

## НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСОЛЬНЫХ КАБЕЛЕДЕРЖАТЕЛЕЙ ТИПА ККЧ-3; 4; 6

А.А. ФРОЛОВ, Ю.А. МОРОЗОВ, Е.Ю. ВЕРХОВ

Московский политехнический университет, Москва, Россия  
111250, Москва, ул. Большая Семеновская, 38

Экспериментальные исследования нагруженности кабеледержателей (консолей) типа ККЧ (используются в качестве опор при прокладке кабелей в проходящих колодцах) показали их чрезмерно большие размеры (толщина ребра и ложа), что приводит к излишним затратам материала при изготовлении и, как следствие, завышенной стоимости. С использованием метода конечно-элементного анализа в программном пакете Siemens NX посредством решателя NX NASTRAN рассматривается напряженное состояние кабеледержателей (консолей) типа ККЧ-3; 4; 6. В качестве геометрической модели использовалась модель сплошного твердого тела, подготовленная в пакете AutoDesk Inventor. Показана возможность уменьшения размеров консоли при сохранении допустимых нагрузок, что позволяет существенно уменьшить их материалоемкость, не меняя прочностных параметров.

Возможное уменьшение массы составляет примерно 22...24 % от первоначальной величины. Учитывая, что в настоящее время прокладываемые кабели имеют значительно меньшую массу, необходима разработка новых ГОСТов на рассматриваемый вид изделий. На основе полученных результатов целесообразно также рассмотреть вопросы перехода при изготовлении консолей на новые материалы (пластики, композиты и т.д.) с целью повышения их эксплуатационных свойств, еще большего снижения массы и возможного уменьшения стоимости.

**Ключевые слова:** кабеледержатель, метод конечных элементов, конечно-элементная сетка, программный комплекс МКЭ, оптимизация размеров

Консоли, типа ККЧ (рис. 1) [1], согласно ГОСТ 8850-80, а также ТУ 45-87-6е.413000, принятому в одном из основных поставщиков этой продукции ЗАО «Связьстройдеталь», Москва, должны изготавливаться литьем из серого чугуна марки не ниже СЧ-15 (ГОСТ 1412—85) [2].

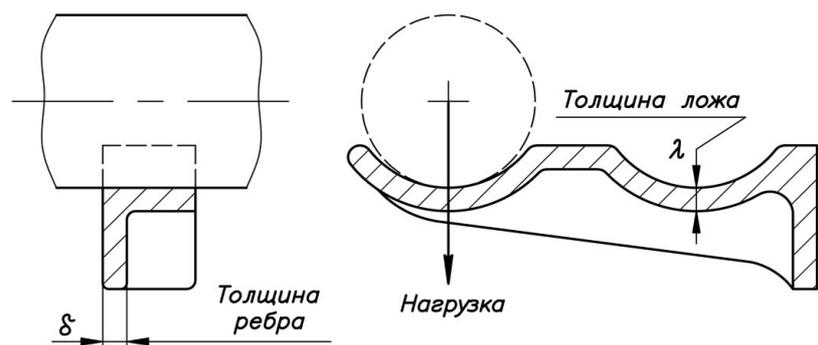


Рис. 1. Форма и размеры поперечного сечения консоли ККЧ-2

Приемка готовой партии консолей осуществляется по многим параметрам, но одним из определяющих является их механическая прочность. Для этого консоль закрепляют болтовым соединением к несущей поверхности (полностью соответствует условиям эксплуатации), а с противоположной стороны в центре крайнего ручья прикладывается сила в 160 кг (1570 Н) с выдержкой под нагрузкой в течение 10 мин. После испытания производится внешний осмотр консоли

на предмет появления трещин, механические повреждения не допускаются [3, 4].

Моделирование напряженно-деформированного состояния двухручьевой консоли ККЧ-2 (использовался комплекс программ «Ansys») показали возможность уменьшение массы детали на 23,4 % [5].

В настоящей работе проведены аналогичные расчеты других используемых типов консолей – трех-, четырех- и шестиручьевых с целью нахождения минимально возможных размеров ребра и ложа, а также массы изделий (рис. 2).

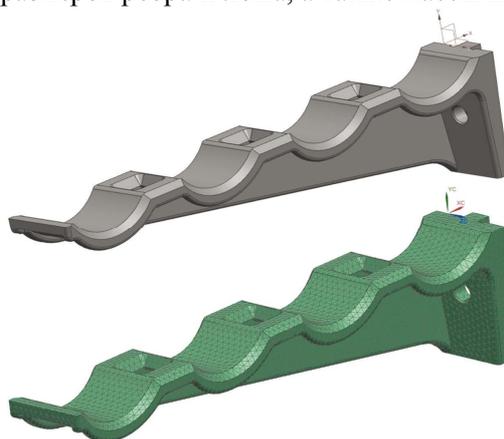


Рис. 2. Геометрическая модель (вверху) и конечно-элементная сетка (внизу) 4-х ручьевой консоли ККЧ-4

Конечно-элементная сетка (программный пакет *Siemens NX*, решатель *NX NASTRAN*) создавалась в виде трехмерных тетраэдральных элементов с 10 узловыми точками на каждом элементе размером 5 мм [6, 7]. Для всех вариантов расчетов использовались одинаковые граничные условия – ограничение в виде «заделки» на плоскости, закрепляемой консольным болтом (рис. 3).

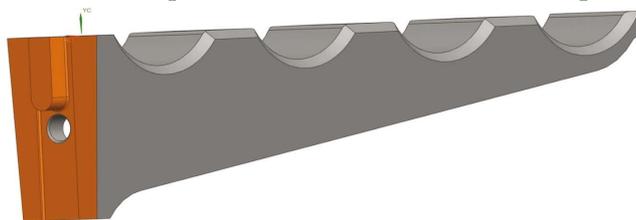


Рис. 3. Плоскость закрепление («заделка») для консоли

Стандартная сила 1570 Н прикладывается по линии в центре дальнего от заделки ложа, перпендикулярно оси консоли (рис. 4).

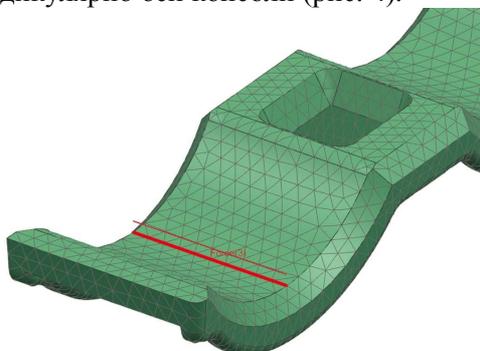


Рис. 4. Схема приложения стандартной нагрузки по центру крайнего ложа

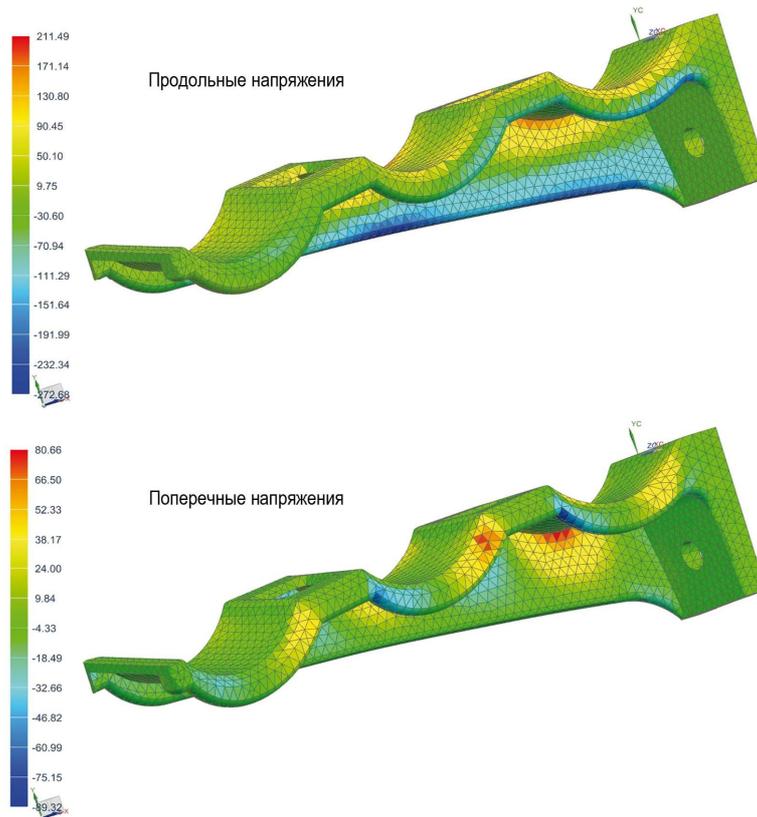


Рис. 5. Распределение напряжений (МПа) для 3-х ручьевой консоли ККЧ-3

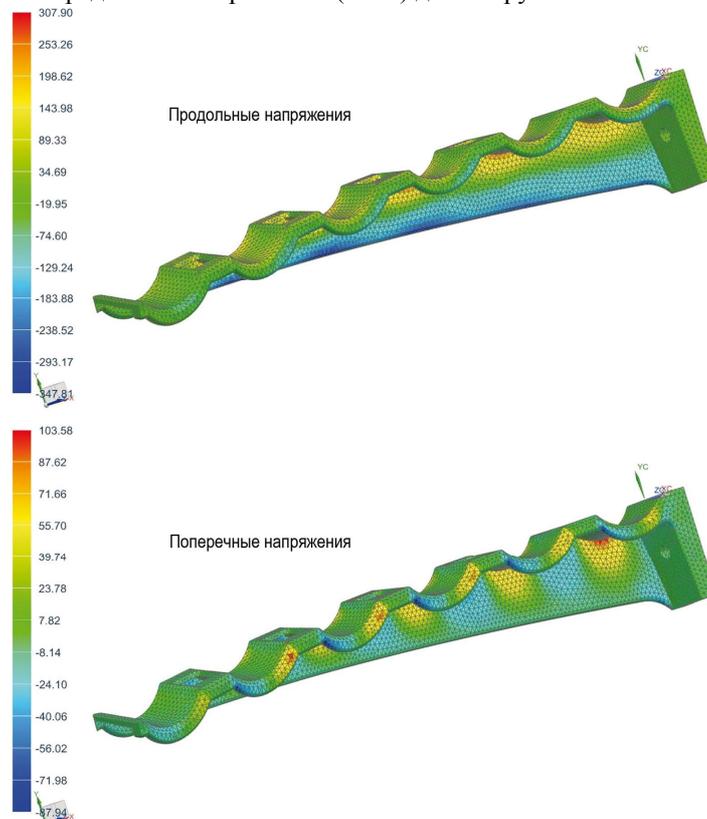


Рис. 6. Распределение напряжений (МПа) для 6-ти ручьевой консоли ККЧ-6

Для каждого вида консолей (ККЧ-3; 4; 6) были просчитаны 9 вариантов различных сочетаний толщин ребра жесткости и ложе с шагом 2 мм (табл. 1) [8]. Для самого неблагоприятного с точки зрения нагружения варианта расчета №9, ввиду минимальных толщин рассматриваемых элементов консоли, на рис. 5; 6 показаны характерные картины распределения продольных и поперечных напряжений в консолях ККЧ-3 и ККЧ-6.

Таблица 1. Варианты расчетов для исследуемых консолей

№ расчета	Материал консоли	Нагрузка, Н	Толщина	
			ребро, мм	ложе, мм
1	СЧ-20	1570	8,0	8,0
2	СЧ-20	1570	8,0	6,0
3	СЧ-20	1570	8,0	4,0
4	СЧ-20	1570	6,0	8,0
5	СЧ-20	1570	6,0	6,0
6	СЧ-20	1570	6,0	4,0
7	СЧ-20	1570	4,0	8,0
8	СЧ-20	1570	4,0	6,0
9	СЧ-20	1570	4,0	4,0

Отметим, что аналогичные по характеру распределения картины получены и для других вариантов расчета.

Сводные результаты рассмотренных вариантов расчетов консолей типов ККЧ-3; 4; 6 представлены в табл. 2-4.

Таблица 2. Результаты расчетов консоли с 3-мя ручьями ККЧ-3

№ расч.	Особенность конструкции		Продольные напряжения, МПа	Поперечные напряжения, МПа	Масса, кг
	ребро, мм	ложе, мм			
1	8,0	8,0	139,74	37,89	1,944
2	8,0	6,0	149,63	55,39	1,777
3	8,0	4,0	160,24	62,83	1,613
4	6,0	8,0	172,03	42,72	1,832
5	6,0	6,0	177,88	69,22	1,654
6	6,0	4,0	202,41	72,22	1,481
7	4,0	8,0	226,94	57,96	1,720
8	4,0	6,0	249,40	70,95	1,532
9	4,0	4,0	272,68	89,32	1,350

Таблица 3. Результаты расчетов консоли с 4-мя ручьями ККЧ-4

№ расч.	Особенность конструкции		Продольные напряжения, МПа	Поперечные напряжения, МПа	Масса, кг
	ребро, мм	ложе, мм			
1	8,0	8,0	154,55	45,91	3,186
2	8,0	6,0	165,90	59,68	2,660
3	8,0	4,0	175,91	63,86	2,434
4	6,0	8,0	192,24	47,06	2,661
5	6,0	6,0	206,61	62,90	2,419
6	6,0	4,0	222,81	72,53	2,180
7	4,0	8,0	255,20	63,06	2,434
8	4,0	6,0	288,36	74,41	2,179
9	4,0	4,0	308,50	84,08	1,928

Из анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Продольные напряжения существенно превышают поперечные напряжения.

2. Уменьшение размеров поперечного сечения приводит к росту напряжений, наиболее «опасные» продольные растягивающие напряжения возникают в верхних слоях, в то время как нижние слои остаются сжатыми.

Таблица 4. Результаты расчетов консоли с 6-ю ручьями ККЧ-6

№ расч.	Особенность конструкции		Продольные напряжения, МПа	Поперечные напряжения, МПа	Масса, кг
	ребро, мм	ложе, мм			
1	8,0	8,0	170,48	55,69	4,746
2	8,0	6,0	180,82	68,89	3,999
3	8,0	4,0	197,61	70,02	3,649
4	6,0	8,0	212,43	54,65	3,994
5	6,0	6,0	231,17	73,10	3,621
6	6,0	4,0	249,14	84,30	3,253
7	4,0	8,0	283,38	73,63	3,646
8	4,0	6,0	315,60	91,17	3,246
9	4,0	4,0	347,81	103,58	2,860

3. Для трех- четырех- и шестиручьевой консолей найдены минимально возможные значения толщин ребра жесткости и ложа ( $\delta = 6$  мм,  $\lambda = 4$  мм;  $\delta = 6$  мм,  $\lambda = 6$  мм;  $\delta = 8$  мм,  $\lambda = 4$  мм соответственно), при которых напряжения в опасных сечениях консолей находятся вблизи предела прочности для чугуна марки СЧ-20, принятого равным 200 МПа.

4. Возможное уменьшение массы составляет примерно 22...24 % от первоначальной величины. Однако учитывая большие исходные значения массы консолей ККЧ-3; 4; 6 по сравнению с ККЧ-2 абсолютные величины снижения расхода материала будут еще более значимыми.

5. Учитывая значительную потребность в указанных деталях (сотни тысяч штук в год) можно говорить о существенной экономии при их изготовлении и, как следствие, снижении цены.

В заключении укажем, что основные направления дальнейших исследований по данной тематике с нашей точки зрения должны заключаться в следующем:

- проведение проверочных экспериментальных исследований для консолей с найденными измененными геометрическими параметрами лож и ребра жесткости;

- внесение обоснованных изменений в технические условия как по предельным нагрузкам при приемке консолей, так и уменьшению размеров толщин лож и ребер жесткости.

Учитывая, что в настоящее время прокладываемые кабели имеют значительно меньшую массу желательное внесение изменений в технические условия касательно применяемых предельных нагрузок при приемочных испытаниях.

Основываясь на проведенных исследованиях, необходима разработка новых ГОСТов на рассматриваемый вид изделий.

На основе полученных результатов целесообразно также рассмотреть вопросы перехода при изготовлении консолей на новые материалы (пластики, композиты и т.д.) с целью повышения их эксплуатационных свойств, еще большего снижения массы и возможного уменьшения стоимости.

### Список литературы

1. Фролов А.А., Верхов Е.Ю., Морозов Ю.А. Экспериментальное исследование напряженного состояния конструкции консольного кабеледержателя // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 4. С. 71—75.
2. Консоли // Связьстройдеталь. Режим доступа: <http://www.ssd.ru/catalog/tile.php?ID=4172>. Дата обращения: 14.09.2017.
3. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 172 с.
4. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. М. : Изд. дом МИ-СиС, 2014. 628 с.
5. Фролов А.А., Верхов Е.Ю., Морозов Ю.А., Орлов М.А., Михайлов М.С. Моделирование напряженно-деформированного состояния консольного кабеледержателя с использованием метода конечных элементов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 6. С. 52—58.
6. Tamarozzi T., Heirman G.H.K., Desmet W. An on-line time dependent parametric model order reduction scheme with focus on dynamic stress recovery // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1 January 2014. Vol. 268. Pp. 336—358.
7. Коробко А.В., Прокуров М.Ю., Черняев А.А. Развитие технической теории расчета пластичных конструкций на основе методов геометрического моделирования их формы // Строительство и реконструкция. 2015. № 1. С. 17—21.
8. Морозов Ю.А., Верхов Е.Ю. Компьютерное моделирование : учеб. пособие. М. : МГОУ, 2011. 81 с.

#### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 2 мая 2017      Дата принятия к публикации: 5 октября 2017

#### Об авторах:

Фролов Андрей Аверкиевич, кандидат технических наук, доцент, Московский политехнический университет. *Научные интересы:* обработка металлов давлением (ОМД), формообразование деталей методами литья и ОМД. *Контактная информация:* e-mail: afrol@inbox.ru

Морозов Юрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Московский политехнический университет. *Научные интересы:* исследование и разработка с математическим обеспечением эффективных процессов обработки металлов давлением. *Контактная информация:* e-mail: akafest@mail.ru

Верхов Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Московский политехнический университет. *Научные интересы:* обработка металлов давлением, формообразование деталей листовой штамповкой. *Контактная информация:* e-mail: uv.evg.yourich@mail.ru

#### Для цитирования:

Фролов А.А., Морозов Ю.А., Верхов Е.Ю. Напряженное состояние консольных кабеледержателей типа ККЧ-3; 4; 6 // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 1. С. 57—63. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-1-57-63.

## STRESS STATE OF A CANTILEVER CABLE HOLDER OF THE TYPE CCH-3; 4; 6

A.A. FROLOV, YU.A. MOROZOV, E.YU. VERKHOV

Moscow Polytechnic University, Moscow  
38 Bolshaya Semenovskaya Street, 107023, Moscow, Russian Federation

Experimental studies of the loading of cable holders (console) type CCH, used as supports for laying cables in passing wells, showed their excessively large dimensions (the thickness of the rib and bed), which leads to unnecessary material costs in the manufacture and, as a result, overestimation. Using the finite element analysis method in the software package Siemens NX via the NX NASTRAN solver, the intense state of cable holders (consoles) of the type CCH-3; 4; 6. As a geometric model, we used the solid solid model prepared in the Auto-Desk Inventor package. The possibility of reducing the size of the console, while maintaining

load capacity, which can significantly reduce their material cost without changing the strength parameters.

The possible reduction in weight is approximately 22 ... 24% of the original value. Considering that currently laid cables have a significantly lower mass, it is necessary to develop new GOSTs for the type of products to be considered. On the basis of the results obtained, it is also advisable to consider transition issues in the manufacture of consoles for new materials (plastics, composites, etc.) in order to increase their operational properties, further reducing the mass and possibly reducing costs.

**Keywords:** cable holder, finite element method, finite element mesh, FEM software package, size optimization

## References

1. Frolov, A.A., Verkhov, E.Yu., Morozov, Yu.A. (2015). Experimental study of the stress state of the structure of the console Cable holder, *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (4), 71–75. (In Russ.).
2. ZAO «Svyaz'stroydetal». (2004). *Konsoli [consoles]*. Retrieved from: <http://www.ssd.ru/catalog/tile.php?ID=4172>. (In Russ.).
3. Bulanov, E.A., Shinkin, V.N. (2013). *Mekhanika. Vvodnyy kurs [Mechanics. Introductory course]*. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy publ. 172. (In Russ.).
4. Shinkin, V.N. (2014). *Mekhanika sploshnykh sred dlya metallurgov [Continuum Mechanics for metallurgists]*. Moscow: MISiS publ. 628. (In Russ.).
5. Frolov, A.A., Verkhov, E.Yu., Morozov, Yu.A., Orlov, M.A., Mikhaylov, M.S. (2016). Simulation of stress-strain state of the console Cable holder using the finite element method, *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (6), 52–58. (In Russ.).
6. Tamarozzi, T., Heirman, G.H.K., Desmet, W. (2014). An on-line time dependent parametric model order reduction scheme with focus on dynamic stress recovery. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, (268), 336–358.
7. Korobko, A.V., Prokurov, M.Yu., Chernyaev, A.A. (2015). Development of the technical theory calculation of plate structures based on the methods of geometrical modeling their shape. *Building and reconstruction*, (1), 17–21. (In Russ.).
8. Morozov, Yu.A., Verkhov, E.Yu. (2011). *Komp'yuternoe Modelirovanie [Computer simulation]*. Moscow: MGOU publ. 81. (In Russ.).

**Article history:** Received: May 2, 2017

Revised: September 12, 2017

Accepted: October 5, 2017

### About the authors:

*Andrey A. Frolov*, Candidate of Engineering Science, graduated from the Moscow Institute of Steel and Alloys (MISiS). At present he is an assistant professor at the Moscow Polytechnic University. *Scientific interests:* metal working with pressure (OMD), molding of parts by casting methods and OMD. *Contact information:* e-mail: afrol@inbox.ru

*Yury A. Morozov*, Candidate of Engineering Science, graduated from the Moscow State Evening Metallurgical Institute. At present he is an assistant professor at the Moscow Polytechnic University. *Scientific interests:* research and development with mathematical support of effective processes of metal working with pressure. *Contact information:* e-mail: akafest@mail.ru

*Evgeniy Y. Verkhov*, Candidate of Engineering Science, graduated from the Moscow state machine-building university (MAMI). At present he is an assistant professor at the Moscow Polytechnic University. *Scientific interests:* metal forming, shaping of parts by sheet stamping. *Contact information:* e-mail: uv.evg.yourich@mail.ru

### For citation:

Frolov, A.A., Morozov, Yu.A., Verkhov, E.Yu. (2018). Stress state of a cantilever cable holder of the type CCH-3; 4; 6. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 14(1), 57–63. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-1-57-63.