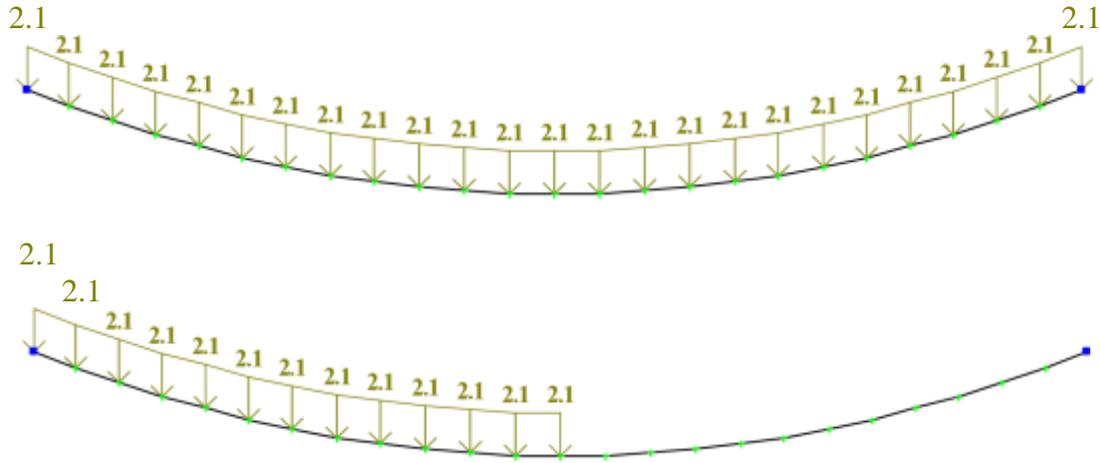


Рис. 4. Расчетная схема нити при действии снеговой нагрузки

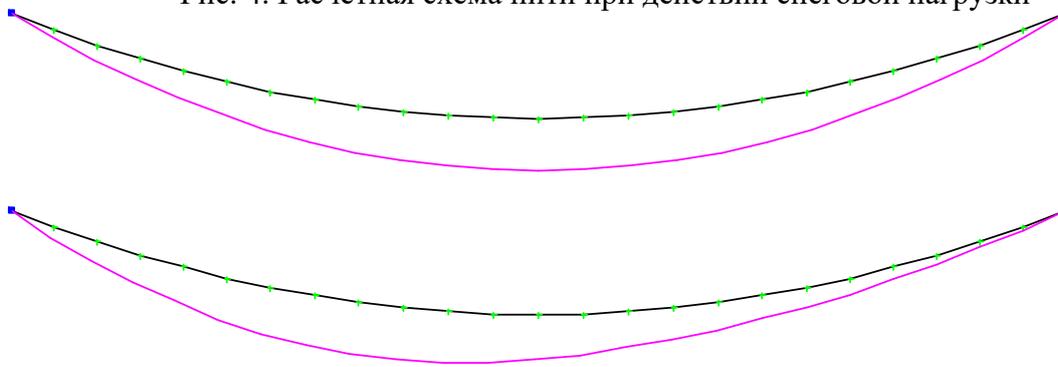


Рис. 5. Исходная и деформированная схемы нити от 1-ой и 2-ой последовательности загрузжений

Численные значения перемещений нити приведены в таблице 2. Таблица 2. Перемещения нити от нагрузок (см)

№ узла	Постоянная нагрузка	1-ая последов.		2-ая последов.	
		Снег	пост.+ снег	снег	пост.+ снег
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	6.473	1.845	8.318	4.724	11.197
3	12.590	3.594	16.184	8.881	21.471
4	18.304	5.235	23.539	12.401	30.705
5	23.571	6.753	30.324	15.213	38.784
6	28.343	8.134	36.477	17.249	45.592
7	32.580	9.365	41.945	18.447	51.027
8	36.240	10.431	46.671	18.752	54.992
9	39.288	11.321	50.609	18.116	57.404
10	41.694	12.025	53.719	16.505	58.199

11	43.431	12.533	55.964	13.896	57.327
12	44.481	12.841	57.322	10.283	54.764
13	44.832	12.944	57.776	5.673	50.505

Наибольшее перемещение от 1-ой последовательности будет в середине пролета (узел 13), а от 2-ой последовательности – в узле 10. Наибольшее перемещение от снега равно 18,752 см (узел 8, 2-ая последовательность).

Далее можно проверить прогиб нити в соответствии с принятыми нормативами, проверить прочность нити, и, при необходимости, внести необходимые коррективы в расчет.

### Список Литературы

1. <https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=12719329093599781120&btnI=1&hl=ru>
2. <https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=3006772689289341455&btnI=1&hl=ru>
3. <https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=15924369307202807868&btnI=1&hl=ru>
4. Джураев С. «Особенности расчета геометрически нелинейных конструкций в ПК ЛИРА» / Проблемы архитектуры и строительства (научно-технический журнал). Самарканд, 2021, № 3, часть 1. – 4 с.
5. Фридман Г.С., Джураев С. «Расчет двухпоясных предварительно напряженных висячих конструкций большепролетного покрытия» / Проблемы архитектуры и строительства (научно-технический журнал). Самарканд, 2022, № 1, часть 1. – 4 с.
6. Фридман Г.С., Туракулова Ш.М., Джураев С. «Расчет большепролетной цилиндрической мембраны с подкрепляющими изгибно-жесткими вантами» / Образование и наука в XXI веке. Международный научно-образовательный электронный журнал. Вып. 25, том 6, апрель 2022. – 5 с.