

А23

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА имени М. И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

АГЕЕВ Юрий Алексеевич

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ
ЭКСЦЕНТРИЧНО ПОДКРЕПЛЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
ОБОЛОЧЕК ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ НАГРУЖЕНИИ

01.02.03 - строительная механика

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Днепропетровск-1980

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового
Красного Знамени государственном университете имени 300-летия
воссоединения Украины с Россией.

Научный руководитель – кандидат технических наук,
доцент ЗОЗИН В.А.

Официальные оппоненты

– доктор технических наук
ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ И.Н.

– кандидат технических наук
ДУДНИК И.Ф.

Ведущее предприятие – Институт технической механики
АН УССР.

Защита диссертации состоится "12" февраля 1981 г.
в "15" часов на заседании Специализированного Совета
КИ14.07.02 в Днепропетровском институте инженеров железнодо-
рожного транспорта имени М.И. Калинина.

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу
320629, г.Днепропетровск-10, ул. Университетская, 2;

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Тонкие оболочки, сочетая в себе легкость с высокой прочностью, получили в настоящее время широкое применение в различных отраслях народного хозяйства: ракетно-, самолето-, кораблестроении, химической промышленности, строительстве и т.д.

Среди оболочек, встречающихся в реальных конструкциях, наибольшее распространение получили цилиндрические оболочки, подкрепленные ребрами жесткости в продольном или поперечном направлении.

147/1
Система нагрузок, действующих на оболочку, весьма разнообразна, однако, во многих случаях, ее можно свести к действию осевых, поперечных сил и внутреннего или внешнего давления. Причем, действие указанных нагрузок возможно как в "чистом" виде, так и в различных комбинациях. Действие поперечной силы, которая для целого ряда расчетных случаев является определяющей, может быть учтено комбинацией равномерного осевого сжатия и равномерно распределенных касательных нагрузок. Таким образом приходим к задаче устойчивости подкрепленной цилиндрической оболочки, нагруженной в общем случае равномерным осевым сжатием, поперечным давлением и крутящими моментами.

Разработке теоретических основ конструктивно-анизотропных оболочек посвящены работы Флигге, Тейлора, Муштары М.Х., Ленко О.Н., Тербушко О.И., Шехтмана Ю.В., *Hedgereth J.M., Hall D.B., Singer J., Baruch M., Nagari O.* и др.

Несоответствие теоретических данных с результатами экспериментов потребовало разработки методов расчета на основе уточненных уравнений устойчивости оболочек.

В настоящее время развитие теории устойчивости цилиндрических



ких оболочек идет в направлении изучения влияния граничных условий в классической постановке, моментности и нелинейности исходного состояния, неоднородности, начальных физических и геометрических несовершенств.

Исследование влияния указанных факторов при действии осевого сжатия или внешнего давления посвящена обширная литература. Сюда относятся работы Кильчевского Н.А., Кожевникова В.М., Саченкова А.В., Алдутова Н.А., Мяченкова В.И., Григолика Э.И., Мальцова В.П., Фролова А.Н., Амиро И.Я., Пальчевского А.С., Прядко А.А., Андриешской С.И., Маневича А.И., Красовского В.А., Малытина И.С., Рябова В.Н., Заруцкого В.А., Саяншова Ю.А., Nachbar W., Hoff N. J., Almqvist B., Thieleman W.F., Esslinger M. E., Singer J., Rosen A., Simitses G. J., Milligan R., Gerard G., Tennyson R.C., Boston M., Chan K.N. и др. В то же время задача устойчивости цилиндрической оболочки при действии поперечной силы еще далека от решения даже в классической линейной постановке, поскольку ее теоретическое решение связано с необходимостью отыскания собственных чисел системы дифференциальных уравнений в частных производных с переменными коэффициентами. Замена действия поперечной силы равномерными осевым сжатием и касательными нагрузками приводит первоначальную задачу к задаче определения собственных чисел для дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами. Однако, и в этой упрощенной постановке теоретическое определение критических нагрузок представляет весьма сложную задачу и основная трудность заключается в специфике, которую вносит кручение в основное уравнение устойчивости.

К исследованиям, посвященным устойчивости оболочек при кручении и комбинированном нагружении относятся работы Алумиз Н.А., Зозина В.А., Бурмистрова Е.Ф., Сымакина А.М., Шехтмана Д.Е., Грицаке В.З., Кабанова В.В., Николаевской М.М., Yamaki N., Kodama S.,

Watanabe T. Milligan R., Gerard G., Pittne F.A.,
Pharmarajan S. Simitses G. и др. Однако, как
отмечается в монографии Григолика Э.И., Кабанова В.В. "... к насто-
ящему времени нет удовлетворительного решения задачи устойчи-
вости при кручении". Поэтому основное внимание в работе уделяется
устойчивости подкрепленных оболочек при кручении и при комбинаиро-
ванном воздействии кручения и других видов нагрузок, поскольку эта
задача не получила еще полного решения даже в классической поста-
новке.

Цель работы. Исходя из вышеизложенного, целью настоящей работы
является: разработка метода расчета подкрепленных оболочечных кон-
струкций при комбинированном нагружении, исчерпание несущей спо-
собности которых происходит в результате потери устойчивости в
упругой области; исследование влияния граничных условий на устой-
чивость эксцентрично подкрепленных цилиндрических оболочек при
кручении, давления и совместном действии кручения и давления, кру-
чения и осевой силы; оценка точности полубезмоментной теории ус-
тойчивости оболочек при действии кручения; разработка метода рас-
чета устойчивости оболочек, подкрепленных кольцом при действии
кручения с учетом дискретности подкрепления; экспериментальное изу-
чение потери устойчивости гладких и подкрепленных цилиндрических
оболочек при кручении и совместном действии кручения и давления,
кручения и осевой сжимающей и растягивающей силы.

Научная новизна. В диссертации разработан новый метод определения
критических нагрузок эксцентрично подкрепленных цилиндрических
оболочек при комбинированном нагружении с учетом граничных условий.
Получена формула, определяющая критические касательные усилия под-
крепленной цилиндрической оболочки большой длины. Получены графиче-
ские зависимости, позволяющие произвести выбор рационального под-
крепления при проектировании оболочек, подверженных действию круче-

ния. На основе уравнений полубезмоментной теории устойчивости построены эффективные приближенные методы исследования устойчивости подкрепленных оболочек при комбинированном нагружении, при действии крутящих моментов с учетом дискретности подкрепляющих кольцевых ребер. Проведены экспериментальные исследования устойчивости гладких и подкрепленных цилиндрических оболочек при действии кручения и комбинированном нагружении крутящими усилиями и осевой сжимающей (растягивающей) силой, крутящими усилиями и внешним давлением. Приведены результаты испытаний 156 оболочек.

Практическая ценность. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании элементов конструкций типа гладких и подкрепленных цилиндрических оболочек подверженных воздействию различного рода нагрузок. Они могут найти применение в КБ и НИИ, занимающихся проектированием и исследованиями оболочечных конструкций для предприятий различных министерств и ведомств.

Внедрение результатов. Проведенные в работе исследования внедрены в производство с экономическим эффектом 18530 руб. Соответствующие нагораты и программы используются в НИИД прочности и надежности конструкций Днепропетровского университета.

Апробация работы. Основные результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на научном межвузовском семинаре "Математические проблемы механики" (г.Днепропетровск, научный руководитель академик АН УССР В.И.Моосаковский), на VII Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластики (г.Ростов-на-Дону, 1971 г.), на IX Всесоюзной конференции по проблемам устойчивости в строительной механике (г.Харьков, 1972 г.), на научных конференциях, посвященных итогам НИР ДГУ за 1970-80 гг.

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в 5 работах.

НТБ
ДНУЖТ

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и приложения, содержит 151 страницу машинописного текста, 27 рисунков. Библиография включает 122 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведен краткий обзор работ советских и зарубежных авторов, посвященных вопросам устойчивости цилиндрических оболочек. Дается обоснование выбора темы исследования, оценка ее актуальности, определяется цель исследований, приведены аннотация всех глав.

Первая глава посвящена исследованию устойчивости подкреплённых цилиндрических оболочек при комбинированном нагружении, проведенному на основе полных уравнений устойчивости.

В п. 1.1 вариационным методом получена самосопряженная система дифференциальных уравнений устойчивости подкреплённой цилиндрической оболочки при комбинированном нагружении с учетом знака эксцентриситета подкрепления, которая сведена к одному уравнению 8-го порядка в перемещениях. Затем методом разделения переменных оно приводится к обыкновенному дифференциальному уравнению 8-го порядка с комплексными коэффициентами. Решение уравнения устойчивости выбирается в виде

$$\Phi = \sum_{m=1}^8 C_m f_m(\xi) = \sum_{m=1}^8 C_m e^{i \lambda_m \xi} \quad (1)$$

Окончательно, получено следующее матричное равенство

$$R_i(\xi) = [A] [f_i^{(j-1)}(\xi)] [C_i], \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, 8), \quad (2)$$

где R_i - вектор, составляющие которого соответственно равны

$$u, v, w, w', T_x, S, M_x, Q_x$$

A - матрица граничных условий;

$f_i^{(j-1)}(\xi)$ - матрица, составленная из производных функций $f_i(\xi)$

C_i - вектор произвольных постоянных.

НТБ
ДНУЖТ

В п. 1.2 приведена классификация симметричных граничных условий и приведены матрицы для различных их вариантов.

В п. 1.3 разработаны алгоритмы решения задачи устойчивости цилиндрической оболочки при комбинированном нагружении, который состоит в следующем:

для заранее выбранных S_0 и n (при фиксированных T_{01} и T_{02}) определяются корни характеристического уравнения и составляется матрица функций и их производных $f_i^{(j-1)}(\xi)$, ($\xi=0$, $\xi=in\ell/R$); выполняются матричные операции по формуле (2) для заданных граничных условий;

3) составляется и вычисляется характеристический определитель;

4) внешняя нагрузка S_0 меняется с некоторым шагом до тех пор, пока определитель не поменяет знак; полученное собственное значение нагрузки уточняется до получения заданной точности;

5) из совокупности собственных чисел, вычисленных для различных n , выбирается минимальное, которое и является критическим для данной оболочки.

В п. 1.4 рассмотрена устойчивость подкрепленных цилиндрических оболочек при различных видах нагружения и приведены результаты расчетов при кручении, внешнем давлении, совместном действии кручения и давления, кручения и осевой сжимающей силы. Рассмотрено 12 вариантов симметричных граничных условий. В процессе численной реализации задачи устойчивости цилиндрической оболочки при кручении выяснилось, что все 12 вариантов можно объединить в два семейства (по 6 вариантов в каждом). В первом семействе не допускаются перемещения вдоль образующей ($u=0$), а во втором - такое ограничение отсутствует. Критические нагрузки внутри каждого из семейств практически не отличаются друг от друга. Различие между указанными семействами также незначительно и составляет

6-7 %. Влияние знака эксцентриситета подкрепления при действии кручения незначительно и для поперечного подкрепления составляет 3-4 %. (Рис. I).

При действии внешнего давления рассматривались по одному варианту граничных условий из каждого семейства: $S1 (u=v=w=w'=0)$ и $S2 (v=T_x=w=w'=0)$. Расчеты показали, что вариант $S1$ увеличивает критическое давление по сравнению с вариантом $S2$ на 40-45 %. Знак эксцентриситета подкрепления для варианта $S1$ практически не влияет на величину критического давления, а для

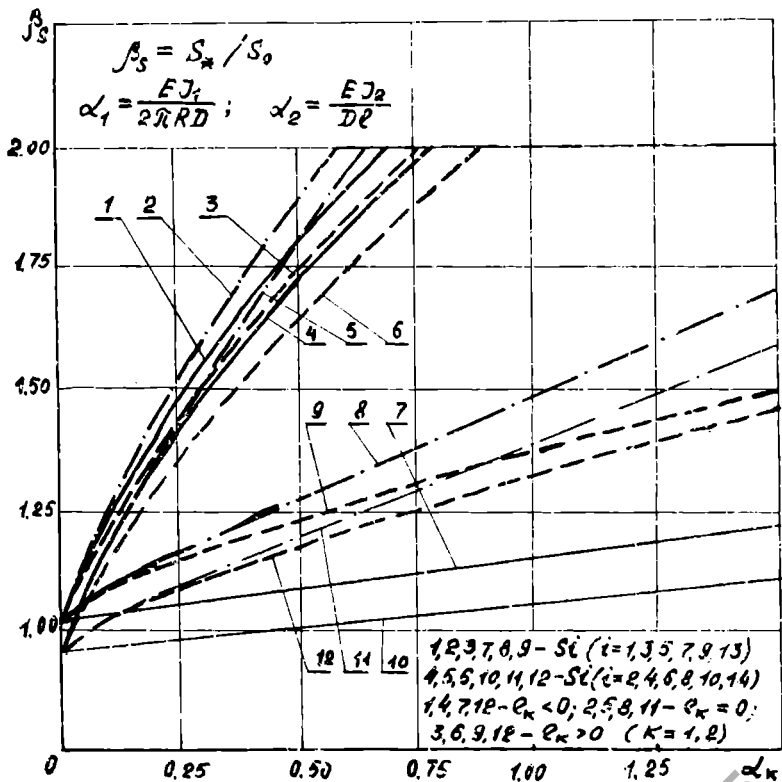


Рис. I

НТБ
ДНУЖТ

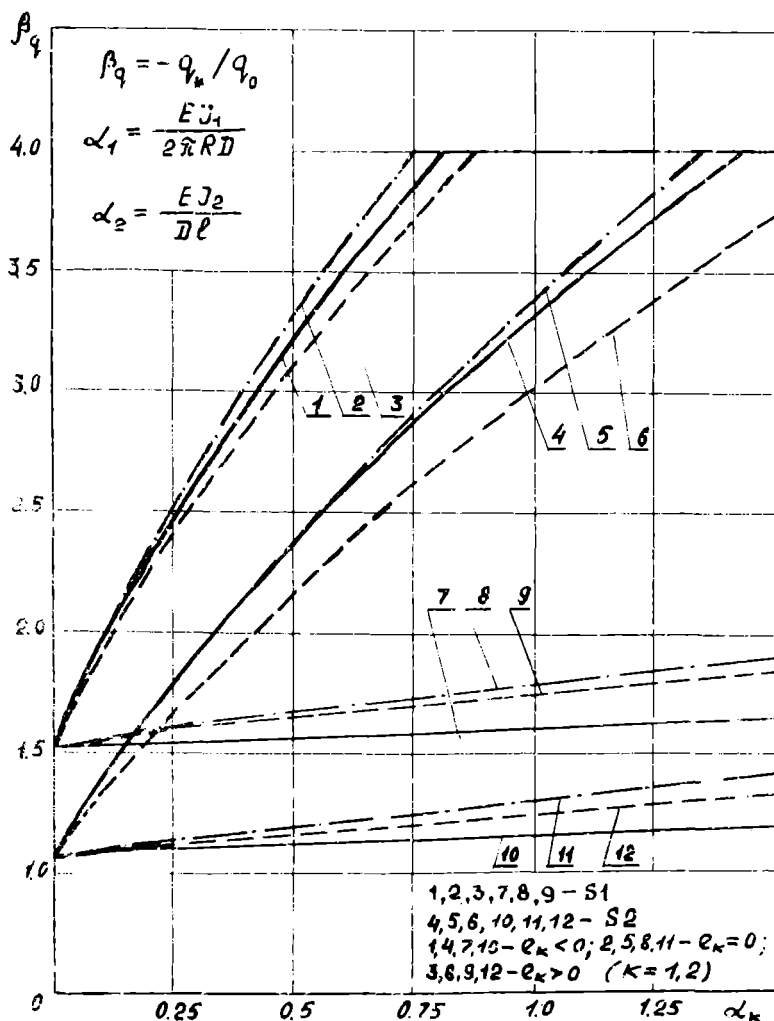


Рис. 2

S2 - внутреннее расположение шпангоутов, по сравнению с внешним, увеличивает критическое давление на 10-12 %. (Рис. 2).

При совместном действии кручения и внешнего давления, различие между вариантами S1 и S2 увеличивается с ростом парамет-

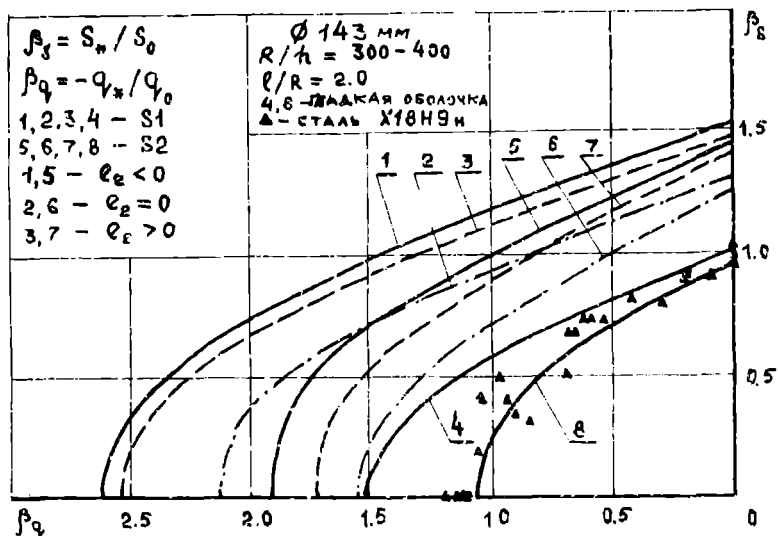


Рис. 3

ра давления от 6-7 % до 40-45 %. Влияние знака эксцентриситета невелико и только для больших параметров давления, в случае варианта S2 достигает 10-12 %. (Рис. 3).

При совместном действии кручения и осевой сжимающей силы (Рис. 4) критические нагрузки для вариантов S1 и S2 практически неотличимы. Влияние знака эксцентриситета поперечного подкрепления с ростом параметра осевых усилий уменьшается и практически не сказывается на величинах критических нагрузок. Для рассмотренного класса оболочек, в широком диапазоне изменения параметра осевых усилий, предпочтительнее поперечное подкрепление, и только для осевых усилий, близких к критическим, продольное наружное подкрепление более выгодное.

В этом же пункте получена замкнутая формула определения критической касательной нагрузки подкрепленной оболочки большой длины, которая при предельном переходе к гладкой оболочке переходит в

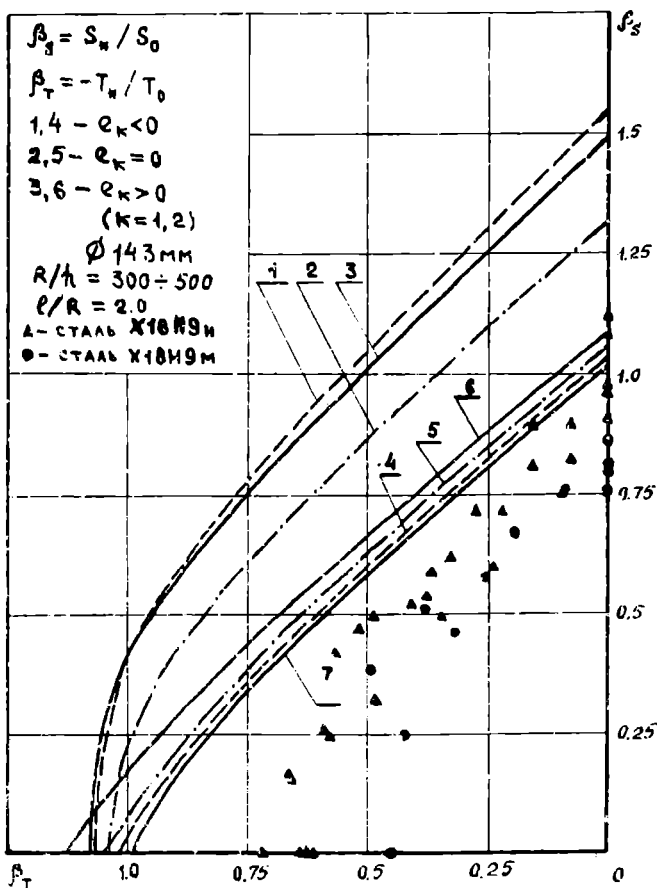


Рис. 4

известную формулу *Schweizer*.

На основании полученных графических зависимостей предложена методика выбора рационального подкрепления при проектировании оболочек, подверженных действию кручения. Приведен пример расчета.

Вторая глава посвящена исследованию устойчивости подкрепленных цилиндрических оболочек при комбинированном нагружении, приведенному на основе полубезмоментной теории устойчивости оболочек.

В п. 2.1 рассмотрена конструктивно-ортотропная схема. Получено основное уравнение устойчивости и предложен алгоритм решения задачи. В качестве примера рассмотрена устойчивость оболочек при кручении и проведено сравнение с результатами, полученными в первой главе. Здесь не получена замкнутая формула определения критических касательных усилий подкрепленной оболочки с учетом граничных условий

$$S_* = \frac{2 C_2^{0.5}}{2^{0.5} R^{0.75} B_{22}} (B_{11} B_{22} - B_{12}^2)^{0.375} (B_{22} D_{22} - K_{22}^2)^{0.675} \quad (3)$$

где C_2 - параметр, определяемый граничными условиями.

Для двух вариантов граничных условий: жесткого защемления и шарнирного опирания C_2 определяется из условия равенства нулю характеристического определителя

$$J_{\text{жжж}} = \cos C_2 - \frac{3 \varphi^2}{\sqrt{2 \varphi^2 + 1}} \sin C_2 = 0,$$

$$J_{\text{шшш}} = \cos C_2 + \frac{3 \varphi^4 + 2 \varphi^2 + 1}{2 \varphi^2 \sqrt{2 \varphi^2 + 1}} \sin C_2 = 0.$$

При $\varphi^2 = 5.648$ имеем, что для защемления $C_2 = 3.34$, а для шарнира - $C_2 = 2.79$.

В п. 2.2 рассматривается устойчивость подкрепленных цилиндрических оболочек при комбинированном нагружении с учетом дискретности подкрепления. Получено матричное уравнение метода начальных параметров для каждого пролета оболочки. Подробно рассмотрена задача устойчивости цилиндрической оболочки, подкрепленной упругим кольцом, при действии равномерной касательной нагрузки. Условия стыковки пролетов оболочки с кольцом записываются в форме

$$\psi^{(4)} - i \frac{E_1 J}{E h} \frac{\rho^3}{R^6} n^4 (n^2 - 1)^2 \psi' = \psi''' +$$

$$\psi'' - i \frac{E_1 J_p}{E h} \frac{\rho}{R^4} n^2 (n^2 - 1)^2 \psi' = \psi'' +$$

где $E_1 J$ и $E_1 J_p$ - изгибные жесткости кольца в плоскости и из плоскости, соответственно.

В качестве примера рассмотрена задача определения критической касательной нагрузки для оболочки, подкрепленной кольцом, расположенным посередине по длине оболочки ($\xi_{01} = \xi_{02} = 0.5$). Получена замкнутая формула для определения критической нагрузки кручения

$$S_* = \frac{0.413 E}{(1-\nu^2)^{0.625}} \frac{h^{1.25}}{\rho^{0.5} R^{0.75}} C_2^{0.5} \quad (4)$$

где C_2 - параметр, определяемый граничными условиями.

Величина C_2 для случаев защемления и свободного опирания определяется соответственно из уравнений

$$\alpha_2 C_2 = \frac{\operatorname{tg}^2 \frac{C_2}{2} + 9.658 \operatorname{tg} \frac{C_2}{2} - 1}{-24.11 \operatorname{tg}^2 \frac{C_2}{2} + 3.211 \operatorname{tg} \frac{C_2}{2} + 0.369} \quad (5)$$

$$\alpha_2 C_2 = \frac{\operatorname{tg}^2 \frac{C_2}{2} - 5.45 \operatorname{tg} \frac{C_2}{2} - 1}{13.61 \operatorname{tg}^2 \frac{C_2}{2} + 6 \operatorname{tg} \frac{C_2}{2} + 0.369} \quad (6)$$

где $\alpha_2 = E J / D \ell$.

Решение уравнений (5) и (6) относительно C_2 с точностью до 1% аппроксимируется зависимостями

$$\sqrt{C_2} = 2.465 - 0.63 \exp(-10 \alpha_2)$$

$$\sqrt{C_2} = 2.342 - 0.67 \exp(-9.1 \alpha_2)$$

На Рис. 3 приведена зависимость $\sqrt{C_2} = f(\alpha_2)$, где кривая

I - соответствует (5), а кривая 2 - (6).

Проведено сравнение с результатами, полученными в первой главе.

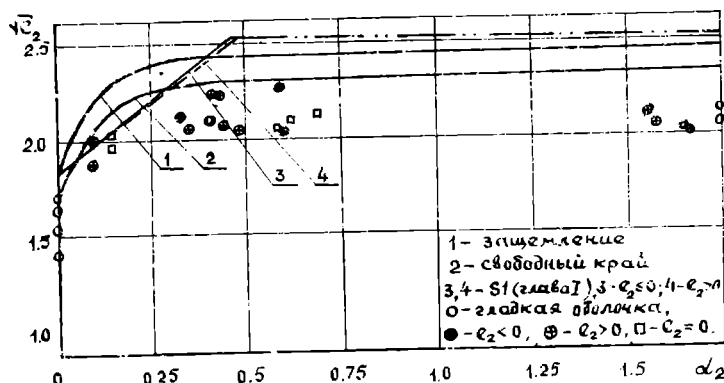


Рис. 5

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям устойчивости гладких и подкрепленных цилиндрических оболочек при различных видах нагружения.

В п. 3.1 приведено описание экспериментальной установки для проведения испытаний цилиндрических оболочек при действии кручения, осевой сжимающей или растягивающей силы, внешнего или внутреннего давления и при комбинациях перечисленных нагрузок. Описана технология изготовления испытываемых образцов и подкрепляющих их элементов. Испытывались оболочки диаметром 143 мм., $R/t = 300-800$; $\ell/R = 2.6-2.2$. Оболочки изготавливались из холоднокатанной листовой нержавеющей стали марки Х18Н9 (нагартованная - $\sigma_{02} = 90 \text{ кг/мм}^2$, мягкая - $\sigma_{02} = 25 \text{ кг/мм}^2$, $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$) из плоских заготовок, напернутых на специальный барабан, точечной сваркой, внах-

лест. Заданный диаметр оболочек выдерживался с точностью до 0.01-0.02 мм. Подкрепляющие элементы изготавливались из того же материала, что и оболочки и приваривались к оболочке точечной сваркой. Отрыва элементов в процессе испытаний не происходило. Испытывались оболочки как с внутренним, так и с внешним расположением подкрепляющих элементов. При испытаниях края оболочек приклеивались к жестким торцевым приспособлениям с помощью клея, изготовленного на основе эпоксидной смолы ЭД-5, что обеспечивало граничные условия, близкие к заземлению.

В п. 3.2 приведены результаты испытаний оболочек при действии кручения. Испытывались оболочки только с поперечным, или только с продольным подкреплением. Всего испытано 23 оболочки. Результаты испытаний представлены на Рис. 6.

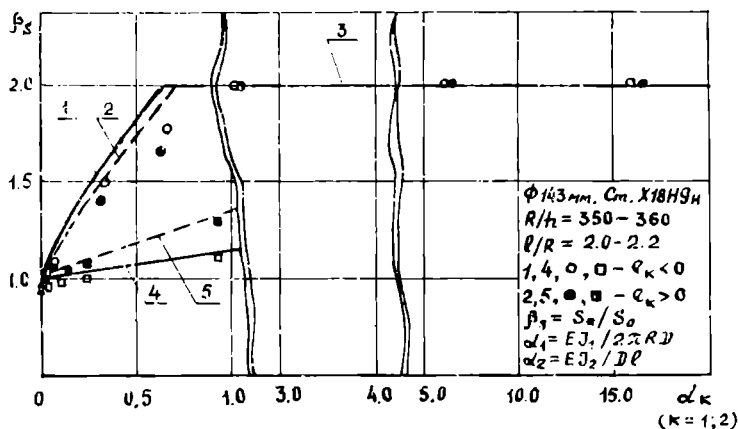


Рис. 6

Экспериментальные значения критической касательной нагрузки для оболочек, подкрепленных в поперечном направлении, составляет 86 - 93 % от расчетных, а для оболочек, подкрепленных в продоль-

ном направлении - 95 - 99 % от расчетных.

В этом же пункте приведены результаты испытаний оболочек с одним центральным плангоутом. Всего было испытано 26 оболочек. Результаты испытаний представлены на Рис. 5. Теоретические расчеты и экспериментальные данные разнятся не более, чем на 15 %. Как теоретические, так и экспериментальные исследования показали, что подкрепление оболочек кольцами с относительной жесткостью $d_2 > 0.4$ нецелесообразно.

В п. 3.3 приведены результаты испытаний гладких оболочек при комбинированном нагружении кручением и осевой сжимающей силой (рис. 4 - 31 образец), кручением и осевой растягивающей силой (рис. 7 - 42 образца), кручением и внешним давлением (рис. 3 - 31 образец). Эксперименты показали удовлетворительное совпадение с теоретическими результатами в случае осевых растягивающих усилий и внешнего давления. В связи с тем, что критическая нагрузка при осевом сжатии составляет около 70 % от теоретической, расчетные и экспериментальные результаты при кручении и осевом сжатии совпадают лишь качественно.

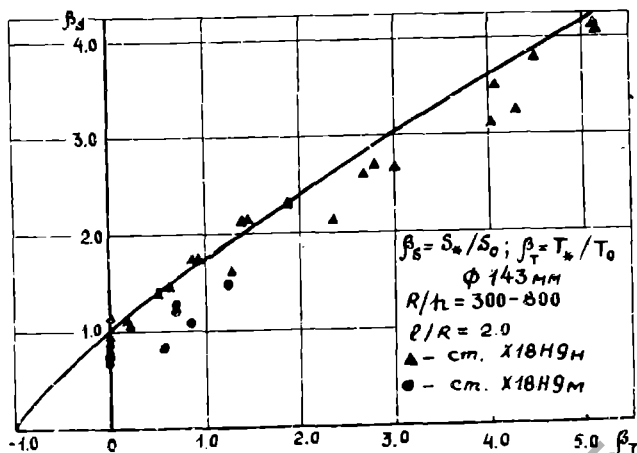


Рис. 7

НТБ
ДНУЖТ

В приложении приведены программы расчета критических параметров нагружения для подкрепленных оболочек при комбинированном нагружении. Программы составлены на языке "Алгол-60" (транслятор ТА-ИМ). Здесь же приведены примеры расчета.

В заключении изложены полученные результаты, которые, в основном, сводятся к следующему:

1. Вариационным методом получена система уравнений устойчивости подкрепленной цилиндрической оболочки при комбинированном нагружении с учетом знака эксцентриситета подкрепления. Матрица дифференциальных операторов симметричная ($L_{ij} = L_{ji}$, $i, j = 1, 2, 3$), что свидетельствует о самосопряженности полученной системы и наличии действительных собственных значений. Получены естественные граничные условия задачи и проведена их классификация.

2. Разработан метод определения минимальных собственных чисел системы, соответствующих критическим параметрам нагружения. Предложен алгоритм расчета подкрепленных цилиндрических оболочек при комбинированном нагружении с участием кручения. На основании предложенного метода и алгоритма расчета создана универсальная программа (Алгол-60, транслятор ТА-ИМ), позволяющая производить расчет устойчивости оболочек при комбинированном нагружении с подкреплениями различного типа при различных симметричных граничных условиях. Получена приближенная формула типа *Schweigen* для ортотропной подкрепленной оболочки большой длины.

3. Исследованы 12 вариантов симметричных граничных условий. Показано, что критические нагрузки определяются, главным образом, факторами, характеризующими основное напряженное состояние.

4. Получены графические зависимости, на основании которых предложена методика проекторочного расчета подкрепленных цилиндрических оболочек работающих на устойчивость при кручении.

5. Проведена оценка точности полубезмоментной теории устой-

чивости подкрепленных оболочек при кручении. Показано, что практические расчеты можно производить по подбездоментной теории, дающей некоторый запас.

6. Построены эффективные приближенные методы исследования устойчивости подкрепленных оболочек при комбинированном нагружении с учетом дискретности подкрепляющих кольцевых ребер. Решена задача устойчивости цилиндрической оболочки, подкрепленной кольцом посредине, при действии кручения. Установлено предельное значение относительного параметра жесткости подкрепляющего элемента, выше которого его дальнейшее увеличение нецелесообразно. Получена замкнутая формула (4), которая может быть рекомендована для практических расчетов. Для часто подкрепленных оболочек, подверженных действию кручения, предложена формула (3) (без учета дискретности подкрепления), которая может быть рекомендована для практической оценки критических напряжений.

7. Спроектирована и изготовлена установка для проведения систематических экспериментальных исследований устойчивости цилиндрических оболочек при комбинированном нагружении с участием кручения. Проведены экспериментальные исследования устойчивости гладких и подкрепленных цилиндрических оболочек при комбинированном нагружении. Испытания показали, что для высокопрочных, тщательно изготовленных оболочек, с малым уровнем начальных несовершенств, расчеты можно производить по линейной теории, которая дает удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными.

8. Предложенные алгоритмы и расчетные программы могут быть использованы на стадии проектировочного расчета тонкостенных оболочечных конструкций для различных расчетных случаев нагружения.

НТБ
ДНУЖТ

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Мосенковский В.И., Зюзин В.А., Смелый Г.Н., Конох В.И., Агеев Д.А. Исследование устойчивости цилиндрической оболочки при комбинированном нагружении. ЦМ, Киев, 1971, т.7, в.5, с.105-109.

2. Агеев Д.А., Зюзин В.А., Конох В.И. Влияние граничных условий на устойчивость цилиндрических оболочек при совместном действии кручения и внешнего давления.-Тезисы докладов/ IV Всесоюзная конференция по проблемам устойчивости в строительной механике. Харьков, 1972, с.107-108.

3. Агеев Д.А., Зюзин В.А., Конох В.И. Устойчивость цилиндрической оболочки подкрепленной кольцом при действии кручения.-Труды/ VII Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин. Ростов-на-Дону, 1971, М., Наука, 1973, с.195-199.

4. А.С. 363016 СССР. Установка для испытания при сложном напряженном состоянии. /Агеев Д.А., Конох В.И.- Свод изобретений СССР, 1973, в.3, с.82.

5. Зюзин В.А., Агеев Д.А. Влияние граничных условий на устойчивость подкрепленных оболочек при комбинированном нагружении. Деп. в ВИНТИ, № 3453-78, с. 44.

НТБ
ДНУЖТ

АГЕЕВ Юрий Алексеевич

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ
ЭКСЦЕНТРИЧНО ПОДКРЕПЛЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
ОБОЛОЧЕК ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ НАГРУЖЕНИИ

С 1.02.03 —строительная механика

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Подписано к печати 26.XII.80. БТ 62728. Формат бумаги 60х84/16.
Бумага типографская №2. Усл.печ.л. I, 0. Уч.-изд. л. I, 0. Заказ 193
Тираж 160 экз.

Редакционно-издательский отдел ДТУ, г. Днепропетровск, пр. Гагарина, 72
Ротапринт ДТУ, г. Днепропетровск, ул. Генерала Пушкина, 4.

сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ