

УДК 627.8

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕСУЩИХ РОЛИКОВ  
ПРОДОЛЬНО-ПОТОЧНОЙ МИКРОГЭС ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗАДАННОЙ УКЛАДКИ**

*В.Г. Краснов*

Рассматривается задача повышения надежности гидроустановки оптимизацией её ведущих элементов – роликов, с использованием среды конечно-элементного моделирования «Femap 10.3», основанной на программе-решателе «Nastran», которая позволяет проанализировать многослойные ортотропные тела с произвольной укладкой слоев.

*Ключевые слова:* ролик; цилиндрическая поверхность; композиционный материал; прочность; технологичность; ресурс.

**INCREASE OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF BEARING ROLLERS  
LONGITUDINAL-FLOW MICRO HYDROPOWER STATION THROUGH  
THE USE OF COMPOSITE MATERIALS OF THE GIVEN STACKING**

*V.G. Krasnov*

This article discusses the problem of increasing reliability of hydro optimization of its main elements – rollers, with use of a system of finite element modeling "Femap 10.3", based on the program-solver "Nastran", which allows to analyze multilayer orthotropic body with arbitrary stacking layers.

*Keywords:* roller; the cylindrical surface; composite material; durability; manufacturability; resource.

К задачам инженерного анализа и синтеза конструкции, в частности энергетических установок, следует отнести такие требования, как бесперебойное функционирование в течение длительного периода эксплуатации. Эти требования продиктованы особыми условиями их эксплуатации в водной среде.

В разрабатываемой конструкции [1] рабочий орган – ролик выполнен в виде трубчатого элемента (рисунок 1), поэтому обеспечение необходимых его прочностных и эксплуатационных характеристик приобретают особую значимость.

В процессе длительной эксплуатации под действием нагрузок от воздействия окружающей среды (скоростного напора от потока жидкости) и внутренней гидродинамической нагрузки, ролики подвержены усталостному разрушению, при этом понижаются их главные эксплуатационные характеристики, в том числе и ресурс изделия. Проектирование высокоэффективных и долговечных роликов из металлов затруднено пониженной коррозионной стойкостью при увеличении их массы [2].

Участки концентрации напряжений, находящиеся по углам прорезей в роликах, являются, пожалуй, наиболее подверженными коррозии местами в конструкции, что может привести не только к снижению ресурса изделия, но и к полному отказу всей системы.

В выборе материала для изготовления роликов был исследован опыт, накопленный Всероссийским институтом авиационных материалов по созданию и использованию волоконных композиционных материалов. Такие разработки ведутся и компанией АО «Препрег-СКМ». DNV-GL сертифицировала основные углеродные и гибридные (с добавлением стеклянных волокон) мультиаксиальные ткани.

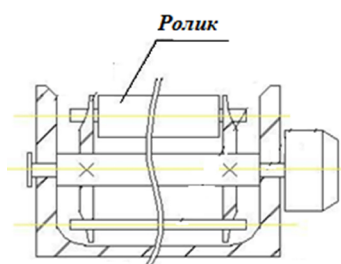


Рисунок 1 – Ролики в конструкции гидроэлектрической установки

--- Top of Layup ---					Total Thickness = 4,2
Ply ID	Global Ply	Material	Thickness	Angle	
21		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
20		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
19		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
18		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
17		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
16		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
15		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
14		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
13		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
12		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
11		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
10		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
9		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
8		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
7		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
6		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
5		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
4		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
3		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	
2		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	90.	
1		2..КМКС-2 м.120. Т60	0.2	0.	

Рисунок 2 – Укладка монослоев стекловолокна КМКС-2м.120.Т60

--- Top of Layup ---					Total Thickness = 4,2
Ply ID	Global Ply	Material	Thickness	Angle	
21		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	90.	
20		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
19		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	0.	
18		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
17		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	90.	
16		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
15		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	0.	
14		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
13		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	90.	
12		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
11		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	0.	
10		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
9		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	90.	
8		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
7		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	0.	
6		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
5		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	90.	
4		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
3		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	90.	
2		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	-45.	
1		3..КМКС-2 м.120. Т64	0.2	0.	

Рисунок 3 – Укладка монослоев стеклоткани КМКС-2м.120.Т64

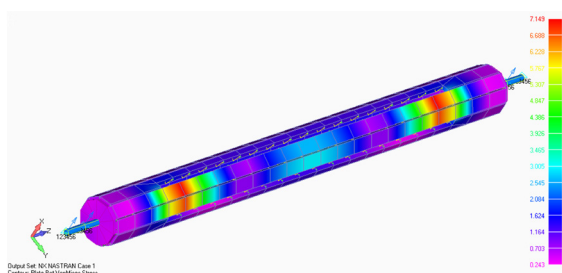


Рисунок 4 – Напряжения в ролике, выполненном из материала АМГ-2

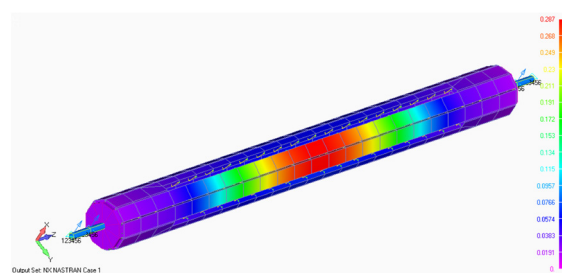


Рисунок 5 – Деформации в ролике, выполненном из материала АМГ-2

Производство этих материалов налажено. Обладание международными сертификатами значительно расширяет возможности компании «Препрег-СКМ» для различных областей промышленности и в частности, для ветроэнергетики и гидроэнергетики.

При использовании в конструкции роликов волокнистых композиционных материалов и рациональной укладки монослоев, могут быть достигнуты следующие показатели:

- увеличение срока службы;
- увеличение прочностных и ресурсных параметров;
- повышение коррозионной стойкости;
- снижение веса;
- простота эксплуатации и ремонта поверхностей листовых тел и труб;
- повышение коррозионной стойкости изделий;
- повышение прочностных характеристик при рациональной укладке монослоев;
- повышение ресурса и долговечности изделия.

Однако стоит заметить, что конструкции из волокнистых композиционных материалов обладают и рядом недостатков по сравнению с металлами:

- малая ударная прочность;
- сравнительно большие удельные деформации.

Выявление эффективности замены традиционных роликов металлических конструкций на композиционные, прежде всего в особенно нагруженных механизмах и системах, к которым можно отнести и проектируемую установку, делает решение этой задачи весьма актуальным.

В статье приведены результаты исследований прочностных и ресурсных показателей роликов, находящихся в потоке жидкости, выполненных из различных материалов: критического напряжения при общей и местной потере устойчивости, максимальных деформаций. В результате исследований была подобрана наиболее рациональная укладка волокнистых композиционных материалов, кото-

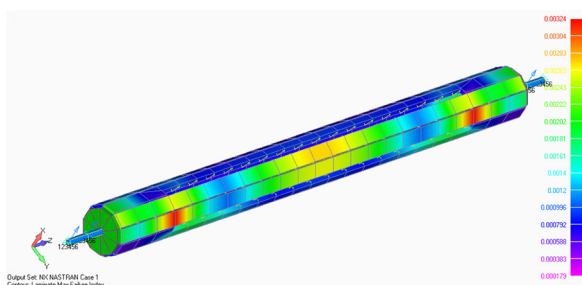


Рисунок 6 – Критерий разрушения по Хоффману для ролика, выполненного из материала КМКС-2м.120.Т60 (укладка 1)

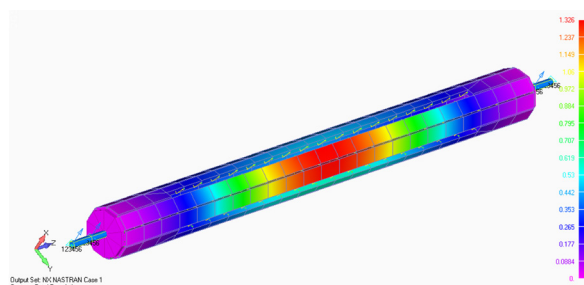


Рисунок 7 – Деформации ролика, выполненного из материала КМКС-2м.120.Т60 (укладка 1)

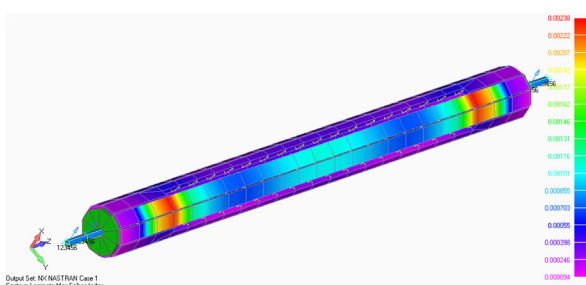


Рисунок 8 – Критерий разрушения по Хоффману для ролика, выполненного из материала КМКС-2м.120.Т64 (укладка 2)

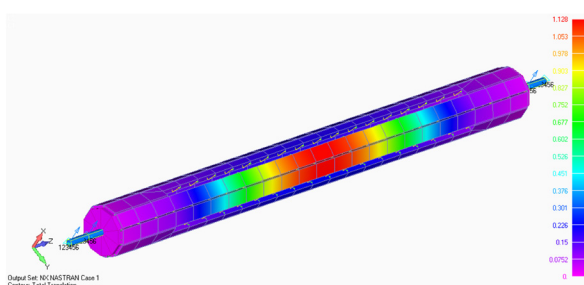


Рисунок 9 – Деформации ролика, выполненного из материала КМКС-2м.120.Т64 (укладка 2)

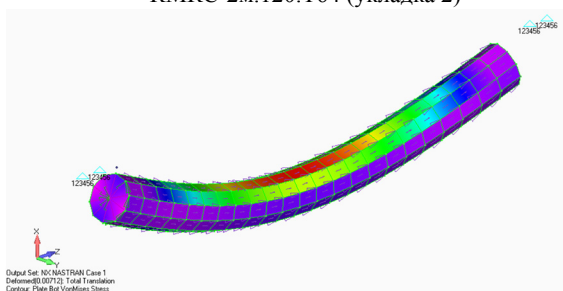


Рисунок 10 – Видимая картина деформации ролика, выполненного из материала КМКС-2м.120.Т64 (укладка 2)

рая повышает прочностные характеристики проектируемого изделия.

Проблема малой ударной прочности может быть решена установкой защитной сетки, преграждающей путь крупным предметам, способным вызвать большую ударную нагрузку.

Были проведены проектировочные расчеты возможных деформаций. Учитывалось, чтобы деформации, образуемые в роликах, находились в допустимых эксплуатационных пределах, т. е. не нарушали работу всей установки. Стоит отметить, что подобные деформации не обязательно должны вызвать разрушение конструкции и привести к остаточным дефектам.

Как правило, расчет волокнистых композиционных материалов, являющихся ортотропными ма-

териалами, очень трудоемок и требует обработки больших массивов данных. Применение современных CAD технологий, а также конечно-элементного метода позволяет осуществить подбор рациональной укладки для выбранного композиционного материала, а также получить видимые картины напряжений и деформаций на стадии эскизного проекта.

При решении поставленной задачи использовалась среда конечно-элементного моделирования «Femap 10.3», основанная на программе-решателе «Nastran», которая позволяет проводить анализ многослойных ортотропных тел с произвольной укладкой слоев [3, 4]. Высокая степень сходности с теорией сопротивления материалов, удобный пользовательский интерфейс, а также наглядность полученных результатов делают данный продукт востребованным при проведении инженерных расчетов различного уровня.

Проведён анализ роликов диаметром 20 мм, длиной 500 мм, толщиной 4,2 мм, состоящих из следующих материалов:

- 1) алюминиевый сплав АМГ-2, ГОСТ 18482–79;
- 2) стекловолокно КМКС-2м.120.Т60 с укладкой слоев № 1 (рисунок 2);
- 3) стеклоткань КМКС-2м.120.Т64 с укладкой слоев № 2 (рисунок 3).

Исследуемый ролик был шарнирно оперт в трех (X,Y,Z) направлениях. На него действует ги-

гидравлический поток с постоянной скоростью овала 10 м/с, что в пересчете на нагрузку составляет (1):

$$P = \rho v^2 / 2 = 100 \cdot 10^2 / 2 = 5000 \text{ кг/м}^2 = 0,005 \text{ кг/мм}^2, \quad (1)$$

где  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3 \approx 100 \text{ кг сек}^2/\text{м}^4$  – плотность воды.

Представленная на рисунках 2 и 3 укладка монослоев волокна получена в результате мульти-итерационного подбора их рациональной конфигурации.

В результате проведенного конечно-элементного анализа получены следующие выходные данные (рисунки 4–10), которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Данные конечно-элементного анализа ролика

Материал трубы	Напряжение (кг/мм <sup>2</sup> )/ критерии прочности Хоффмана	Деформация, мм	Запас прочности
АМГ-2	7,149	0,287	2,66
КМКС-2м.120.Т60	0,00324	1,326	17,57
КМКС-2м.120.Т64	0,00238	1,128	20,5

Конечно-элементный анализ роликов из разных материалов свидетельствует об их упрочнении при использовании стеклоткани и стекловолокна различной укладки. Запас прочности при расчете на разрушение ролика увеличился в 7–10 раз (см.

таблицу 1) при использовании композиционного материала заданной укладки. Однако, стоит заметить, что при осуществлении конечно-элементного расчета было выявлено увеличение деформаций у композитных роликов по сравнению с алюминиевыми, но в допустимых пределах.

Таким образом, в процессе замены материала, применяемого в конструкции ролика, и оптимизации укладки его монослоев были решены следующие задачи: увеличение прочностных и ресурсных параметров; повышение коррозионной стойкости; снижение веса.

Это говорит о рациональности предложенной модификации.

#### Литература

1. *Краснов В.Г.* Продольно-поточная гидросиловая установка / В.Г. Краснов, В.Н. Лихачевский, С.П. Калашников. Патент 156588, 2015.
2. *Писаренко Г.С.* Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев. Киев, 1988.
3. *Рычков С.П.* Моделирование конструкций в среде FemapwithNastran / С.П. Рычков. М.: ДМК-Пресс, 2012.
4. *Шимкович Д.Г.* «Femap&Nastran». Инженерный анализ методом конечных элементов / Д.Г. Шимкович. М., 2008.