СтройМноГо
ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ И АВТОРЫ!

Электронный научный журнал «СтройМного» включен в РИНЦ. ISSN: 2500-1736. Журнал выгружается в РИНЦ 1 раз в квартал. Ежемесячная аудитория: более 10 000 уникальных пользователей. Приглашаем авторов к **публикации научных статей**.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСЕВЫХ УСИЛИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЯХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Главная страница журнала

Экономические и социологические науки

Технические и естественные науки

О журнале

Редакция

Development of a technique of determination of the axial forces arising in labyrinth consolidations of steam turbines

УДК 62-762.62

22.01.2018
326

Выходные сведения:
Ильичев В.Ю., Юрик Е.А., Ибрагимов С.В. Разработка методики определения осевых усилий, возникающих в лабиринтных уплотнениях паровых турбин // СтройМного, 2018. № 1 (10). URL: http://stroymnogo.com/science/tech/razrabotka-metodiki-opredeleniya-os/

Авторы:
Ильичев В.Ю.1, Юрик Е.А.2, Ибрагимов С.В.3

1, 2 к.т.н., доцент кафедры «Тепловые двигатели и теплофизика», Калужский филиал ВГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)», Калуга, Российская Федерация (248000, Россия, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2), e-mail: patrol8@yandex.ru

3 магистрант кафедры «Тепловые двигатели и теплофизика», Калужский филиал ВГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)», Калуга, Российская Федерация (248000, Россия, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2), e-mail: patrol8@yandex.ru

Authors:
Ilichev V.Y.1, Yurik E.A.2, Ibragimov S.V.3

1, 2 Ph.D., assistant professor of dept. "Heat engines and thermophysics", Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University (national research university), Kaluga, Russian Federation (248000, Russia, Kaluga, Bazhenov St., 2), e-mail: patrol8@yandex.ru

3 magistrant of dept. "Heat engines and thermophysics", Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University (national research university), Kaluga, Russian Federation (248000, Russia, Kaluga, Bazhenov St., 2), e-mail: patrol8@yandex.ru

Ключевые слова:
лабиринтные уплотнения, паровая турбина, усилия в турбинах, расчёт уплотнений, нагрузка на упорный подшипник

Keyword:
labyrinth consolidations, steam turbine, forces in turbines, calculation of consolidations, load of the thrust bearing

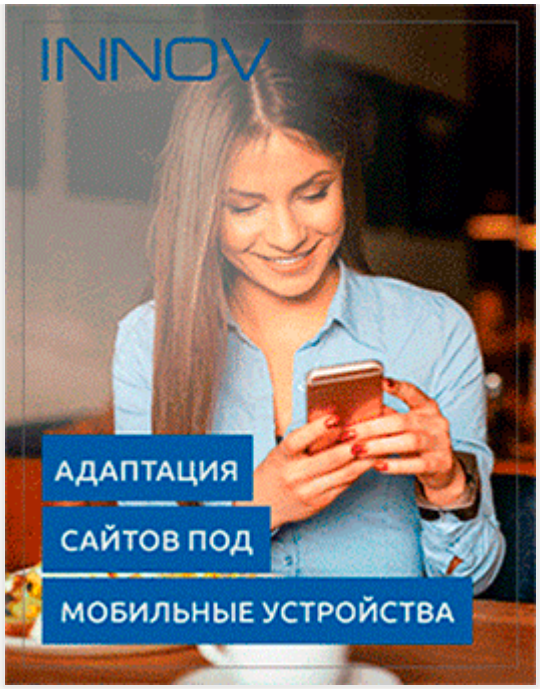
Аннотация:
Данная статья посвящена описанию разработанной авторами методики определения осевых усилий, возникающих в лабиринтных уплотнениях паровых турбин из-за разности давлений перед уплотнением и за ним и действующих на ротор турбин. Эта проблема является

ⓘ ×

актуальной, так как возникающие в уплотнениях осевые усилия сильно влияют на надёжность и долговечность работы турбоустановок, особенно таких её элементов как упорные подшипники. К тому же, осевые усилия обычно сильно изменяются на разных режимах работы паровых турбин, что делает задачу их определения ещё более важной, так как режимные параметры современных турбоустановок обычно варьируются с течением времени. Приведён краткий обзор причин появления усилий в паровых турбинах и даны ссылки на известные методики их расчёта. Однако, до сих пор не существовало универсальной методики определения осевых усилий в любых лабиринтных уплотнениях, отличающихся большим разнообразием конструкций. В качестве верификации разработанной авторами методики приведено сравнение результатов расчёта осевых усилий в отработанной конструкции лабиринтных надбандажных уплотнениях турбины К-12-4,2 с результатами, полученными по руководящим техническим материалам. Сравнение показало малое отличие результатов расчёта, что позволяет рекомендовать применение разработанной методики для любых конструкций лабиринтных уплотнений, не описанных в руководящих технических материалах, а также выбирать конструкции уплотнений, которые дают наименьшие значения осевых сил, действующих на ротор и упорный подшипник. В статье также формулируется направление исследований, которое планируется осуществить на следующем этапе работы по данной теме.

Annotation:

This article is devoted to the description of the technique of definition of the axial forces arising in labyrinth consolidations of steam turbines because of the difference of pressure before consolidation and behind it and affecting on a rotor of turbines. This problem is relevant as the axial forces arising in consolidations strongly influence reliability and durability of operation of turbine plants, especially it's thrust bearings. Besides, axial forces usually strongly change on different operating modes of steam turbines that does a problem of their definition even more important as regime parameters of modern turbine plants usually vary eventually. The short review of the reasons of emergence of efforts is provided in steam turbines and references to the known techniques of their calculation are given. However, still there was no universal technique of definition of axial forces in any labyrinth consolidations differing in a big variety of designs. As verification of the technique developed by authors comparison of results of calculation of axial forces is given in the fulfilled design labyrinth the consolidations on rotary shroud of the turbine K-12-4,2 with the results received on the leading technical materials. Comparison has shown small difference of results of calculation that allows to recommend application of the developed



technique for any designs of the labyrinth consolidations which aren't described in the leading technical materials and also to choose designs of consolidations which give the smallest values of the axial forces operating on a rotor and the thrust bearing. In article the direction of researches which is planned to carry out works on this subject at the following stage is also formulated.



Введение

Осевые усилия, действующие на ротор и воспринимаемые упорными подшипниками паровой турбины, появляются в результате [1, 2, 3]:

- статической разности давлений по обе стороны рабочих лопаток и дисков (на которую оказывает влияние, например, конструкция разгрузочных отверстий дисков [4]);

- разности осевых составляющих скоростей пара на входе в рабочие лопатки и на выходе из них (методика расчёта усилий, возникающих по этой причине, приведена в [5]);

- разности давлений, действующих на выступающие элементы ротора [6];

- наклона оси ротора и несоосности соединяемых элементов ротора [7];

- разности давлений, действующих на гребни лабиринтных уплотнений (концевых, надбандажных, диафрагменных и др.);

- возникновения различных дополнительных нагрузок, обусловленных конструктивными особенностями турбин, а также дефектами монтажа [8, 9, 10].

Следует отметить, что на нерасчётных режимах работы турбины большая часть этих усилий изменяется в очень широких пределах [11, 12, 13].

Постановка задачи

Целью данной работы является разработка методики определения осевых усилий, возникающих по причине разности давлений, действующих на гребни лабиринтных уплотнений любой конфигурации.

Материалы и методы

Осевое усилие, действующее на уступы ротора, определяется как произведение площади уступа на величину перепада давления пара на уступ [14, 15]:

$$P_y = f_1 \Delta p,$$

где f_1 – площадь уступов ротора, $м^2$; Δp – перепад давлений на уступ ротора, *Па*.

Усилие из-за разности давлений, действующих на гребни лабиринтных уплотнений, в зависимости от конструкции уплотнения определяется по приближённым формулам [14], представленным на рис. 1. Здесь p_0 и p_z – давления, соответственно перед и за уплотнением, z – число уплотнительных гребней, f – средняя площадь уплотнительных гребней.

На этом рисунке представлены только хорошо известные и отработанные экспериментально конструкции лабиринтных уплотнений.

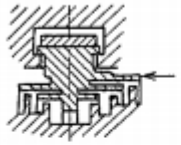
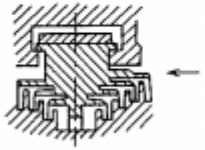
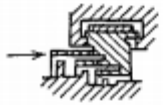
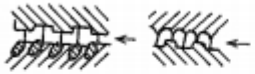
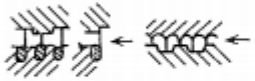
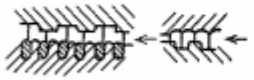
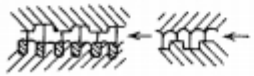
Тип уплотнения	Формула
	$P_y = -f(1{,}2p_0 - 0{,}2p_z)$
	$P_y = -f(1{,}72p_0 - 0{,}72p_z)$
	$P_y = -f(p_0 + p_z)$
	$P_y = f\frac{p_0 - p_z}{2}\frac{z-1}{z}$
	$P_y = -f\frac{p_0 - p_z}{2}\frac{z-1}{z}$
	$P_y = f\frac{p_0 + p_z}{2}$
	$P_y = -f\frac{p_0 + p_z}{2}$

Рис. 1. Формулы для определения осевого усилия в различных типах уплотнений

Знак «плюс» перед значением осевого усилия ставится, когда направление действия усилия совпадает с направлением движения пара. Знак «минус» ставится, когда усилие действует в направлении, противоположном направлению движения пара.

Приведенные выше формулы выражают усилия, которые возникают внутри самого уплотнения, и не учитывают усилий, действующих на наружные стороны первого и последнего гребней. Усилия, действующие на наружные стороны первого и последнего гребней, определяется так же, как и усилия, действующие на уступы ротора [6].

Таким образом, по методике [16] усилие, действующее на уплотнение, рассчитывается следующим образом:

$$P_{уп}^{\Sigma} = P_1 + P_{уп} + P_z,$$

где P_1 и P_z – усилия, действующие на наружные стороны первого и последнего гребней, Н; $P_{уп}$ – усилие, возникающее внутри самого уплотнения, *Н* (рис. 1).

Для определения усилия, действующего на наружные стороны первого и последнего уплотнительных гребней, используется следующая формула:

$$P = f\Delta p.$$

Методика расчёта усилия, действующего на гребни лабиринтного уплотнения, приведенная в источниках [14, 16], подходит только для приведённых на рис. 1 вариантов уплотнений. С помощью этой методики невозможно рассчитать, например, уплотнения с наклонными гребнями. В связи с этим, необходимо разработать новую методику, позволяющую рассчитывать осевые усилия в лабиринтных уплотнениях любого конструктивного исполнения.

Для разработки такой методики предлагается использовать программный пакет SolidWorks Flow Simulation [17, 18], который входит в состав программного обеспечения SolidWorks [19, 20, 21].

Расчётная модель, например, надбандажного лабиринтного уплотнения представляет собой кольцо с чередующимися длинными и короткими гребнями. Граничными условиями на входе

потока в формируемый канал являются полное давление перед уплотнением (p^*_0, *Па*) и температура (T_0, *К*), на выходе задаются следующие граничные условия: статическое давление за последним уплотнительным гребнем (p_z, *Па*) и температура (T_z, *К*).

Для отработки новой методики и сравнения полученных величин осевого усилия с рассчитанными по приближенным формулам, приведённым в руководящих технических материалах (РТМ) [14, 16], выполнено моделирование процесса течения пара в надбандажном уплотнении с прямыми уплотнительными гребнями первой ступени давления турбины К-12-4,2 (модель уплотнения в программе SolidWorks представлена на рис. 2).

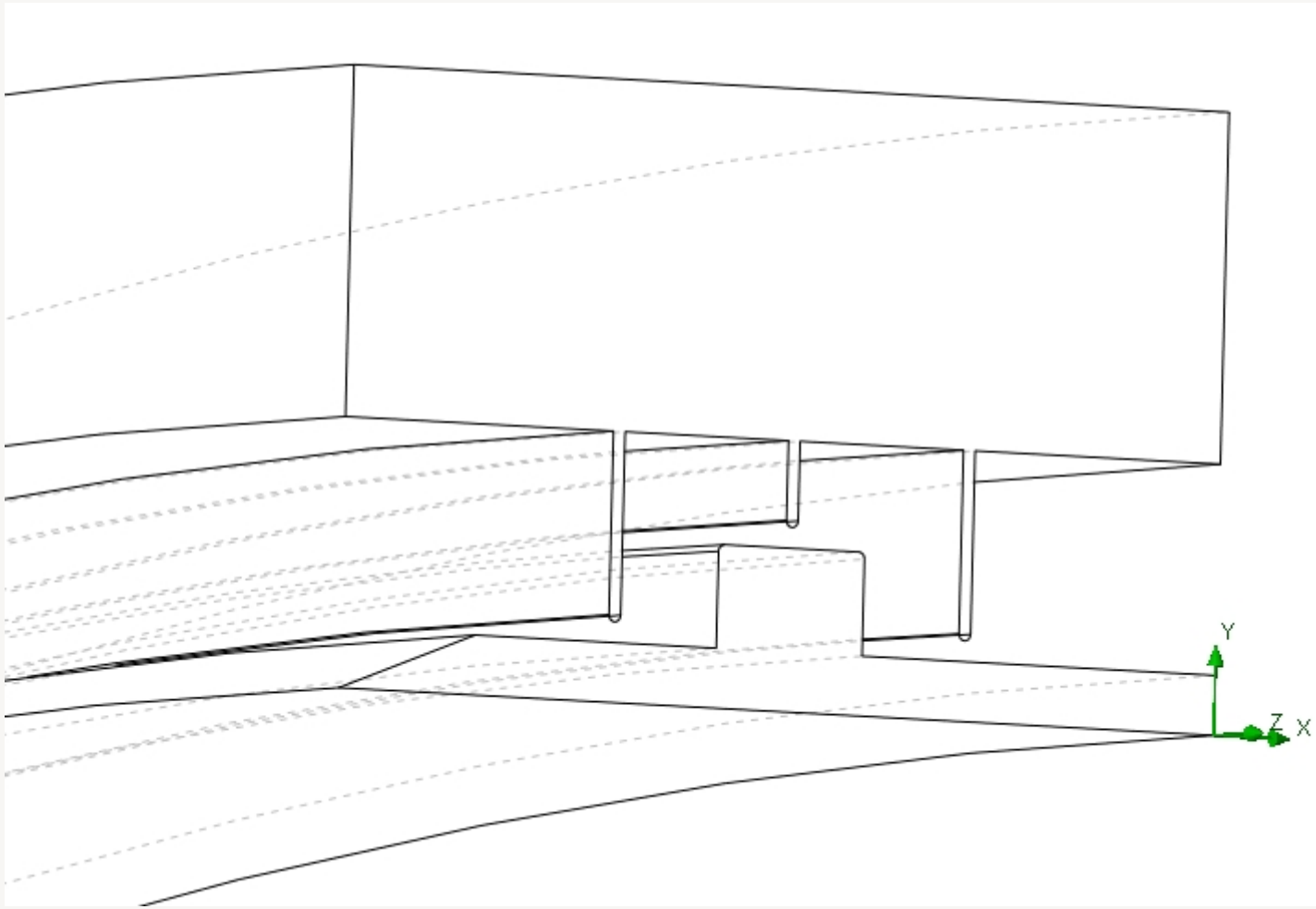


Рис. 2. Модель надбандажного уплотнения в SolidWorks (угол наклона гребней 90 градусов)

Рассчитанные значения величин усилия представлены в таблице 1. Расхождение в полученных результатах составляет примерно 2,8%.

Табл. 1. Значения величин усилия, действующего на гребни надбандажного уплотнения

Величина усилия	РТМ	Моделирование	Δ, %
$P_{уп}$, H	228,4	221,8	2,8

В ходе дальнейших исследований, путем компьютерного моделирования течения в уплотнениях, получены величины осевого усилия при различных углах наклона уплотнительных гребней θ. На рис. 3 приведены схемы рассчитанных вариантов уплотнения. Полученные результаты сведены в табл. 2. При изменении угла наклона гребней происходит значительный рост величины осевого усилия.

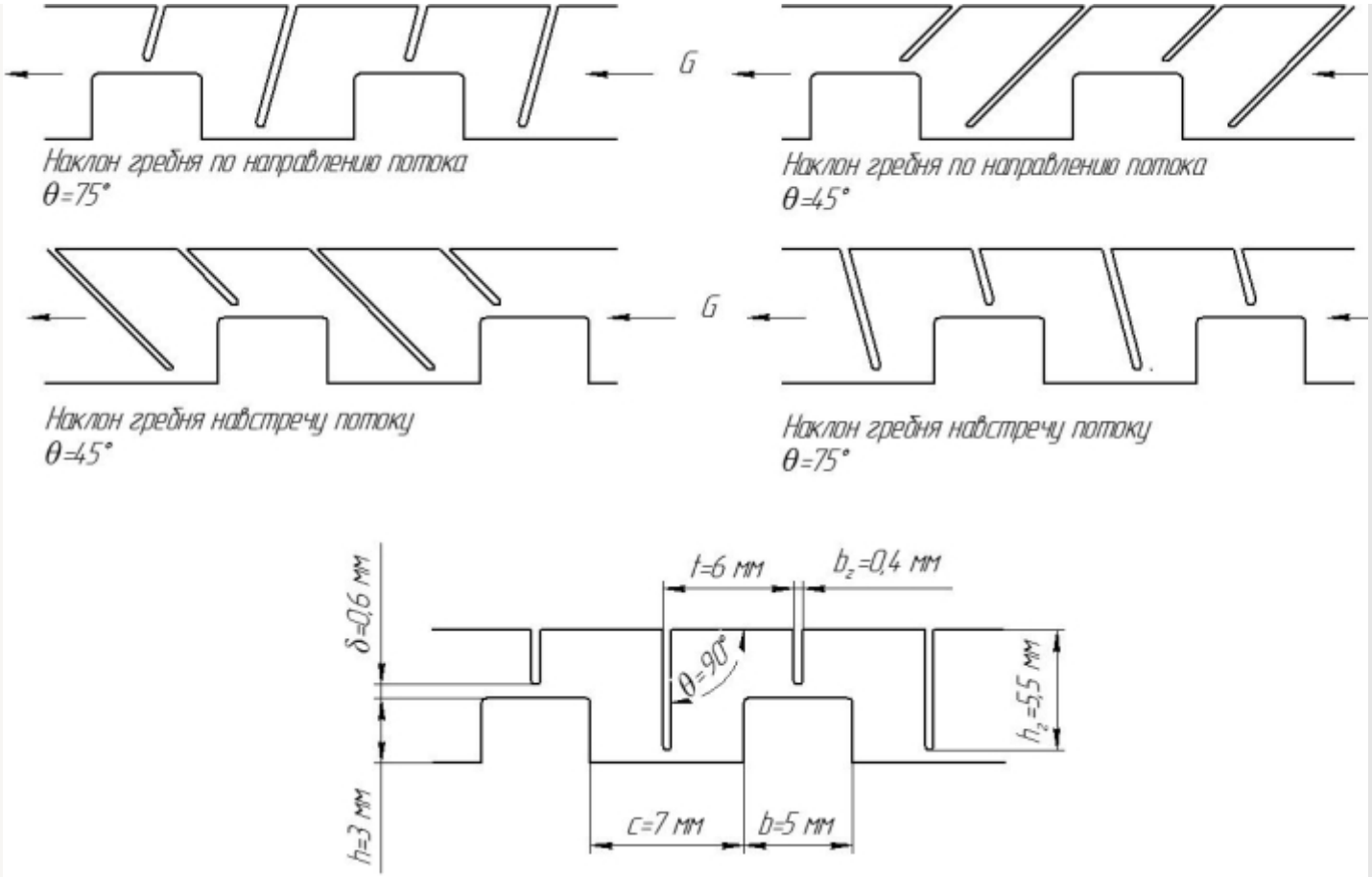


Рис. 3. Варианты конфигурации лабиринтного уплотнения

Табл. 2. Значения величин усилия, полученные при моделировании (по разработанной методике)

Величина	Без уклона	Попутный уклон		Встречный уклон	
θ, *град*	90	45	75	45	75

$P_{уп}$, *Н*	221,8	803,3	563,5	1201,7	649,1

Результаты и обсуждения

В результате проведённой работы была разработана методика расчёта усилий, возникающих в лабиринтных уплотнениях паровых турбин и действующих на ротор и упорный подшипник. Для широко известной и отработанной экспериментально конструкции лабиринтных уплотнений произведено сравнение результатов, полученных по данной методике, с результатами, полученными по руководящим техническим материалам. Работа была обсуждена на методическом семинаре кафедры «Тепловые двигатели и теплофизика» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Выводы

В ходе дальнейших исследований планируется дальнейшая апробация разработанной методики расчёта величины осевого усилия при определении осевого усилия, возникающего в концевых, диафрагменных и надбандажных уплотнениях различных новых, разрабатываемых авторами, конструкций.

Библиографический список

1. Сережкина Л.П., Зарецкий Е.И. Осевые подшипники мощных паровых турбин. – М.: Машиностроение, 1988. – 176 с.
2. Турбины тепловых и атомных электрических станций: Учебник для вузов. –2-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.
3. Ремонт паровых турбин: Учебное пособие / В.Н. Родин и др.; под ред. Ю.М. Бродова, В.Н. Родина. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2002. – 203 с.
4. Круглова Г.А. Влияние конструкции разгрузочных отверстий дисков турбины на осевое усилие / Г.А. Круглова, А.А. Жинов // Научные исследования: теория, методика и практика: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 19 нояб. 2017 г.) — Чебоксары:

ЦНС «Интерактив плюс», 2017. — С. 31–36.
5. Щегляев А.В. Паровые турбины. Т.2. Теория теплового процесса и конструкции турбин. — М.: Энергоатомиздат, 1993. – 127 с.
6. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; под ред. А.Г. Костюка.- М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 556 с.
7. Ильичев В.Ю., Заричный А.Ф. Разработка методики расчёта сил и моментов, возникающих в соединении роторов жёсткими муфтами при наличии расцентровки осей валов. Иннов: электронный научный журнал. Н. Новгород: Изд. Иннов. - 2017, № 2 (31).
8. Бабенко Х.Л. Осевое усилие в паровых турбинах. - Электрические станции, 1958. №2, с. 32-35.
9. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин / Г.С. Жирицкий, В.А. Струнки н. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. - 520 с.
10. Трояновский Б.М. Турбины для атомных электростанций. – М.: Энергия, 1973. – 184 с.
11. Бунин В.С., Васильев М.К. Особенности режимов работы турбины ТК-450/500-60. – Теплоэнергетика, 1982, №4, С. 14-17.
12. Гиршфельд В.Я., Князев А.М., Куликов В.Е. Режимы работы и эксплуатация ТЭЦ. – М.: Энергия, 1980. – 228 с.
13. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. - М.: Энергоиздат. - 1982. – 496 с.
14. РТМ 108.021.08-86. «Турбины паровые стационарные. Расчет осевого усилия». – М.: НПО ЦКТИ, 1988. – 94 с.
15. Дейч М.Е., Самойлович Г.С. Основы аэродинамики осевых турбомашин. – М.: Машгиз, 1959. - 428 с.
16. РТМ 108.020.33-86. «Уплотнения лабиринтные стационарных паровых и газовых турбин и компрессоров. Проектирование и расчёт». – М.: НПО ЦКТИ, 1988. – 73 с.
17. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. – СПб.: Изд-во БХВ, 2012. – 445 с.
18. Алямовский А.А. Инженерные расчёты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК-Пресс, 2015. – 464 с.
19. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике // А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н. Б. Пономарев. – СПб.: Изд-во БХВ, 2008. – 1040 с.
20. Соллогуб А.В. SolidWorks 2007: технология трехмерного моделирования. - СПб.: БХВ-

Петербург, 2007. — 352 с.
21. Новые возможности SolidWorks 2017 (электронное издание). USA: Waltham: Dassault Systèmes (DS) SolidWorks Corp, 2016. - 235 с.

References

1. Serezhkina L.P., Zareckij E.I. Osevye podshipniki moshchnyh parovyh turbin. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 176 p.
2. Turbiny teplovyh i atomnyh ehlektricheskih stancij: Uchebnik dlya vuzov. –2-e izd., prereb. i dop. A.G. Kostyuk, V.V. Frolov, A.E. Bulkin, A.D. Truhnij; pod red. A.G. Kostyuka, V.V. Frolova. – M.: Izdatelstvo MEI, 2001. – 488 p.
3. Remont parovyh turbin: Uchebnoe posobie V.N. Rodin i dr.; pod red. Y.M. Brodova, V.N. Rodina. – Ekaterinburg: UGTU – UPI, 2002. – 203 p.
4. Kruglova G.A. Vliyanie konstrukcii razgruzochnyh otverstij diskov turbiny na osevoe usilie. G.A. Kruglova, A.A. Zhinov. Nauchnye issledovaniya: teoriya, metodika i praktika: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Cheboksary, 19 noyab. 2017 g.) — Cheboksary: CNS «Interaktiv plyus», 2017. — Pp. 31–36.
5. Sheglyaev A.V. Parovye turbiny. T.2. Teoriya teplovogo processa i konstrukcii turbin. — M.: Energoatomizdat, 1993. – 127 p.
6. Parovye i gazovye turbiny dlya ehlektrostancij: uchebnik dlya vuzov. - 3-e izd., pererab. i dop. A.G. Kostyuk, V.V. Frolov, A.E. Bulkin, A.D. Truhnij; pod red. A.G. Kostyuka.- M.: Izdatelskij dom MEI, 2008. - 556 p.
7. Ilichev V.Y., Zarichnyj A.F. Razrabotka metodiki raschyota sil i momentov, voznikayushchih v soedinenii rotorov zhyostkimi muftami pri nalichii rascentrovki osej valov. Innov: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal. N. Novgorod: Izd. Innov. - 2017, No 2 (31).
8. Babenko H.L. Osevoe usilie v parovyh turbinah. - Elektricheskie stancii, 1958. No2, Pp. 32-35.
9. Konstrukciya i raschet na prochnost detalej parovyh i gazovyh turbin. G.S. Zhirickij, V.A. Strunkin. - 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 520 p.
10. Troyanovskij B.M. Turbiny dlya atomnyh ehlektrostancij. – M.: Energiya, 1973. – 184 p.
11. Bunin V.S., Vasilev M.K. Osobennosti rezhimov raboty turbiny TK-450/500-60. – Teploehnergetika, 1982, No4, Pp. 14-17.
12. Girshfeld V.Y., Knyazev A.M., Kulikov V.E. Rezhimy raboty i ehkspluataciya TEHC. – M.: Energiya, 1980. – 228 p.

13. Samojlovich G.S., Troyanovskij B.M. Peremennye i perekhodnye rezhimy v parovyh turbinah. - M.: Energoizdat. - 1982. – 496 p.
14. RTM 108.021.08-86. «Turbiny parovye stacionarnye. Raschet osevogo usiliya». – M.: NPO CKTI, 1988. – 94 p.
15. Dejch M.E., Samojlovich G.S. Osnovy aehrodinamiki osevyh turbomashin. – M.: Mashgiz, 1959. - 428 p.
16. RTM 108.020.33-86. «Uplotneniya labirintnye stacionarnyh parovyh i gazovyh turbin i kompressorov. Proektirovanie i raschyot». – M.: NPO CKTI, 1988. – 73 p.
17. Alyamovskij A.A. SolidWorks Simulation. Kak reshat prakticheskie zadachi. – SPb.: Izd-vo BHV, 2012. – 445 p.
18. Alyamovskij A.A. Inzhenernye raschyoty v SolidWorks Simulation. – M.: DMK-Press, 2015. – 464 p.
19. SolidWorks 2007/2008. Kompyuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike. A.A. Alyamovskij, A.A. Sobachkin, E.V. Odincov, A.I. Haritonovich, N. B. Ponomarev. – SPb.: Izd-vo BHV, 2008. – 1040 p.
20. Sollogub A.V. SolidWorks 2007: tekhnologiya trekhmernogo modelirovaniya. - SPb.: BHV-Peterburg, 2007. — 352 p.
21. Novye vozmozhnosti SolidWorks 2017 (ehlektronnoe izdanie). USA: Waltham: Dassault Systèmes (DS) SolidWorks Corp, 2016. - 235 p.

Возврат к списку

© 2015-2018 «Строймного» (16+) – информационное агентство.
Учредитель ООО «Иннов».
Свидетельство Управления Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций по Приволжскому федеральному округу.
ИА № ТУ 52-01165 от 24.10.2016г. ISSN: 2500-1736

Главный редактор: Воробьев А.И.

КОНТАКТЫ ИЗДАТЕЛЬСТВА