

УДК 629.5.015.4

Б28, У72

**Расчёт изгиба вала, лежащего на подшипниках, представленных нелинейным
односторонним упругим основанием конечной длины**

Авторы: Урсолов А. И., Национальный университет кораблестроения имени адм. Макарова, Батрак Ю. А., ЧП «Интеллектуальные морские технологии» г. Николаев.

Конструкция цилиндрических дейдвудных подшипников со вкладышами из бакаута, смазываемых морской водой, была предложена Джоном Пенном в 1852 году. Конструкция не претерпела существенных изменений до наших дней, менялся только материал вкладышей.

Вследствие того, что вкладыши дейдвудных подшипников такой конструкции при смазке морской водой интенсивно изнашиваются, классификационные общества, например [1], требуют один раз в два с половиной года проводить осмотр гребного вала и дейдвудных подшипников валопровода, для чего судно ставится в док и извлекается гребной вал. Это влечёт за собой большие экономические потери судовладельца из-за затрат на доковое обслуживание и упущенной прибыли вследствие вывода судна из эксплуатации.

Причина сохранения столь не выгодной конструкции состоит не только в простоте её изготовления и монтажа, но и в отсутствии в настоящее время методов расчета, позволяющих предсказать надежность и долговечность подшипника какой-либо иной конструкции с учетом износа и деформации вкладыша. На проведение натурных испытаний подшипников нового типа, по вполне понятным причинам, никто из судовладельцев согласия не даёт. Поэтому решение проблемы повышения работоспособности дейдвудных подшипников следует искать путем анализа и имитационного моделирования.

Известные подходы к моделированию дейдвудных подшипников в составе валопровода, такие как точечная опора и кольцевая опора (рис. 1) не приемлемы, поскольку не учитывают протяженность подшипника. Протяженные цилиндрические опоры в настоящее время принято представлять рядом точечных, что является довольно грубым дискретным представлением континуальной структуры вкладыша с нелинейной зависимостью жесткости от просадки. Для внесения поправки на континуальность прибегают к контактной теории Герца [2].

Однако теория Герца применима только при больших зазорах между валом и вкладышем, обеспечивающих малую ширину контакта, что в реальных валопроводах не выполняется.

На наш взгляд качественная модель подшипника должна учитывать:

- 1) возможность отрыва вала от поверхности вкладыша (учёт зазора между поверхностями вала и вкладыша);
- 2) перекос и смещение вала относительно теоретической оси вкладыша;
- 3) изгиб вала внутри вкладыша;
- 4) нелинейность реакция материала вкладыша в зависимости от просадки;
- 5) непрерывность деформаций вкладыша.

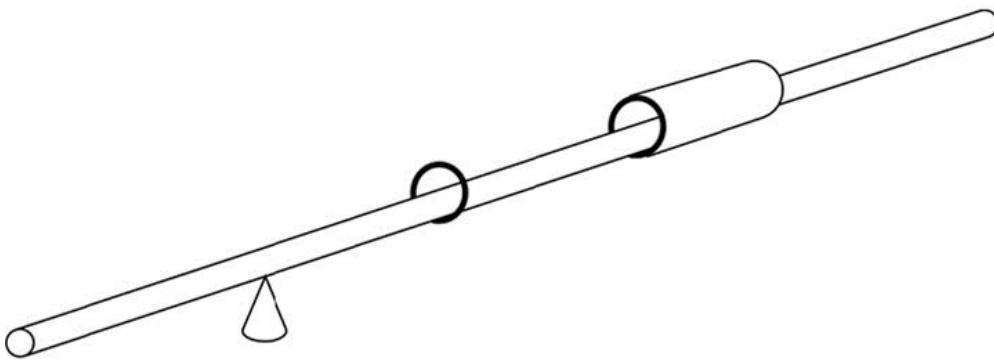


Рисунок 1 – Существующие модели подшипников

Таковыми свойствами обладает подшипник, вкладыш которого представлен нелинейным одно-сторонним упругим основанием (УО) конечной длины. В этом случае, при использовании для расчета метода конечных элементов (КЭ), для участка вала, контактирующего с втулкой, должна использоваться специальная матрица жесткости (МЖ), учитывающая наличие УО.

Известные матрицы жёсткости элемента на УО [3, 4] предполагают постоянную по длине элемента реакцию основания, и в случае их применения потребуется большое количество элементов для точного описания взаимодействия вала и вкладыша, что не приемлемо с точки зрения эффективности расчета и накопления вычислительной погрешности.

В связи с этим была разработана МЖ УО с произвольным параболическим законом изменения реакции основания по длине КЭ [5]. Данная МЖ позволяет использовать меньшее количество КЭ в пределах вкладыша и способствуют более быстрой сходимости реакции и просадки УО.

Коэффициент жёсткости УО в сечении вкладыша предлагается определять с помощью решения плоской задачи о контакте вала и вкладыша. При этом пространственный характер деформирования вкладыша игнорируется, однако это является общепринятым в такого рода задачах [6, 7].

Вследствие нелинейности контактной задачи, возникающей как вследствие нелинейности УО, так и вследствие неопределенности протяженности зоны контакта, задача об изгибе вала на подшипниках, представленных нелинейным односторонним упругим основанием конечной длины, должна решаться методом последовательных приближений. Для обеспечения сходимости метода был разработан специальный алгоритм релаксации.

На рис. 2 представлена форма изгиба валопровода, рассчитанная по разработанной схеме. В качестве материала вкладышей был задан THORDON. На рисунке видно изгиб вала внутри подшипника с учётом деформации втулки. Полученная схема расчёта позволяет учитывать смещения и перекося подшипников, работу вала на верхней поверхности вкладыша, что является одним из наиболее важных обстоятельств при расчёте центровки валопровода.

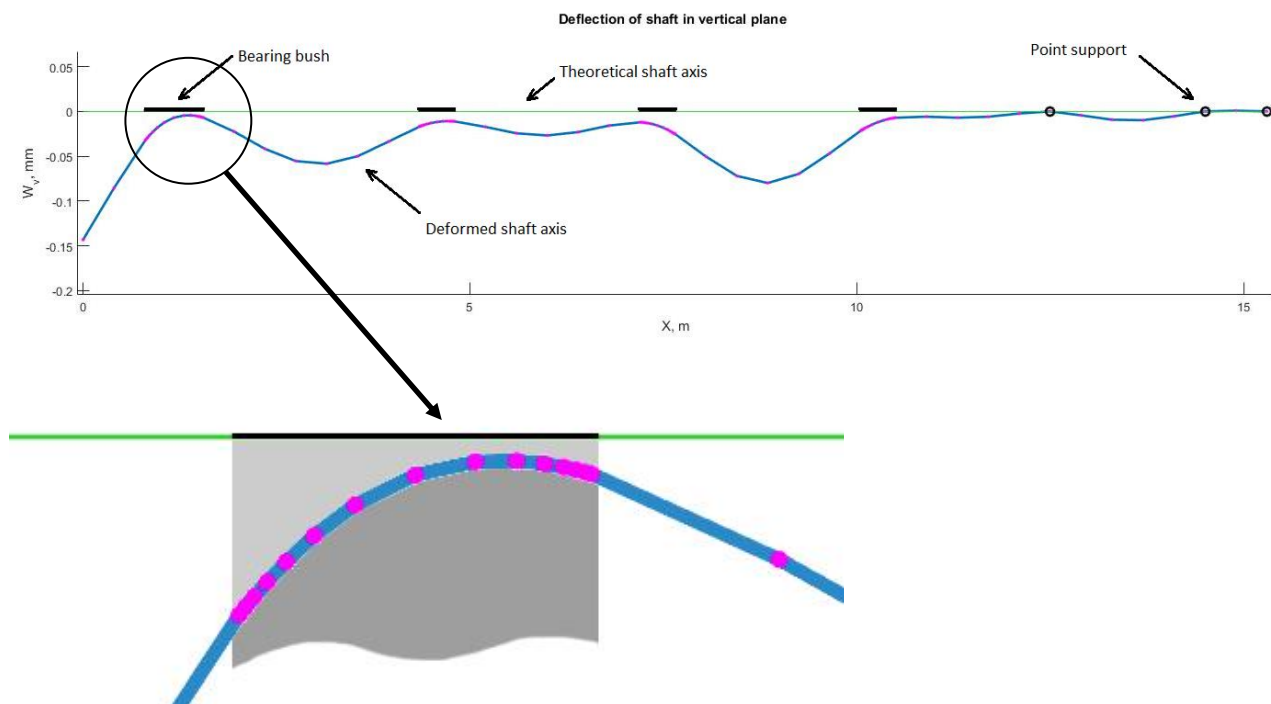


Рисунок 2 – форма изгиба валопровода лежащего на подшипниках, представленных нелинейным УО конечной длины

Выводы. Описанный подход реализует более точное моделирование взаимодействия вала и вкладыша подшипника скольжения. Его применение позволяет полностью отказаться от представления дейдвудного подшипника точечными опорами, и открывает путь к исследованию работоспособности и долговечности дейдвудных подшипников с учетом всех существенных факторов. Данный подход предполагается к внедрению в специализированное программное обеспечение ShaftDesigner [8, 9] для расчёта валопроводов. Дальнейшим развитием данной работы станет моделирование износа дейдвудных подшипников.

Список использованной литературы

1. Rules for classification. – DNV GL AS, 2016.
2. Штаерман И. Я. Контактная задача теории упругости. М.–Л., Гостехиздат, 1949. – 320 с.
3. Козляков В. В., Финкель Г. Н., Хархурим Н. Н. Проектирование доковых опорных устройств. – Л.: Судостроение, 1973. – 176 с.
4. Веселов В.Н. Построение матрицы жёсткости рельсового пути башенного крана методом конечных элементов [Текст] / Веселов В.Н. // Вестник АГТУ – 2006. – № 1(30). – С.203 - 206.
5. Батрак Ю. А., Урсолов А. И. Матрица жёсткости стержневого конечного элемента, лежащего на нелинейном упругом основании. «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. Миколаїв: НУК, 2016 г.
6. Исследование и разработка методики расчёта напряжений в элементах тяжело-нагруженных опор с компенсаторами несоосности валов. Отчет о НИР 01870079858. Кочанов Ю. П. Николаев. – 1988.
7. Кузьменко А. Г. Метод алгебраических уравнений в контактной механике. – Хмельницкий:ХНУ, 2006. – 448 с.
8. Batrak Y.A., van Leest M. High-end Software for Propulsion Shaft Calculation. SNAME Propellers/Shafting 2009 Symposium Papers, Williamsburg VA, pp. 11-1 - 11-4.
9. ShaftDesigner – The Shaft Calculation Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.shaftdesigner.com/>