

6
A-36
АКАДЕМИЯ НАУК ЛАТВИЙСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ ПОЛИМЕРОВ

На правах рукописи

Шлица Р.П.

Р.П. Шлица

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ИЗГИБА СТЕРЖНЕЙ С ПРЯМОЙ
И КРУГОВОЙ ОСЬЮ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ПЛАСТИКОВ

(ОI.022. Сопротивление материалов и
строительная механика)

Автореферат
диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Рига, 1971

АКАДЕМИЯ НАУК ЛАТВИЙСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ ПОЛИМЕРОВ

На правах рукописи

Р. П. Шлица

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ИЗГИБА СТЕРЖНЕЙ С ПРЯМОЙ
И КРУГОВОЙ ОСЬЮ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ПЛАСТИКОВ

(ОI.022. Сопротивление материалов и
строительная механика)

Автореферат

диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Рига, 1971

000123

Работа выполнена

в Институте механики полимеров АН Латвийской ССР

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор Ю.М.Тарнопольский
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
А.В.Розе

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор В.Л.Бидерман
доктор технических наук В.В.Васильев

Ведущее предприятие: Московский авиационный технологи-
ческий институт, кафедра сопротивления материалов.

Автореферат разослан "17" *июля*..... 1971 г.

Защита диссертации состоится "18" *июля*..... 1971 г.

на заседании Ученого Совета Института механики полимеров
АН Латвийской ССР по адресу: г.Рига, ул.Айзкрауклес, 23.

О защите диссертации будет объявлено в газете "Циня".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института механики полимеров АН Латвийской ССР.

Ученый секретарь Совета

кандидат технических наук Р.Д.Максимов

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

374220

В настоящее время в технике широко применяются материалы, армированные волокнами. Перспективность этих материалов общепризнана; она неоспоримо доказана всесторонними исследованиями и практикой эксплуатации ответственных конструкций. Интерес к композитам непрерывно возрастает. Об этом свидетельствуют как рост числа исследований в этой области, так и непрерывный рост затрат на изучение и внедрение композитных материалов. Особое внимание привлекают вопросы механики композитов. Им посвящены фундаментальные исследования С.А.Амбарцумяна, В.Л.Бидермана, В.В.Болотина, Г.А.Ван Фо Фы, В.И.Королева, С.Г.Лехницкого, А.К.Малмейстера, П.М.Огибалова, Ю.Н.Работнова, Г.Н.Савина, С.В.Серенсена и ряда других отечественных и зарубежных ученых. Вопросы механики композитов становятся предметом обсуждения специальных конференций, а также занимают все большее место в программах конференций по расчету самых различных конструкций.

При существующей технологии большинство конструкций из материалов, армированных волокнами, имеют слоистую или волокнистую структуру; разработка пространственных схем армирования находится еще в начальной стадии. Такое строение порождает ряд достаточно хорошо изученных отрицательных особенностей армированных пластиков: слабое сопротивление межслойному сдвигу, слабое сопротивление растяжению-сжатию (поперечному отрыву) при нагружении перпендикулярно волокнам по сравнению с прочностью и жесткостью в направлении армирования, чувствительность к искривлению волокон.

Предметом исследования в данной работе является поведение стержней с прямой и круговой осью. Выполненные исследования подчинены цели создания основ расчета сосудов (труб, резервуаров, емкостей). Эти изделия являются весьма ответственными

элементами конструкций, в то же время для их изготовления широко применяются материалы, армированные волокнами. Рассмотрены типовые случаи нагружения, когда радиальная нагрузка постоянна, или существенно меняется только в осевом или только в окружном направлениях (рис. 1). Изучены вопросы изгиба колец и балок на упругом основании. Задачи решены в линейной постановке. Разумеется, такой подход не является исчерпывающим, однако позволяет в достаточной мере оценить влияние основных параметров. Кроме того, полученные результаты важны при выборе и регламентации методов испытаний материалов, армированных волокнами.

Экспериментальная проверка выполнена на отечественных серийных стеклопластиках, армированных ровницей (с укладкой 1:0 и 1:1) и тканью сатинового переплетения.

Связующие: феноло-формальдегидное (материалы ЛСО-Р-2М и АГ-4С), модифицированное полиэфирэпоксидное (материал ЛСБ-Ф), эпоксифенольное (стеклотекстолит). Хотя экспериментальная проверка проводилась на стеклопластиках, полученные результаты характерны для всех материалов, когда податливая матрица армирована непрерывными волокнами. Применение более жесткой и более прочной арматуры по сравнению с стекловолокнами лишь усиливает анизотропию и тем самым увеличивает важность учета исследованных факторов.

Особенность построения работы состоит в том, что литературный обзор дан не к диссертации в целом - в настоящее время нет необходимости доказательства важности учета отмеченных отрицательных особенностей при расчете конструкций из композитных материалов, а отдельно по главам. Особое внимание уделено работам С.А. Амбарцумяна, В.В. Болотина, В.В. Васильева,

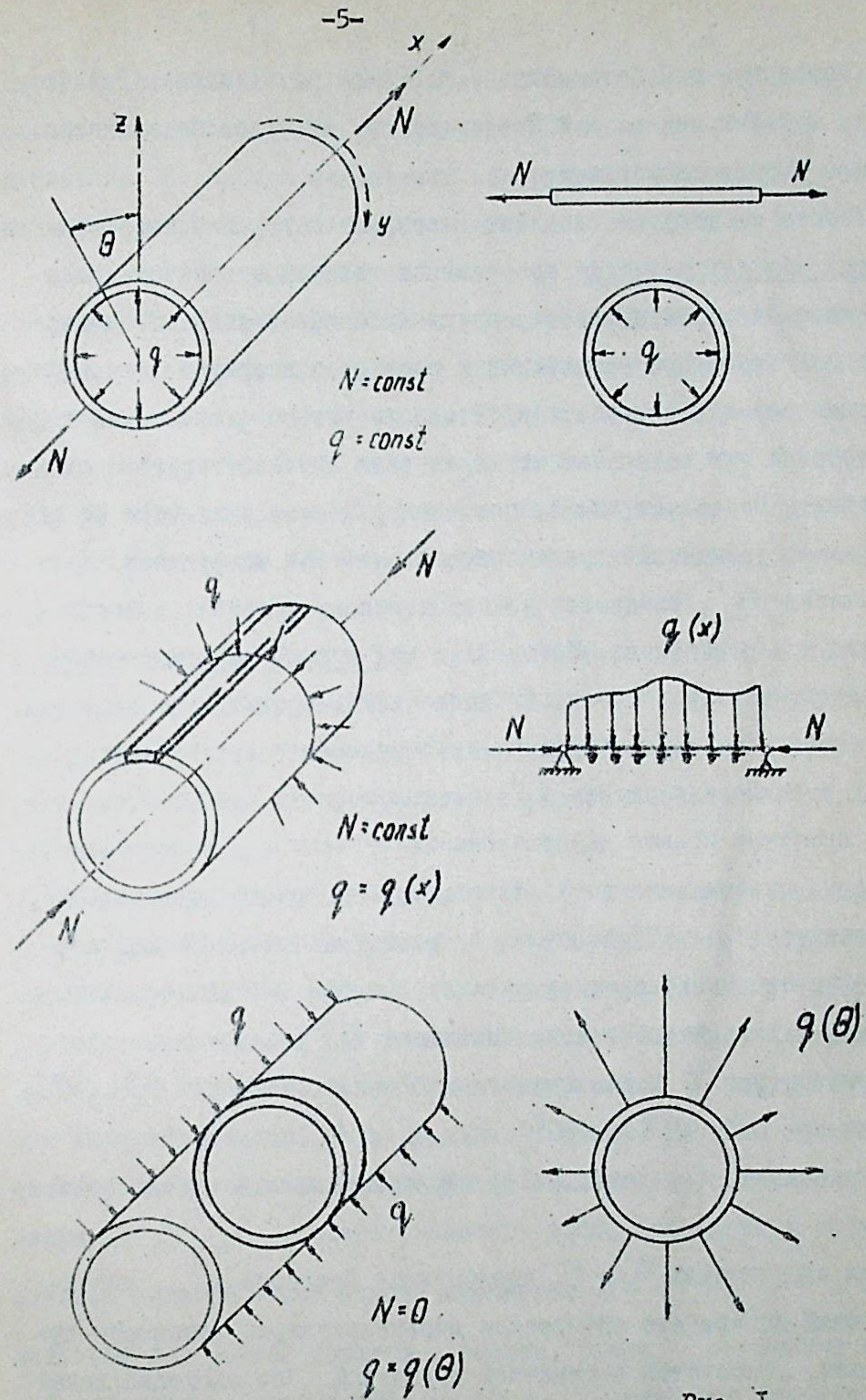


Рис. 1

В.И.Королева, в.П.Николаева, Б.Л.Пелеха, Е.П.Попова, Г.А.Терса, С.П.Тимошенко, В.Т.Томашевского, наиболее близко относящимся к теме диссертации.

Работа состоит из введения, четырех глав и библиографии. Первая глава имеет вспомогательное значение, она посвящена экспериментальному изучению особенностей поведения стеклопластиков при растяжении в направлении армирования, позволяющим оценить уровень напряжения до которого при расчете конструкций эти материалы можно считать линейно-упругими и сплошными. Имеющиеся экспериментальные данные указывают на скачкообразное увеличение трещинообразования при нагружении выше напряжения σ_x^* , соответствующему перелому в кривой деформирования при растяжении. Установлен вид кривой деформирования при растяжении, а также соотношения между продольными ϵ_x и поперечными ϵ_y, ϵ_z деформациями, определен характер деформаций до и после напряжения σ_x^* . Оказалось, что при растяжении вдоль арматуры кривые деформирования изученных стеклопластиков, армированных розницей, имеют перелом при напряжениях σ_x^* , составляющих 30 - 50% от кратковременной статической прочности. Более отчетливо перелом проявляется для материалов, армированных в двух направлениях. Значение σ_x^* уменьшается с ростом температуры t ; для материала АГ-4С зависимость $\sigma_x^* = f(t)$ линейна при $18^\circ\text{C} \leq t \leq 150^\circ\text{C}$. При $\sigma_x > \sigma_x^*$ в исследованном материале АГ-4С (укладка 1:1) образуются остаточные деформации.

При напряжениях $\sigma_x > \sigma_x^*$ коэффициент Пуассона ν_{yx} , характеризующий поперечные деформации перпендикулярно плоскости армирования, становится переменной величиной. Это свойство может быть использовано для установления уровня напряжений σ_x^* , до

которого стеклопластик можно считать сплошным материалом. При повышенных температурах коэффициент Пуассона может стать отрицательным; с помощью киносъёмки обнаружено "разбухание" образца перед разрушением (эффект расталкивания волокон).

Последующие три главы связаны с расчетом цилиндрических сосудов. Цилиндрическую оболочку можно представить как систему полосок, отдаленных друг от друга плоскостями, проходящими через ось цилиндра. В случае осесимметричной деформации каждая полоска находится в тех же условиях, что и балка на линейно-упругом основании с коэффициентом реакции упругого основания $k = \frac{E_y 2H}{R^2}$; где $2H, R$ - толщина и средний радиус оболочки; E_y - модуль упругости в окружном направлении.

Во второй главе рассмотрен ряд задач изгиба балок, лежащих на упругом основании. С учетом сдвигов изучены поперечный и продольно-поперечный изгибы, определена критическая нагрузка, при которой балка на упругом основании теряет устойчивость.

Более подробно рассмотрены случаи, когда поперечная нагрузка $q(x)$ приложена в виде равномерно распределенной нагрузки q или сосредоточенной силы P посередине пролета. Полученные выражения использованы для оценки влияния межслойных сдвигов на прогиб w , межслойные касательные напряжения τ_{xz} и критическую нагрузку $N_{кр}$ для балок различной длины. Введены специальные параметры. Влияние длины балки оценивается при помощи параметра $L = \frac{l}{\pi} \sqrt[4]{\frac{k}{E_x J}}$, представляющего собой приведенную длину; влияние сдвигов - при помощи параметра $B = H\beta \sqrt[4]{\frac{k}{E_x J}}$ - приведенной (с учетом сдвигов) высоты. Здесь J - момент инерции поперечного сечения балки; $\beta = \sqrt{\frac{E_x}{G_{xz}}}$ - параметр анизотропии;

G_{xz} - модуль межслойного сдвига; E_x - модуль упругости в направлении x ; H - половина высоты балки; l - длина балки.

Выражения для прогибов w , нормальных и касательных напряжений σ_x и τ_{xz} получены без постулирования распределения напряжений по высоте балки, а также при аппроксимации закона распределения касательных напряжений τ_{xz} квадратной параболой. Оценена правдоподобность этой аппроксимации, особенно в расчетах на жесткость. Для приведенной высоты $B < 2,2$, что соответствует большинству конструктивных исполнений балок из материалов, армированных волокнами, погрешность, вносимая аппроксимацией τ_{xz} квадратной параболой, не превышает 10% при определении прогибов и 20% при определении касательных напряжений.

Анализ полученных выражений свидетельствует о необходимости учета межслойных сдвигов при определении прогибов балок из материалов, армированных волокнами, лежащих на упругом основании и нагруженных сосредоточенной силой. В случае равномерно распределенной нагрузки поправка от сдвигов при определении прогибов посередине пролета существенна только для коротких балок с приведенной длиной $L < 1,4$. Для свободно опертых балок учет сдвигов не увеличивает величину максимальных касательных напряжений.

Необходимость учета длины балки определяется совокупностью параметров B и L и характером действующей нагрузки. Показано, что в случае, когда приведенная высота $B \geq 1,2$, при определении прогибов с погрешностью $< 5\%$ балку можно считать бесконечно длинной, если $L > 1$ (при нагружении сосредоточенной силой) или если $L > 3$ (при действии равномерно распределенной нагрузки). Для случая $B < 1,2$ балку соответственно можно считать бесконечно длинной при $L > 2$ и $L > 3,5$.

Оценено влияние сдвигов на прогиб балки на упругом основании при продольно-поперечном изгибе; рассмотрено два случая: свободное опирание и жесткое защемление концов. Показано, что рост продольной силы N в случае действия поперечной сосредоточенной силы P увеличивает в максимальном прогибе долю, обусловленную действием межслойных касательных напряжений. При действии равномерно распределенной поперечной нагрузки q отмеченный эффект проявляется только для коротких балок (при $L < 1,4$). Жесткое защемление увеличивает долю прогибов от сдвигов по сравнению со свободным опиранием только для коротких балок ($L < 2$) в случае сосредоточенной нагрузки.

Определена критическая нагрузка, при которой балка на упругом основании теряет устойчивость. Рассмотрено влияние сдвигов на критическую нагрузку стержней различной геометрии и при различной жесткости упругого основания. В качестве примера на рис. 2 показано влияние приведенной высоты B на критическую нагрузку для балок с различной приведенной длиной L .

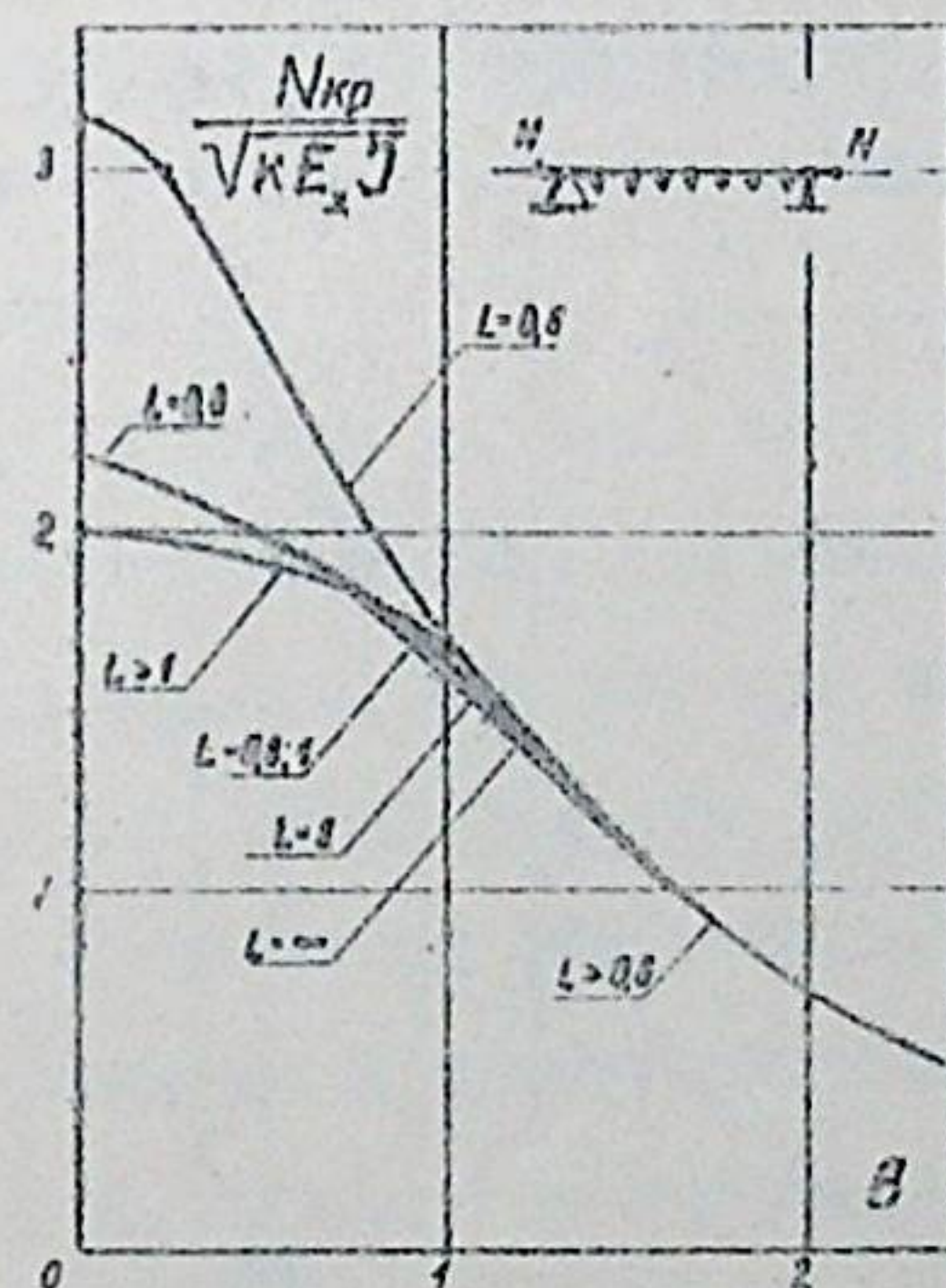


Рис. 2

Установлено, что при расчете на устойчивость балки со свободно опертыми концами пренебрежение сдвигами допустимо только

для балок с параметрами $B < 0,6$ и $L > 0,9$; для балок с этими параметрами пренебрежение сдвигами приводит к увеличению критической нагрузки меньше чем на 10%.

Для экспериментального подтверждения отмеченного эффекта - существенного влияния сдвигов на прогиб - были испытаны балки из стеклопластика, лежащие на линейно-упругом основании. Упругое основание моделировалось набором свободно опертых стальных балок. Размеры последних выбирались с таким расчетом, чтобы коэффициент реакции упругого основания соответствовал реальной оболочке из стеклопластика. Грубая модель упругого основания, а также трудность реализации схемы нагружения сосредоточенной силой без локальных эффектов потребовала выбора материала с большим $\beta^2 = \frac{E_x}{G_{xz}}$, чтобы исследуемый эффект - влияние сдвигов на прогиб балки на упругом основании - превысил неточности практического осуществления схемы испытания. Эксперимент проводился на материале с $\beta^2 = 130$. Испытывались свободно опертые балки, нагруженные сосредоточенной силой посередине пролета. Типичные результаты представлены на рис. 3. На этом рисун-

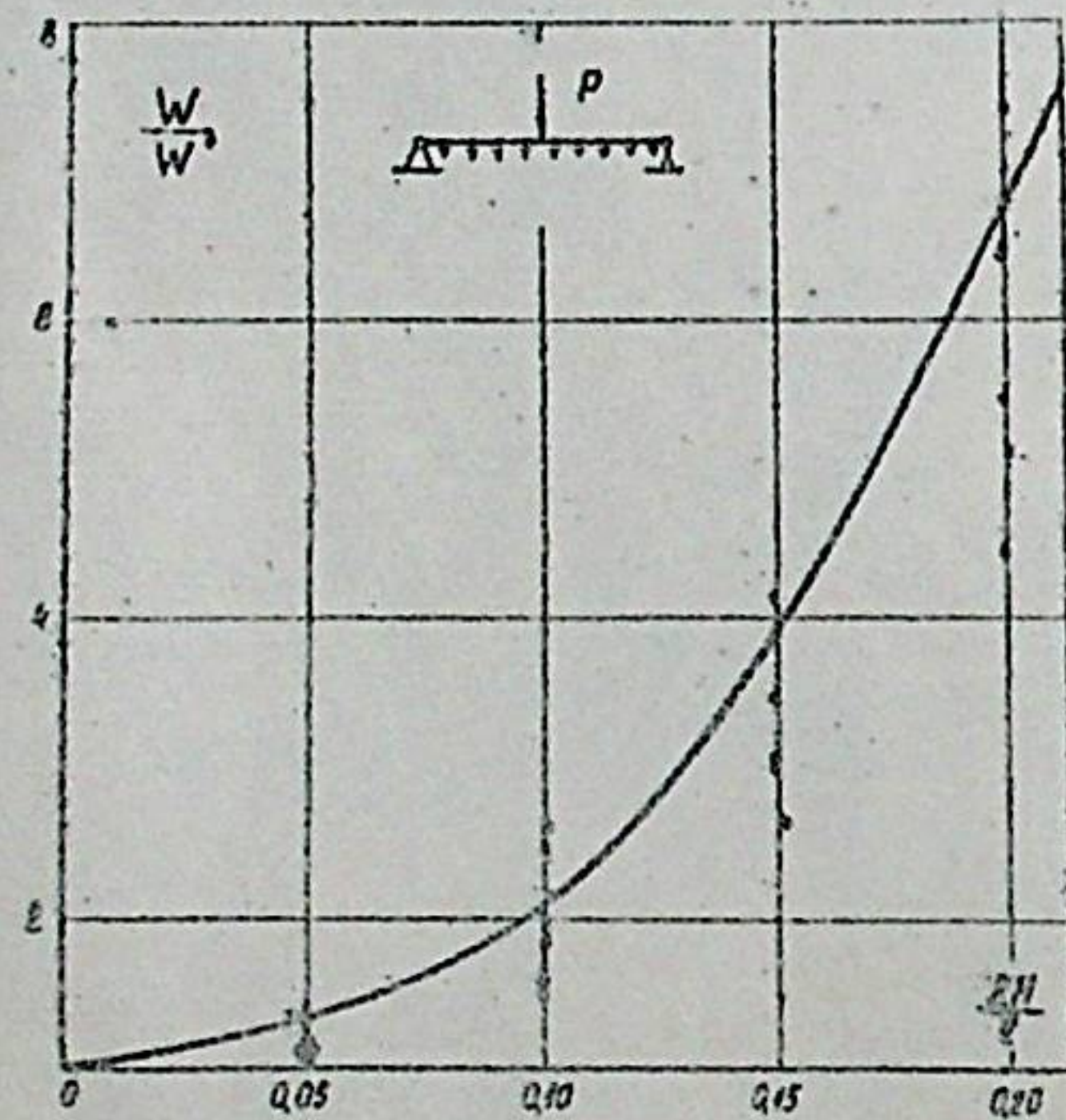


Рис. 3

ке сопоставлена расчетная кривая, показывающая влияние сдвигов на максимальный прогиб W балок с различной относительной высотой $2H/l$ и экспериментальные точки. W^* - прогиб без учета сдвигов, определенный расчетным путем. Подтвержден вывод о существенном влиянии поперечных сдвигов на прогиб балок из стеклопластиков на упругом основании. Дополнительный прогиб, обусловленный сдвигами, может быть с достаточной для практики точностью определен по расчетным зависимостям, полученным в настоящей главе.

В третьей главе дано приложение теории изгиба балок на упругом основании к исследованию краевого эффекта у цилиндрических оболочек, а также для оценки верхней критической силы для цилиндрической оболочки. Определена протяженность зоны краевого эффекта цилиндра бесконечной длины при нагружении равномерно распределенным давлением, а также оценены напряжения и прогибы в этой зоне. Для решения задачи применяется уравнение упругой линии, полученное на основе подхода С.П.Тимошенко, в этом случае расчетные зависимости более простые, а ошибка, вносимая аппроксимацией, как показано в предыдущей главе, пренебрежимо мала.

Исследовано влияние сдвигов на протяженность зоны краевого эффекта и на максимальные напряжения и прогиб в этой зоне при шарнирном опирании, а также при жесткой и податливой заделках. Показано, что необходимость учета сдвигов при оценке краевого эффекта определяется параметром $B^2 = \frac{H}{R} \sqrt{\frac{E_x E_y}{G_{xz}} (1 - \nu_{xy} \nu_{yx})}$, принятой схемой опирания и требуемой точностью оценки напряжений и деформаций. (ν_{xy} , ν_{yx} - коэффициенты Пуассона). В случае жесткой заделки низкая сдвиговая жесткость материала приводит к росту максимальных нормальных и касательных напряжений σ_x .

и τ_{xz} и протяженности зоны краевого эффекта S_w оцененного по прогибам, реализация податливой заделки в конструкции приводит к существенному уменьшению максимальных напряжений и, следовательно, к уменьшению опасности расслоения материала в местах закрепления оболочки. При оценке зоны краевого эффекта с пятипроцентной погрешностью для оболочек из стеклопластиков можно пользоваться выражением, полученным без учета сдвигов (исключением является оценка S_w для случая жесткой заделки). Протяженность зоны в таком случае будет оценена с запасом, величина которого зависит от B^2 . Если требуется более точная оценка протяженности этой зоны, необходимость учета сдвигов определяется величиной параметра B^2 .

На основании выражений, полученных для критической нагрузки балки на упругом основании, определена с учетом сдвигов критическая нагрузка для цилиндрической оболочки, сжатой по торцам.

Поведение цилиндрической оболочки, нагруженной радиальной нагрузкой, не меняющейся (или мало меняющейся) по осевой координате может быть изучено на примере кольца.

В четвертой главе рассмотрены задачи изгиба кольца и сегментов с учетом межслойных сдвигов и геометрической нелинейности. Изучение деформирования колец (а также сегментов из них) представляет и определенный самостоятельный интерес, так как по испытаниям кольцевых образцов в основном изучаются свойства материалов, изготовленных методом намотки. Рассмотрены схемы нагружения, обычно применяемые при испытаниях намоточных материалов. Дана краткая характеристика преимуществ и недостатков этих схем. Указаны преимущества и области

применения схемы испытания, при которой кольца нагружены сосредоточенными силами. Главное внимание уделено схеме испытания, при которой нагружение осуществляется двумя сосредоточенными силами, растягивающими или сжимающими кольцо. При этой схеме нагружения, используя графики, построенные Е.П. Поповым, оценен диапазон относительных толщин, для которых учет геометрической нелинейности при обработке результатов испытаний колец из материалов типа стеклопластиков обязателен.

Уравнения равновесия для стержней с круговой осью, нагруженных радиальными силами в плоскости оси стержня, получены при допущениях, что изменением радиуса по толщине кольца, а также радиальными деформациями ϵ_r можно пренебречь.

Решения получены без постулирования закона распределения нормальных и межслойных касательных напряжений по толщине кольца, разлагая приложенную нагрузку в ряд Фурье по синусам и косинусам и сосредоточенную силу представляя как равномерно распределенную, действующую на участке, длина которого $2\delta \rightarrow 0$. Таким образом в полученных решениях учитываются сдвиги и растяжение-сжатие оси кольца, что, как известно, определяет основную поправку при расчете колец с относительной толщиной $2H/R < 0,2$, предельной для реальных конструкций.

Приведены решения для случаев нагружения замкнутого кольца двумя и четырьмя сосредоточенными силами, а также при действии постоянного внутреннего или внешнего давления и в случае нагружения свободно опертого сегмента сосредоточенной силой посередине пролета. В случае нагружения кольца двумя сосредоточенными силами, растягивающими или сжимающими кольцо, дано сравнение с решением С.П. Тимошенко. Получено решение для свободно опертого сегмента, нагруженного сосредоточенной силой

посередине пролета. Показано, что и в этих случаях погрешностями, вносимыми постулированием закона распределения касательных напряжений квадратной параболой, а также растяжимостью оси кольца, можно пренебречь при определении максимальных прогибов. Для материалов типа стеклопластиков (параметр анизотропии $\beta = \sqrt{\frac{E_y}{G_{yz}}} < 15$; где E_y - модуль упругости в окружном направлении; G_{yz} - модуль межслойного сдвига) при относительной толщине кольца $2H/R < 0,2$ эти поправки меньше 3%.

Оценено влияние сдвигов при определении жесткости колец, нагруженных двумя сосредоточенными силами и сегментов, нагруженных сосредоточенной силой посередине пролета. В этих случаях для материалов, армированных волокнами ($\beta < 10$), не учит сдвигов (с погрешностью $< 15\%$) допустим только при относительной толщине $2H/R < 0,1$. Для сегмента оценено и влияние способа осуществления опирания на прогиб. Показано, что при испытании сегментов с углом раствора $\theta_0 > \frac{\pi}{3}$ необходимо различать опирание по цилиндрической поверхности и опирание на кромках, а также учитывать возможность проскальзывания на опорах.

Экспериментальная проверка осуществлена на кольцах из однонаправленных стеклопластиков двух типов: $\beta = 20$ (материал ЛСО-Р-2М) и с $\beta^2 = 130$ (полностью полимеризованный материал ЛСБ-Ф). Выбор материала позволил оценить применимость приведенных выражений для расчета колец из материалов с сильно отличающимися параметрами анизотропии. Диапазон относительных толщин испытанных колец $0,03 < 2H/R < 0,2$ позволил исследовать эффекты, обусловленные сдвигами и геометрической нелинейностью.

Обработка результатов испытаний тонких колец ($2H/R = 0,042$) из материала ЛСО-Р-2М показала применимость графиков, построенных Е.П.Половым для определения жесткости колец в области больших перемещений. Данные испытаний толстостенных колец из материалов ЛСБ-Ф и Р-2М показывают, что при линейной зависимости между приложенной силой и прогибами полученные выражения удовлетворительно описывают влияние сдвигов на прогиб; разница между расчетными и средними экспериментальными данными в среднем $< 10\%$. На рис.4 в качестве примера приведены расчетные кривые и экспериментальные точки для колец с разной относительной толщиной; w_0 - прогиб под приложенной силой, w_0^* - то же без учета сдвигов. Коэффициент вариации 2% - 12%. Характер

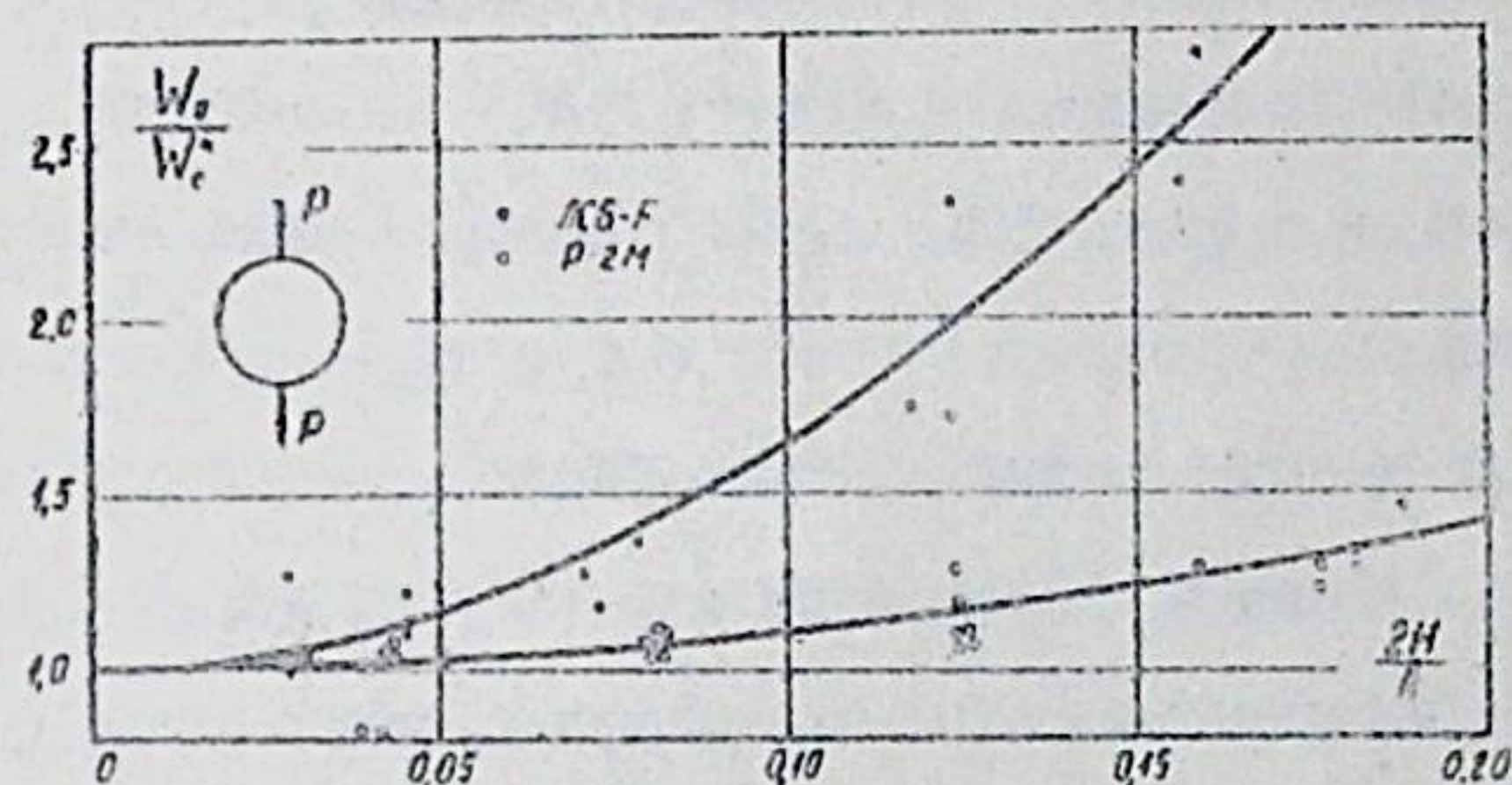


Рис. 4

разрушения колец из материала ЛСО-Р-2М с относительной толщиной 0,08, 0,125 и 0,18 убедительно показал, что эти кольца разрушаются от касательных напряжений. Оказалось, что касательные напряжения, подсчитанные по формуле, предполагающей их параболическое распределение, не зависят от относительной толщины колец.

Показано, что при нагружении колец с разным отношением $2H/R$ сосредоточенными силами можно расширить информацию об упругих свойствах намоточных материалов. Этот вид испытаний позво-

ляет определить не только E_y , но и G_{yz} , и прочность на межслойный сдвиг Π_{yz} . Упругие постоянные E_y и G_{yz} в пределах точности эксперимента совпадают с соответствующими значениями, определенными при растяжении и по испытаниям на изгиб свободно опертых балок с разным отношением $2H/l$. В то же время способ испытания не применим для изучения прочности в направлении волокон.

В ы в о д ы .

1. Изменение коэффициента Пуассона ν_{yx} , характеризующего поперечные деформации перпендикулярно плоскости армирования, может служить одним из критериев, указывающих уровень напряжения σ^* до которого при расчете конструкций и изделий из стеклопластиков эти материалы можно считать сплошными.

2. Показано, что в расчетах на жесткость балок на упругом основании и стержней с круговой осью закон изменения касательных напряжений по высоте можно аппроксимировать квадратной параболой. Ошибка, вносимая такой аппроксимацией для основных конструкций из стеклопластиков балок на упругом основании (при $B = H\beta \sqrt{\frac{k}{E_x J}} < 2,2$) меньше 10%, для стержней с круговой осью при $2H/R < 0,2$ меньше 3%.

3. При расчете на жесткость свободно опертых балок, лежащих на упругом основании, учет сдвигов необходим для всех балок, нагруженных сосредоточенной силой, а также для коротких балок ($L = \frac{l}{\pi} \sqrt{\frac{k}{E_x J}} < 1,4$) под распределенной нагрузкой. Приложение, кроме поперечных сил, и продольных сжимающих сил увеличивает в максимальном прогибе долю, обусловленную действием межслойных касательных напряжений для всех балок, нагруженных сосредоточенной поперечной нагрузкой и для коротких

балок ($L < 1,4$) при действии равномерно распределенной поперечной нагрузки.

При оценке жесткости колец и сегментов, нагруженных сосредоточенными силами, использование выражений на основе гипотезы плоских сечений допустимо только при относительной высоте $2H/R < 0,1$, а для армированных материалов с параметром анизотропии $\beta \geq 10$ только при относительной высоте $2H/R < 0,05$. Для учета геометрической нелинейности доказана возможность использования зависимостей, полученных Е.П. Поповым.

4. На примере балки с шарнирно закрепленными концами установлена необходимость учета сдвигов при расчете на устойчивость балок из материалов, армированных волокнами, лежащих на упругом основании. Исключение - балки с значениями параметров $B < 0,6$ и $L > 0,9$; в этом случае пренебрежение сдвигами приводит к увеличению критической нагрузки меньше чем на 10%.

5. У цилиндрических оболочек, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой, необходимость учета сдвигов при оценке краевого эффекта главным образом определяется крайними условиями. Только в случае жесткой заделки низкая сдвиговая жесткость материала приводит к росту максимальных напряжений и протяженности зоны краевого эффекта S_w , оцененного по прогибам; реализация податливой заделки (так же как и свободного опирания) приводит к уменьшению максимальных напряжений и, следовательно, к уменьшению опасности расслаивания материала в местах закрепления оболочки.

6. Испытание колец сосредоточенными силами позволяет определить сопротивление намоточных материалов касательным напряжениям τ_{xz} , вызывающим растрескивание конструкций из этих материалов. Экспериментально подтверждено, что для определения

374220

Центральная научная
библиотека

модуля упругости в окружном направлении E_y , модуля межслой-ного сдвига G_{yz} и прочности на межслойный сдвиг P_{yz} по дан-ным изгиба колец применимы выражения, полученные на основе гипотезы о параболическом распределении касательных напряже-ний.

Основные результаты исследования
опубликованы в статьях:

1. Р.П.Шлица. Особенности деформирования стеклопластиков при растяжении. 1. Перелом в кривой зависимости между напряже-ниями и деформациями. Механика полимеров, 1966, № 2.
2. Ю.М.Тарнопольский, А.В.Розе, Р.П.Шлица. Изгиб балок из ма-териалов, слабо сопротивляющихся сдвигу, на упругом осно-вании. Механика полимеров, 1967, № 5.
3. Ю.М.Тарнопольский, Р.П.Шлица, Г.С.Смирнов. Учет сдвигов при оценке краевого эффекта у осесимметрично нагруженных оболочек из ориентированных стеклопластиков. В сб.: Вопро-сы динамики и прочности, вып. 16, изд. "Зинатне", Рига, 1968.
4. Ю.М.Тарнопольский, А.В.Розе, Г.Г.Портнов, Р.П.Шлица, И.Г.Жигун. Особенности расчета деталей из стеклопластиков. В сб.: Полимеры в машинах. Труды III Всесоюзной научно-технической конференции по применению полимерных материа-лов. НИИМАЛ, М., 1968.
5. Р.П.Шлица. Особенности деформирования стеклопластиков при растяжении. 2. Соотношение между продольными и поперечны-ми деформациями. Механика полимеров, 1969, № 2.

6. Ю.М.Тарнопольский, А.В.Розе, Р.П.Шлица. Испытание сосредо-точенными силами колец, изготовленных намоткой. Механика полимеров, 1969, № 4.

и обсуждались на III Всесоюзной конференции по применению по-лимерных материалов в машиностроении (Киев, ноябрь, 1966) и на Всесоюзном научно-техническом семинаре по применению поли-мерных материалов в машиностроении (Казань, ноябрь, 1969).

022475