



## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ДЕЙДВУДНЫХ КАПРОЛОНОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

*Присянок В.В.*

*Азовский морской институт Одесской национальной морской академии, г. Мариуполь*

*В статье предложена методика расчёта температурных показателей дейдвудных капролоновых подшипников и приведены некоторые результаты исследования влияния эксплуатационных факторов на работоспособность дейдвудных капролоновых подшипников. Применение капролона в качестве материала для дейдвудных подшипников на водяной смазке показал достаточно надёжные результаты работы по бронзовым и нержавеющей облицовкам. Однако при определённых эксплуатационных условиях температура в дейдвудном подшипнике может превысить теплостойкость капролона. Вследствие этого несущая способность подшипника резко снижается, происходит подплавление и ускоренный износ подшипника.*

*Несмотря на широкое применение подшипников скольжения изготовленных из капролона в дейдвудных устройствах судов, методика их теплового расчёта недостаточно освещена и не позволяет определить влияние эксплуатационных факторов на надёжность ответственного узла судна.*

*Учитывая вышесказанное, с целью повышения надёжности дейдвудных подшипников из капролона, актуальна разработка методики расчёта температурных показателей и определение критических эксплуатационных параметров.*

*В данной статье эксплуатационная температура капролонового дейдвудного подшипника с водяной смазкой и охлаждением определяется на основе составления теплового баланса теплообразования в подшипнике и теплоотдачи. В результате расчёта определено влияние некоторых эксплуатационных параметров на температуру нагрева дейдвудного подшипника.*

*В статье использованы результаты проведённых исследований температуры нагрева дейдвудных подшипников из капролона на различных эксплуатационных режимах рыболовных судов типа СЧС. Результаты исследования показали удовлетворительную сходимость практических и теоретических параметров. В статье сделан вывод что, одним из определяющих факторов нагрева подшипников является расход смазывающей-охлаждающей жидкости.*

*Материалы статьи могут быть использованы при проектировании дейдвудных устройств с использованием капролона в качестве материала подшипников.*

*Ключевые слова: дейдвудный подшипник из капролона, работоспособность, эксплуатационные параметры, теплостойкость.*

**Постановка проблемы.** При эксплуатации судна в дейдвудном устройстве возникают постоянные и переменные нагрузки под действием сил и моментов, передаваемых гребному валу от гребного винта, которые вызывают напряжения в дейдвудных подшипниках. В процессе эксплуатации меняется температура охлаждающей воды, возможно уменьшение расхода и давления смазывающее охлаждающей жидкости, в результате износа увеличивается зазор, всё эти факторы могут привести к повышению температуры либо давлений до критических параметров.

Опыт применения капролона в качестве материала для дейдвудных подшипников на водяной смазке показал удовлетворительные результаты работы по бронзовым и нержавеющей облицовкам [1]. Однако если в процессе эксплуатации в дейдвудном подшипнике (рис. 1) температура превысит теплостойкость капролона, его несущая способность резко снижается.

**Актуальность исследования.** Несмотря на широкое применение подшипников скольжения изготовленных их капролона в дейдвудных устройствах судов методика их теплового расчёта, на наш взгляд, недостаточно освещена и не позволяет определить влияние эксплуатационных факторов на надёжность ответственного узла судна.

**Цель работы** – разработка методики расчёта температурных показателей дейдвудных подшипников из капролона и определение критических эксплуатационных параметров.

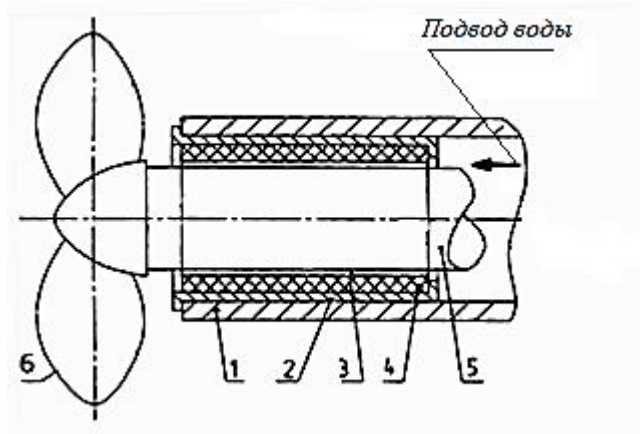


Рисунок 1 – Дейдвудное устройство с подшипником из капролона со смазкой и охлаждением водой: 1 – дейдвудная труба; 2 – втулка; 3 – смазывающая канавка; 4 – подшипник из капролона; 5 – вал; 6 – гребной винт

**Изложение материала исследования.** Несущую способность смазывающего слоя в дейдвудном подшипнике можно определить по аналогии с радиальным подшипником скольжения работающем в масляном слое. Развивающиеся в клиновом зазоре гидродинамические силы дейдвудного подшипника распределены по закону, изображенному на схеме рисунка 2. Эти силы уравнивают нагрузку  $P$  на гребной вал.

Применительно к данному типу подшипника скольжения уравнение Рейнольдса для плоского потока жидкости записывают в полярных координатах [2]:

$$\frac{dp}{d\phi} = 6 \cdot \frac{\mu \cdot \omega}{\psi^2} \cdot \frac{\chi(\cos\phi - \cos\phi_m)}{(1 + \chi \cdot \cos\phi)^3}, \quad (1)$$

где  $p$  – давление в произвольном сечении под углом  $\phi$  к линии центров;  $\mu$  – динамическая вязкость смазывающей жидкости (забортная вода);  $\omega$  – окружная скорость;  $\psi = \Delta/d$  – относительный зазор;  $\chi = e/\delta$  – относительный эксцентриситет;  $\delta$  – радиальный зазор.  $\phi_m$  – угол соответствует сечению с  $P_{\max}$ .

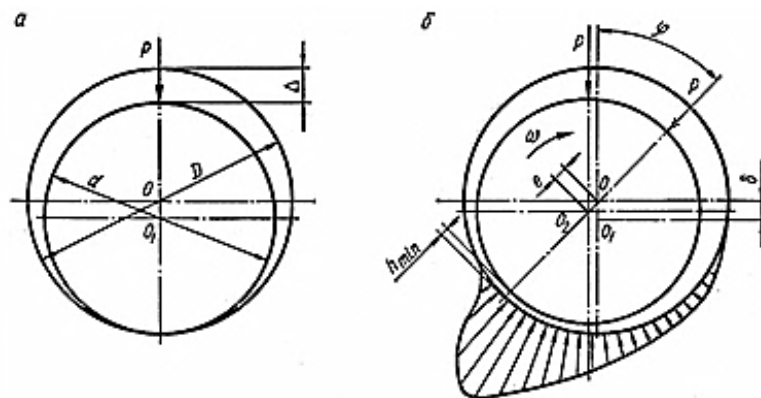


Рисунок 2 – Положение гребного вала в дейдвудном подшипнике: а) – в состоянии покоя; б) – при вращении со скоростью

Уравнение (1) после интегрирования и ряда преобразований приводится к формуле (2) для определения гидродинамической грузоподъемности дейдвудного подшипника, т.е. несущей способности подшипника:

$$R = \frac{\mu \cdot \omega}{\psi^2} \cdot l \cdot d \cdot C_R, \text{ Н} \quad (2)$$



где  $l$  – длина подшипника;  $C_R$  – коэффициент напряжённости, являющийся безразмерной функцией положения гребного вала в подшипнике и границ зоны несущего слоя смазки, зависящей также от отношения  $l/d$  и угла обхвата вала подшипником и наличием смазывающих канавок.

С учётом специфики работы подшипников из термопластичного материала (менее чувствительны к нарушению смазки [3]) определяющим фактором работоспособности подшипника является температурный режим, который не должен превышать теплостойкость материала.

Температуру капролонового дейдвудного подшипника с водяной смазкой и охлаждением можно определить на основе составления теплового баланса теплообразования в подшипнике и теплоотдаче. Полученную температуру сравниваем с предельно допустимой температурой.

$$t_{\text{дн}} = t_{\text{охл}} + \frac{W_1 + W_2 - Q_1 - Q_2}{k \cdot F} \leq t_{\text{пред}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

где  $t_{\text{охл}}$  – температура смазывающей-охлаждающей воды,  $^\circ\text{C}$ ;  $k$  – коэффициент теплоотдачи через вал (облицовку),  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $F$  – площадь подшипника,  $\text{м}^2$ ;  $W_1$  – теплообразование в подшипнике от момента вращения гребного винта:

$$W_1 = R \cdot V_{\text{окр}} \cdot f, \text{ Вт}, \quad (4)$$

где  $R$  – сила действующая на подшипник:

$$R = \frac{M_{\text{вал}}}{r_{\text{гр.вал}}}, \text{ Н}, \quad (5)$$

где  $M_{\text{вал}}$  – крутящий момент, который можно определить исходя из мощности, подводимой к валопроводу [4]:

$$M_{\text{вал}} = \frac{N_{\text{вал}} \cdot 30}{\pi \cdot n_{\text{гр.вал}}} \cdot 1000, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (6)$$

где  $N_{\text{вал}}$  – мощность передаваемая валопроводу, кВт;  $r_{\text{гр.вал}}$  – радиус гребного вала, м;  $f$  – коэффициент трения материала подшипника;  $V_{\text{окр}}$  – окружная скорость:

$$V_{\text{окр}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 100}, \text{ м/с}. \quad (7)$$

Количество тепла  $W_2$  выделившегося при работе подшипника от сил трения связанное с массой валопровода находится по формуле:

$$W_2 = l \cdot d \cdot f \cdot p_m \cdot V_{\text{окр}}, \text{ Вт}, \quad (8)$$

где  $p_m$  – удельное давление от массы валопровода:

$$p_m = \frac{m \cdot g}{d \cdot l} \cdot 0.1, \text{ Н}/\text{м}^2, \quad (9)$$

где  $g$  – 9,8 Н/кг;  $m$  – масса валопровода, кг;  $d$  – диаметр подшипника, м;  $l$  – длина подшипника, м;  $Q_1$  – теплоотвод через корпус подшипника [2]:

$$Q_1 = k_n \cdot d \cdot l \cdot (t_k - t_0), \text{ Вт}, \quad (10)$$

где  $k_n$  – коэффициент теплоотдачи от подшипника корпусу,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $d$  – диаметр подшипника, м;  $l$  – длина подшипника, м;  $t_k$  – температура корпуса подшипника в эксплуатации;  $t_0$  – температура среды контактирующей с корпусом подшипника,  $^\circ\text{C}$ .

Теплоотвод который осуществляется через смазывающую-охлаждающую воду  $Q_2$  :



$$Q_2 = C \cdot Q_{охл} \cdot \gamma(t_{вых} - t_{вх}), \text{Вт}, \quad (11)$$

где  $C$  – удельная теплоёмкость воды в кДж/кг·°С;  $Q_{охл}$  – объём воды, прокачиваемого через подшипник в м<sup>3</sup>/с;  $t_{вых}$  – температура воды на выходе из подшипника, °С;  $t_{вх}$  – температура воды на входе из подшипника, °С;  $\gamma$  – удельный вес охлаждающей воды в кг/м<sup>3</sup>.

Проверка запаса надёжности дейдвудного подшипника по предельному давлению:

$$p = p_m + p_m + p_p \leq [p], \text{Н/м}^2, \quad (12)$$

где  $[p]$  – предел прочности при сжатии материала подшипника;  $p_p$  – давление в подшипнике связанное с возможным изломом и смещением валовой линии;  $p_m$  – удельное давление от массы валопровода;  $p_m$  – давление в подшипнике вызванное крутящим моментом гребного винта которое можно определить:

$$p_m = \frac{R}{l \cdot d}, \text{Н/м}^2, \quad (13)$$

Расцентровка валовой линии может привести к колебанию валопровода уменьшению зазора и к местному увеличению давления, которое может достигать 0,5  $p_m$ .

С целью проверки разработанной методики были проведены исследования зависимости температуры нагрева дейдвудных подшипников из капролона на рыболовных судах типа СЧС при различных эксплуатационных режимах, которые показали удовлетворительную сходимость теоретических и практических параметров.

#### Основные результаты исследования:

1. Главным фактором работоспособности дейдвудных подшипников из капролона является теплостойкость, что подтверждается исследованиями [1, 3].

2. Температура нагрева дейдвудного подшипника в основном зависит от следующих эксплуатационных факторов:

- от расхода прокачиваемой смазывающе-охлаждающей жидкости через дейдвудный подшипник, который обеспечивается характеристиками насоса (рис. 3);
- от температуры смазывающей-охлаждающей жидкости (заборная вода);
- от частоты вращения валопровода.

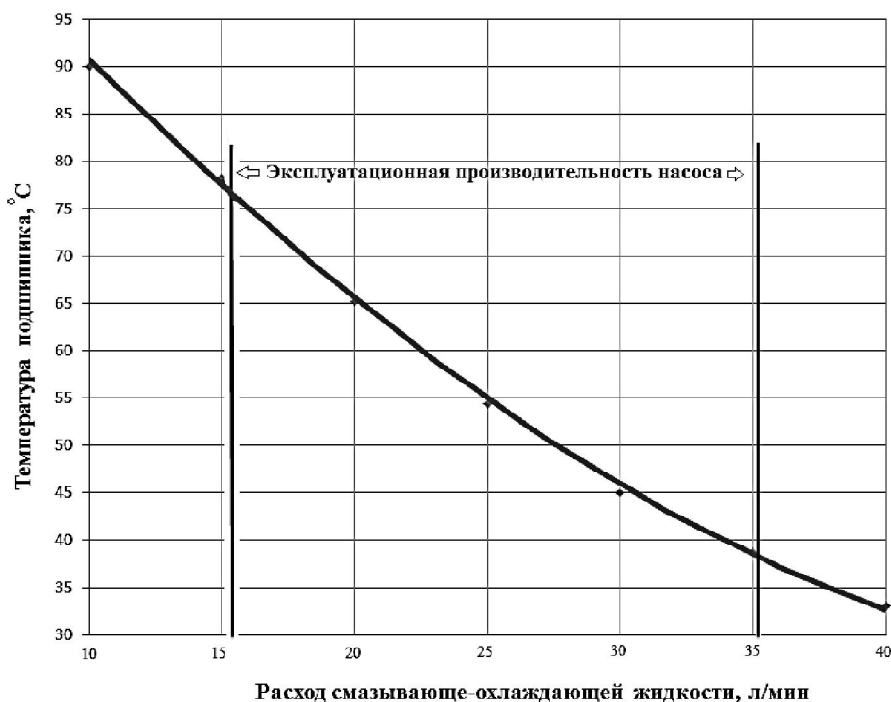


Рисунок 3 – Зависимость температуры дейдвудного капролонового подшипника рыболовецкого судна СЧС от производительности насоса при температуре заборной воды 18 °С



3. Основной причиной разрушения (подплавление) дейдвудных подшипников из капролона является уменьшение расхода охлаждающе – смазывающей жидкости ниже эксплуатационных требований.

4. Уменьшение оборотов гребного вала увеличивает момент гребного винта, передаваемой валопроводу, что приводит к росту температуры дейдвудных подшипников.

5. Давление, возникающее в процессе работы капролонового подшипника, не превышает предельно допустимое значение и не может быть причиной повреждения подшипника.

**Выводы.** Для надёжной работы капролоновых дейдвудных подшипников должна быть применена система непрерывной прокачки дейдвудного устройства автономным насосом с указателем потока воды и манометром на входе. Система должна быть оснащена световой и звуковой сигнализацией по давлению и температуре с возможностью резервной прокачки от забортного насоса охлаждения главного двигателя.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнилов Э. В. Дейдвудные устройства и валопровод морских судов (конструкция, эксплуатация, ремонт) / Э. В. Корнилов, П. В. Бойко, В. П. Смирнов. – Одесса : Феникс, 2008. – 200 с.
2. Решетов Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов. – Л. : Машиностроение, 1964. – 724 с.
3. Иванов М. Н. Детали машин : учебник для машиностроительных специальностей вузов / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – М. : Высш. шк., 2010. – 408 с.
4. Самсонов В. И. Судовые двигатели внутреннего сгорания : учебник / В. И. Самсонов, Н. И. Худов, А. А. Мирющенко. – М. : Транспорт, 1981. – 400 с.

### **Присянок В.В.** ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ДЕЙДВУДНИХ КАПРОЛОНОВИХ ПІДШИПНИКІВ

*У статті запропонована методика розрахунку температурних показників дейдвудних капролонових підшипників і наведені деякі результати дослідження впливу експлуатаційних факторів на працездатність дейдвудних капролонових підшипників. Застосування капролона в якості матеріалу для дейдвудних підшипників на водяній мастилі показав досить надійні результати роботи по бронзовим і нержавіючим облицюванням. Однак за певних експлуатаційних умовах температура в дейдвудном підшипнику може перевищити теплостійкість капролона. Внаслідок цього несуча здатність підшипника різко знижується, відбувається підплавлення і прискорений знос підшипника.*

*Незважаючи на широке застосування підшипників ковзання виготовлених з капролона в дейдвудних пристроях судів, методика їх теплового розрахунку недостатньо освячена і не дозволяє визначити вплив експлуатаційних факторів на надійність відповідального вузла судна.*

*Враховуючи вищесказане, з метою підвищення надійності дейдвудних підшипників з капролона, актуальна розробка методики розрахунку температурних показників і визначення критичних експлуатаційних параметрів.*

*У даній статті експлуатаційна температура капролонового дейдвудного підшипника с водяним мастилом і охолодженням визначається на основі складання теплового балансу теплоутворення в підшипнику і тепловіддачі. У результаті розрахунку визначено вплив деяких експлуатаційних параметрів на температуру нагрівання дейдвудного підшипника.*

*У статті використані результати проведених досліджень температури нагріву дейдвудних підшипників з капролона на різних експлуатаційних режимах риболовних суден типу СЧС. Результати дослідження показали задовільну збіжність практичних і теоретичних параметрів. У статті зроблено висновок що, одним з визначальних факторів нагріву підшипників є розхід змащуючої-охолоджувальної рідини.*

*Матеріали статті можуть бути використані при проектуванні дейдвудних пристроїв з використанням капролона в якості матеріалу підшипників.*

*Ключові слова: дейдвудний підшипник з капролона, працездатність, експлуатаційні параметри, теплостійкість.*



**Prosyank V.V. EFFECTS OF TEMPERATURE INDICATORS ON OPERABILITY DEADWOOD CAPROLON BEARINGS**

*The paper proposes a method of calculating the temperature indicators caprolon deadwood bearings and some results of investigations of the influence of operational factors on the performance of deadwood bearings caprolon. Application caprolon as material for the deadwood water-lubricated bearings showed sufficiently reliable results for the bronze and stainless steel cladding. However, under certain operating conditions, the temperature in the deadwood bearings can exceed caprolon heat resistance. Consequently, the carrying capacity of the bearing is sharply reduced, and occurs melting of accelerated wear of the bearing.*

*Despite the widespread use of plain bearings made devices caprolon in vessels of thermal calculation method is poorly lit and does not allow to determine the influence of operational factors on the reliability of the node responsible vessel.*

*Given the above, in order to increase the reliability of the deadwood bearings caprolon, actual development of a methodology of calculation of temperature indicators and critical operating parameters.*

*In this paper, operating temperature caprolon deadwood bearing c water lubricated and cooling is based on drawing the heat balance of heat in the bearing and heat. The calculation determined the effect of some operating parameters on the heating temperature deadwood bearing.*

*The article draws on the results of studies of heating temperature of deadwood bearing caprolon on different modes of fishing vessels ESS. The results showed satisfactory agreement of theoretical and practical settings. The article concluded that one of the determining factors is the fuel heating bearings lubricant-coolant.*

*The article materials may be used in the design of devices using the deadwood caprolon as a bearing material.*

*Keywords: deadwood caprolon bearings, efficiency, performance, heat resistance.*

Статтю прийнято  
до редакції 15.04.14.