

УДК 624.953

Кузнецов И.Л. – доктор технических наук, профессор

E-mail: kuz377@mail.ru

Гимранов Л.Р. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: leenur@mail.ru

Хусаинов Д.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: xdmt@mail.ru

Пеньковцев С.А. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: restavratsija@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420034, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Оценка несущей способности цилиндрического диффузионного аппарата

Аннотация

В статье дается оценка несущей способности эксплуатируемого диффузионного аппарата, представляющего собой вращающуюся цилиндрическую оболочку диаметром 5,6 м и длиной 41,6 м, опертую через бандаж на опорные катки по 2-х консольной схеме. Оболочка моделировалась пластинчатыми элементами, а бандаж и кольца объемными элементами. Расчет выполнялся на программном комплексе «Лира» и Ansys без учета и с учетом монтажных отверстий. Оценка несущей способности производилась с учетом фактических циклов переработки из известного условия наступления усталостного разрушения.

Ключевые слова: диффузионный аппарат, цилиндрическая оболочка, статический расчет, напряженно-деформированное состояние оболочки, монтажные отверстия, усталостное разрушение.

Цилиндрический диффузионный аппарат на Нурлатском сахарном заводе введен в эксплуатацию в 1996 году. Работа аппарата сезонная – 100-120 дней в году по 24 часа в сутки. Длительная эксплуатация данного аппарата потребовала проведения технического освидетельствования и оценки его несущей способности.



Рис. 1. Общий вид диффузионного аппарата

Диффузионный аппарат по переработке сахарной свеклы (рис. 1) представляет из себя вращающийся горизонтальный стальной барабан диаметром 5,6 м и длиной 41,6 м.

Барабан двумя бандажами опирается на роликовые опоры. Один из бандажей снабжен венцом, соединенным шестерней редуктора (рис. 3-4), который обеспечивает его вращении со скоростью до 30 оборотов в час (оптимальная скорость 20 оборотов в час). По длине барабана с шагом 6 метров выполнены ремонтные люки (рис. 2) размерами 830x1100 мм, закрываемые герметичной крышкой толщиной 15 мм на 38 болтах диаметром 20 мм. Торцы барабана диффузионного аппарата имеют диафрагмы с люками для загрузки и выгрузки продукции. Внутри барабана диффузионного аппарата прикреплены спиральные витки перегородок, а также решетчатая перегородка, разделяющая барабан на 2 части. На внешней стороне барабана диффузионного аппарата нанесен защитный слой из пенополиуретана.

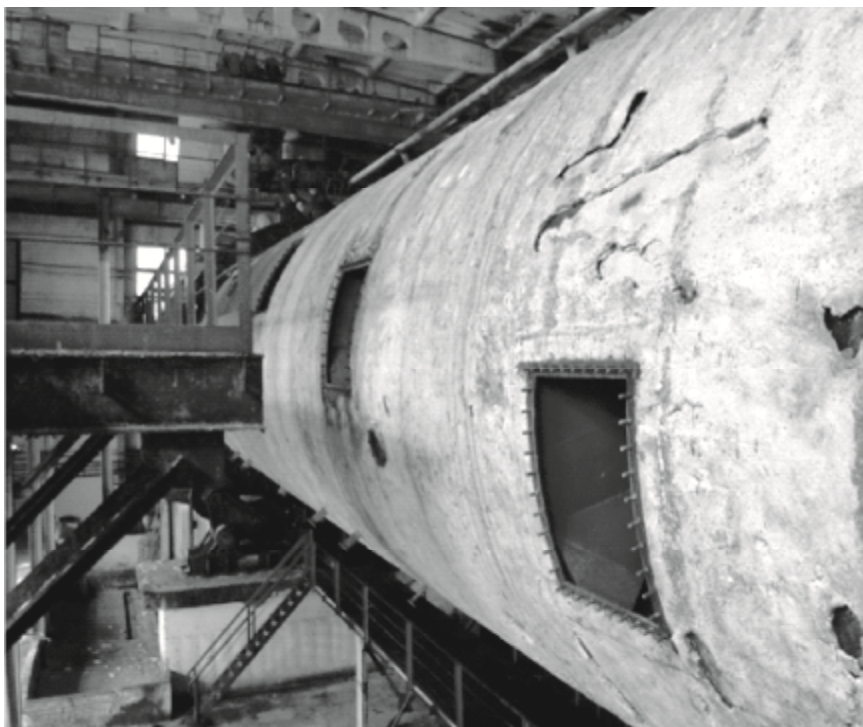


Рис. 2. Общий вид ремонтных люков на барабане аппарата

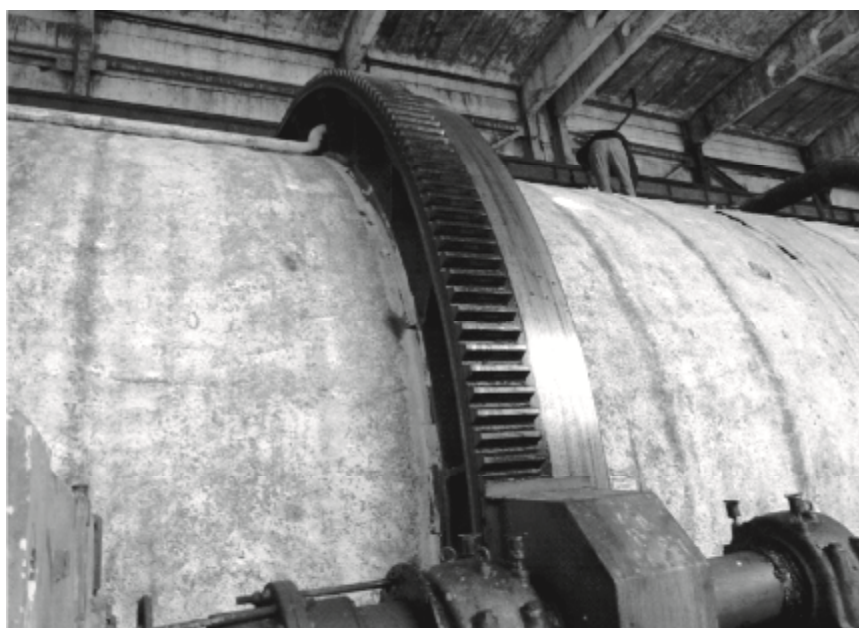


Рис. 3. Опора барабана диффузионного аппарата

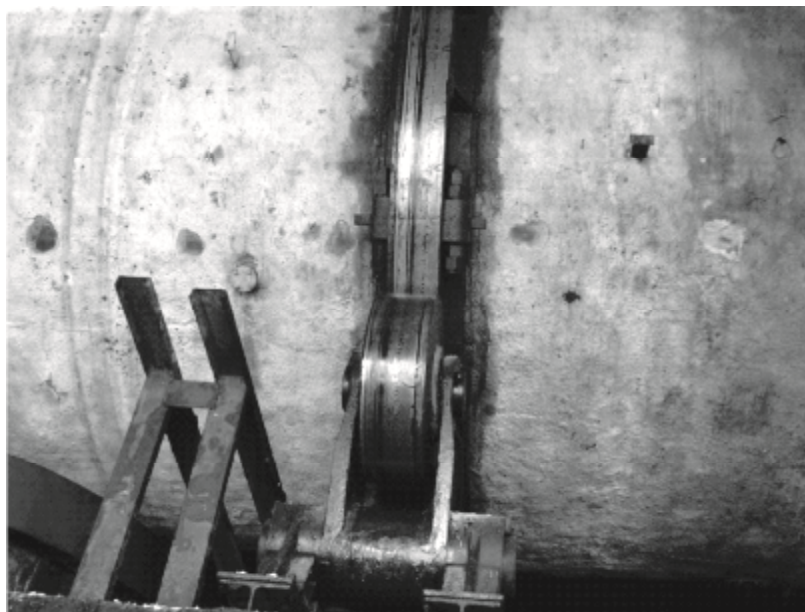


Рис. 4. Узел опирания барабана без привода

Проверочный расчет напряженно-деформированного состояния диффузионного аппарата проводился в программном комплексе Ansys. Моделировалась горизонтальная структура аппарата, состоящие из цилиндрической оболочки диаметром 5,6 м и длиной 41,6 м. Такая расчетная модель включала и опорные бандажи, которые опирались на опорные катки. Цилиндрическая оболочка моделировалась пластинчатыми элементами, а бандажные кольца и катки – объемными. Соединение опорных бандажей с цилиндрической оболочкой и катками осуществлялась объединением перемещением узлов. Толщина оболочки принималась фактической по данным ультразвуковой толщинометрии и находилась в диапазоне 8,2-32 мм, при этом в середине оболочки была минимальная толщина. Нагрузка на диффузионный аппарат состояла из постоянной нагрузки, включающей вес цилиндрической оболочки – 177 т. и вес внутренних перегородок – 73 т. Временная нагрузка от веса стружки и воды рассчитывалась как гидростатическое давление на внутреннюю поверхность и распределялась от 367 кг/м² до 2243 кг/м² соответственно, в верхней и нижней частях аппарата заполненного на 0,4 его объема. Результаты статического расчета приведены на рис. 5, при этом максимальные напряжения в оболочке составили – 454 кг/см² и 385,9 кг/см²

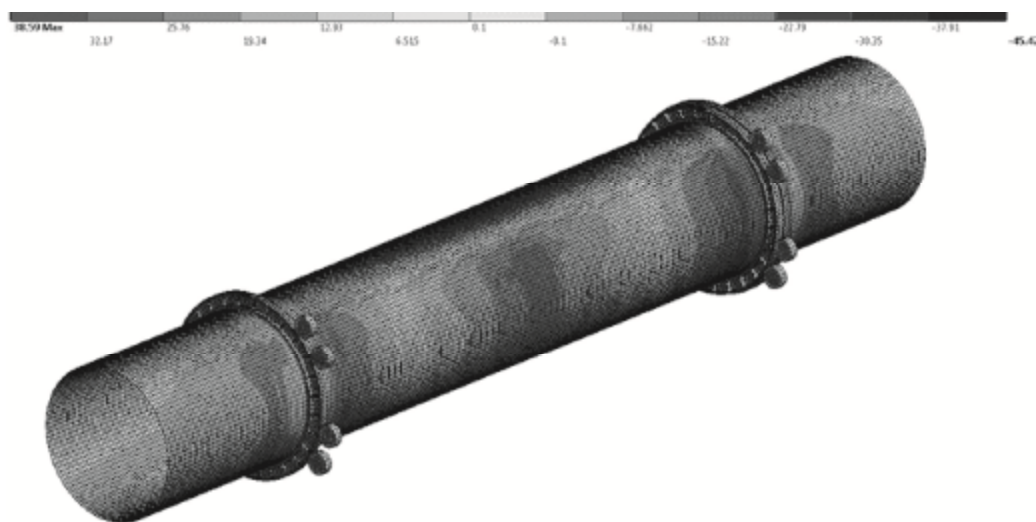


Рис. 5. Нормальные напряжения в оболочке аппарата от расчетного нагружения

Предельное состояние диффузионного аппарата наступает вследствие наступления усталостного разрушения, которое записывается так:

$$\sigma_{\max} / (\alpha \cdot R_v \cdot \gamma_v) = 454,7 / (0,77 \cdot 920 \cdot 1) = 0,64 < 1,$$

где σ_{\max} – максимальные напряжения;

$R_v = 920 \text{ кг/см}^2$ – расчетное сопротивление усталости для стали при группе элементов 3;

$\alpha = 0,72$ – коэффициент, учитывающий количество циклов загрузки;

$\gamma_v = 1$ – коэффициент, зависящий от вида напряженного состояния и асимметрии цикла $\rho = 1$.

Как видим, несущая способность оболочки диффузионного аппарата обеспечена в зонах при отсутствии ремонтных люков. Напряженно-деформированное состояние в местах ремонтных люков зависит от степени затяжки 38 болтов, которыми она крепится к оболочке.

Для исследования данного типа влияния на н.д.с. диффузора в целом выполнялось моделирование части цилиндрической оболочки люка и 38 болтов объемными конечными элементами. Далее прикладывалось сдвигающее усилие к одному из краев оболочки, преднапряжение в болтах равное 3 т и фиксировались соответствующие деформации.

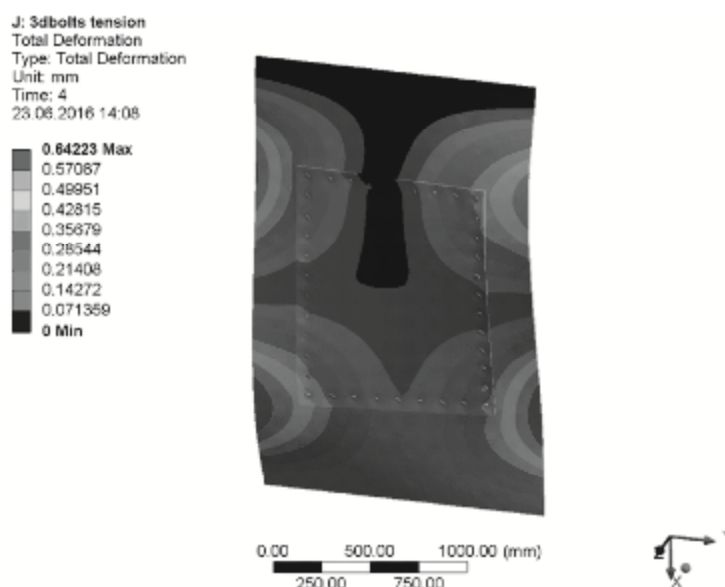


Рис. 6. Деформации объемной конечно-элементной модели оболочки

В ходе исследований выявлено, что значение преднапряжения в болтах существенно влияет на величину деформаций. Меньшее преднапряжение приводит к большим деформациям. Величина преднапряжения в 3 тс. соответствует неконтролируемой затяжке болтов.

Поскольку диффузор обладает большими размерами моделирование его объемными конечными элементами не целесообразно. Для этого применяются модели с использованием пластинчатых элементов. С целью получения реального н.д.с. в области проема общей модели диффузора создавалась модель описываемого выше участка с использованием пластинчатых конечных элементов с сопряжением крышки и оболочки контактным взаимодействием с регулируемым значением жесткости контакта для того, чтобы деформации объемной и пластинчатой моделей совпадали (рис. 7.) Данные характеристики контактного взаимодействия применялись в общей пластинчатой модели диффузора. Модель диффузора включала в себя отверстия в оболочке и крышки для этих отверстий. Совместная работа крышки отверстия с оболочкой моделировалась и описывалась выше. Результаты расчета н.д.с. диффузора с отверстиями приведен на рис. 8. В отличие от н.д.с. диффузора из предположения работы крышки отверстия и оболочки как единого целого рис. 5. с учетом действительной работы напряжения в угловых зонах отверстий оказались существенно выше (2,6 раза). Такое распределение напряжений приводит к риску развитию трещин в этих угловых зонах.

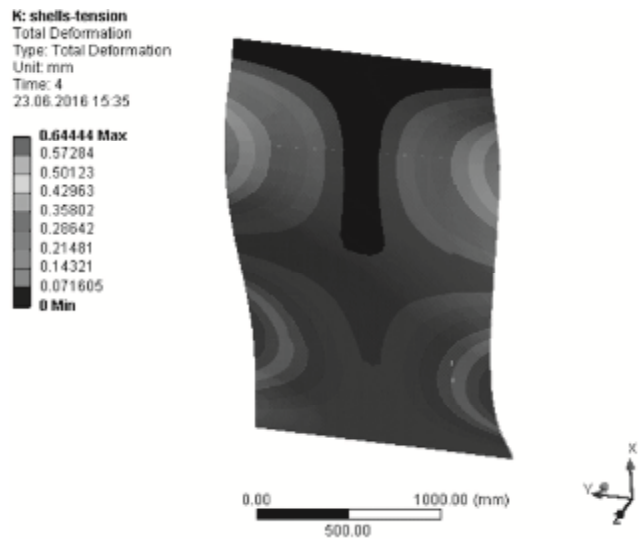


Рис. 7. Деформации пластинчатой конечно-элементной модели оболочки

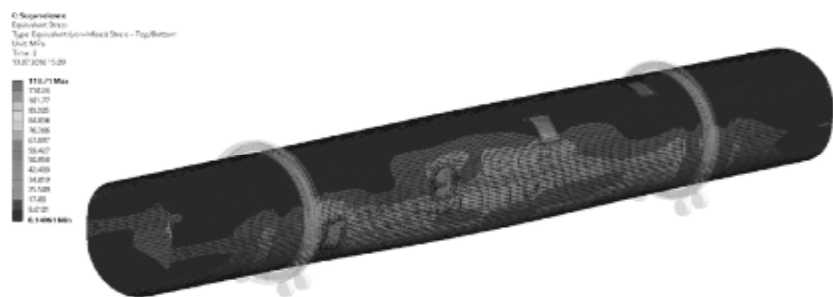


Рис. 8. Н.д.с. диффузора с наличием отверстий

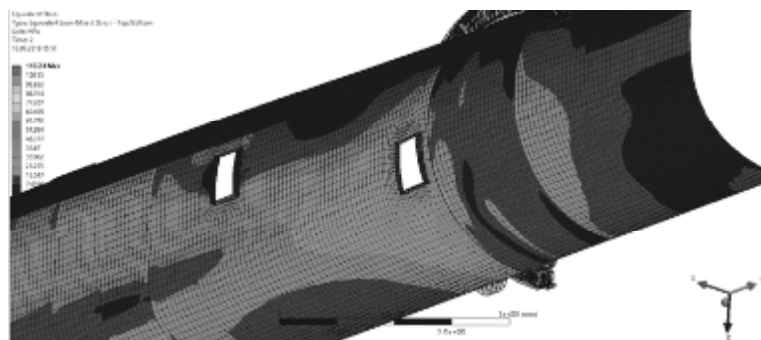


Рис. 9. Н.д.с. диффузора с наличием отверстий и их усилением (1 способ)

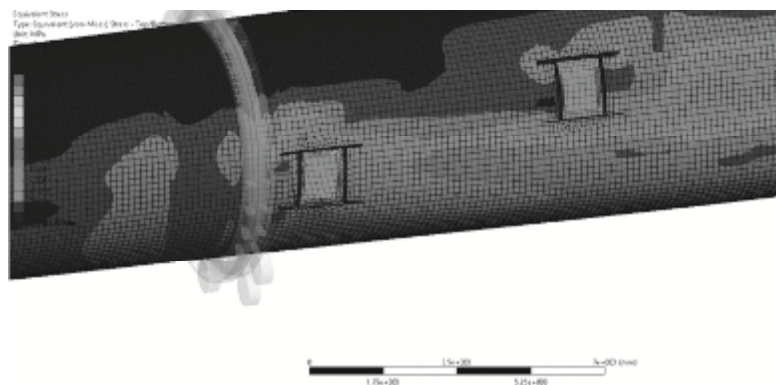


Рис. 10. Н.д.с. диффузора с наличием отверстий и их усилением (2 способ)

Для предотвращения образования существенных концентраций напряжения рассматривались варианты по усилению этих зон.

Первый вариант представлял собой усиление отверстия установкой по его периметру стальных ребер определенной толщины с внутренней стороны оболочки (рис. 9). Вторым вариантом включал усиление отверстий путем установки с наружной стороны продольных и поперечных ребер (рис. 10).

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

- Максимальные напряжения в зоне отверстий возникают в приопорных зонах оболочки;

- Напряжения в оболочке с учетом действительной работы отверстия и крышки выше в 2,6 раза по сравнению с предположением полной совместной работы крышки и отверстия;

- 2 способ усиления уменьшает наличие концентраций напряжений на 20 %;

- 1 способ усиления уменьшает концентрацию напряжений на 5 %.

Результатом исследования является то, что необходимо обязательно учитывать действительную работу отверстия с крышкой т.к. это существенно меняет н.д.с. оболочки. В условиях циклических нагрузок это имеет еще более важное значение. Результаты методики моделирования могут быть применимы к цилиндрическим оболочкам любого типа и вращающимся печам.

Список библиографических ссылок

1. Переработка сахарной свеклы // АГРОХХИ: ежедн. интернет-изд. URL: <http://www.agroxxi.ru/saharnaja-sv-kla/saharnaja-sv-kla-pererabotka/pererabotka-saharnoi-svekly.html> (дата обращения: 01.04.2016).
2. Технологическая линия производства сахара-песка из сахарной свеклы // Знайтовар.ру: ежедн. интернет-изд. URL: <http://www.znaytovar.ru/s/Technologicheskaya liniya proizvod34.html> (дата обращения: 03.04.2016).
3. Технологическое обеспечение сахарного производства // Союз сахаропроизводителей России: Официальный сайт. URL: <http://www.rossahar.ru/Production-of-sugar/technology/> (дата обращения: 05.05.2016).
4. Технология переработки сахарной свёклы // Wikipedia: Электронная Энциклопедия. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sugar_beet (дата обращения: 14.04.2016).
5. Нехаев Г.А. Проектирование и расчёт стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 214 с.
6. EN 13445 «Unfired pressure vessels», часть 3 (конструирование и расчёт), 2004.
7. Расчетная 3D стержнево-пластинчатая модель автоцистерны ОАО «Нефтекамский автозавод» // Научно-технический центр АПМ. Галерея выполненных объектов. URL: https://cae.apm.ru/galereya_vipolnennih_proektov/mashinostroenie/avto.../avtotsistema/ (дата обращения: 15.05.2016).
8. Прочность. Устойчивость. Колебания. Т. 1. Справочник в 3-х томах под ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – 831 с.

Kuznetsov I.L. – doctor of technical science, professor

E-mail: kuz377@mail.ru

Gimranov L.R. – candidate of technical science, senior lecturer

E-mail: leenur@mail.ru

Husainov D.M. – candidate of technical science, associate professor

E-mail: xdmt@mail.ru

Penkovcev S.A. – candidate of technical science, senior lecturer

E-mail: restavratsija@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Assessment of the bearing capacity of the cylindrical diffuser

Resume

The article reviews the assessment of a load-bearing capacity of an existing cylindrical diffuser with a length of 46 m and diameter 5,6 m. The main aspect of that kind of calculations is a creation of a finite element model of the diffuser. Models were made in different software such as «Lira» and «Ansys». The peculiarities of this process were in correct modeling of openings in the shell of the diffuser and using of shell finite elements instead of 3D-elements. The combined work of a shell of the diffuser with the lids over the openings achieved with 38 bolts allocated along perimeter of the openings. This lid-openings system was modeled separately from diffuser for the establishing of a real strain-stress state of that system. Model was made with 3D finite elements and included lid, part of the shell and bolts. The significant influence on the strain-stress state of that system was also provided by the value of pretension in the bolts. The more pretension was induced in bolts the more combined work was provided in the lid-openings system. Real strain-stress state of the system showed an increase in stress up to 2,6 times.

Keywords: beet processing, diffuser, strain-stress state, FEM analysis.

Reference list

1. Beet processing // АГРОXXI: Daily online edition. URL: <http://www.agroxxi.ru/saharnaja-sv-kla/saharnaja-sv-kla-pererabotka/pererabotka-saharnoi-svekly.html> (reference date: 01.04.2016).
2. Technological line of sugar production from beet // znaytovar.ru: Daily online edition. URL: <http://www.znaytovar.ru/s/Texnologicheskaya liniya proizvod34.html> (reference date: 03.04.2016).
3. Technological assistance in sugar production // Union of sugar producers: Official site. URL: <http://www.rossahar.ru/Production-of-sugar/technology/> (reference date: 05.05.2016).
4. Beet processing technology // Wikipedia: The Free Encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sugar_beet (reference date: 14.04.2016).
5. Nehayev G.A. Designing and calculation of low pressured steel cylindrical basins and gas tanks. – M.: Izd-vo ASV, 2005. – 214 p.
6. EN 13445 «Unfired pressure vessels», part 3 (Design Guide), 2004.
7. Finite Element Model of mobile gas tank JSC «Neftekamskiy factory» // Science-engineering center APM Projects gallery. URL: https://cae.apm.ru/galereya_vipolnennih_proektov/mashinostroenie/avto.../avtotsistema/ (reference date: 15.05.2016).
8. Strength. Buckling. Oscillations. vol. 1. Handbook in three volumes under the editorship of I.A. Birgera i Ja.G. Panovko. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 831 p.