

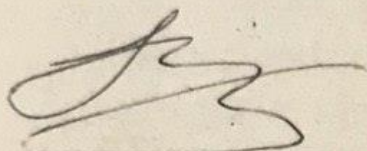
Минвуз УССР

ОДЕССКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Купченко Юрий Викторович

УДК 624.014.072



ПРОЧНОСТЬ СТАЛЬНЫХ ОТКРЫТЫХ СЕЧЕНИЙ ТОНКОСТЕННЫХ
СТЕРЖНЕЙ В ОБЛАСТИ ОГРАНИЧЕННЫХ
ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции,
здания и сооружения

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1990

Диссертационная работа выполнена на кафедре металлических, деревянных и пластмассовых конструкций Одесского инженерно-строительного института.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
ЧЕРНОВ Николай Леонидович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
РЕУТ Всеволод Иванович;
кандидат технических наук, доцент
ПЕРМЯКОВ Владимир Александрович.

Ведущая организация - ГПИ Ленпроектстальконструкция
Госстроя СССР.

Автореферат разослан "6" сентября 1990 г.

Защита диссертации состоится "16" октября 1990 г.
в 11 часов на заседании специализированного совета К 068.41.01
по присуждению ученой степени кандидата технических наук в
Одесском инженерно-строительном институте по адресу:
270029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 4, ОИСИ, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
инженерно-строительного института.

Направляем Вам автореферат диссертации, просим принять
участие в защите и прислать Ваши отзывы и замечания в 2-х
экземплярах в секретариат совета по указанному адресу.

Ученый секретарь
специализированного совета
канд. техн. наук, доцент

Н.А. Малахова

Н.А. МАЛАХОВА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Введение учета работы материала за пределом упругости явилось важным достижением советской школы проектирования строительных конструкций по предельным состояниям. В последние годы в расчетах металлических конструкций осуществляется переход на деформационный вид критерия прочности - ограничение предельных значений пластических деформаций их нормативной величиной.

В пределах этого научного направления автором разработана новая методика расчета сечения при учете развития ограниченных пластических деформаций - способ наращивания фиктивных усилий, обладающая рядом преимуществ по сравнению с другими известными способами учета физической нелинейности и позволяющая учитывать любое количество действующих при сложном сопротивлении сечений усилий, что дало возможность исследовать влияние стесненного кручения и касательных напряжений на прочность стальных открытых сечений - тонкостенных стержней в области ограниченных пластических деформаций.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика расчета, дающая возможность повысить равнопрочность стальных сечений при одновременной заметной экономии стали.

Поэтому тема реферируемой работы, посвященной развитию перспективного научного направления учета ограниченных пластических деформаций в предельном состоянии стальных элементов по прочности, является весьма актуальной и имеет важное народно-хозяйственное значение, поскольку направлена на повышение экономичности и качества строительных металлоконструкций.

Цель работы явились разработка теоретических и экспериментальных методов исследования работы стальных открытых сечений

тонкостенных стержней при сложном сопротивлении, включающем стесненное кручение, в области ограниченных пластических деформаций, определение влияния отдельных силовых факторов при их раздельном и совместном воздействии в различных комбинациях и влияния геометрии сечения на степень развития пластических деформаций, а также внедрение в практику проектирования методики расчета прочности сечений стальных профилей при воздействии различных комбинаций нагрузок.

Вклад автора в разработку проблемы в соответствии с поставленной целью заключается в следующем:

- разработана методика расчета прочности открытых сечений стальных тонкостенных стержней при сложном сопротивлении при учете деформации сечений в области ограниченных пластических деформаций;
- выполнена оценка влияния бимоента на величину возрастания интенсивности пластических деформаций при стесненном кручении тонкостенных стержней;
- исследована степень влияния касательных напряжений на величину интенсивности пластических деформаций при воздействии поперечных сил одноосного и двухосного изгиба, момента чистого кручения и изгибно-крутящего момента;
- разработаны предложения для использования в практике проектирования по расчету прочности сечений стальных профилей в форме непосредственной проверки интенсивности пластических деформаций;
- проведены экспериментальные исследования прочности сечений тонкостенных стержней при различных комбинациях силовых факторов за пределом упругости.

Научную новизну работы составляют:

- способ упруго-пластического расчета стальных сечений при сложном сопротивлении, основанный на методике наращивания фиктивных усилий, допускающий любое число действующих усилий, с учетом

касательных напряжений, а также начальных напряжений от сварки или прокатки;

- предположение о сохранении за пределом упругости распределения касательных напряжений, полученного из расчета в пределах упругости, принятое на основе результатов экспериментальных и теоретических исследований, которые выявили характерное распределение углов сдвига по длине листов сечения с упругими значениями, в пределах упругой работы материала листов и значительным ростом в области пластических деформаций;

- экспериментальные исследования работы стальных открытых сечений тонкостенных стержней при учете депланации сечений за пределом упругости;

- проведенная оценка влияния силовых факторов, в том числе стесненного кручения, а также касательных напряжений и геометрии сечения на степень развития интенсивности пластических деформаций, выполненная с помощью методики математического планирования эксперимента;

- разработанная на основе проведенных исследований практическая методика упруго-пластического расчета сечений по критерию ограниченных пластических деформаций.

Практическая ценность работы заключается в том, что предложенная методика расчета прочности открытых сечений стальных профилей при действии различных комбинаций внешних усилий в области ограниченных пластических деформаций пригодна к использованию в системах автоматизированного проектирования. Выполненные и приведенные в диссертации примеры расчета прочности сечений при их различной геометрии и комбинации силовых факторов позволили сделать вывод о возможной экономии стали в пределах 5...24% по сравнению со СНиП П-23-81* и до 6% по сравнению с "Рекомендациями по расчету стальных конструкций на прочность по критериям ограничен-

ных пластических деформация". Для асимметричных сечений в некоторых случаях при расчете за пределом упругости учет бимоента позволяет достигнуть экономии стали в пределах 4...8% по сравнению с расчетом без учета бимоента. Использование экспериментально-статистических моделей исследуемых объектов для определения интенсивности пластических деформаций удобно применять при вариантном проектировании.

Реализация результатов работы осуществлялась в следующих формах:

1. В виде методики, алгоритма и программы расчета прочности сечения пространственного стержня, составленного из ортогональных листов, разработанных при выполнении договора о социалистическом сотрудничестве с ЦНИИ Проектстальконструкцией им. Мельникова для выполнения работ по теме: "Совершенствование методов расчета на прочность и устойчивость стальных и бистальных стержневых строительных конструкций на основе использования критерия ограниченных пластических деформаций и решения задач нелинейного математического программирования - рекомендации по развитию САПР".

2. Результаты проведенных исследований использовались для разработки "Рекомендаций по развитию САПР в области расчета на прочность и устойчивость стальных рамных каркасов многоэтажных промышленных зданий на основе решения задач нелинейного математического программирования" (ЦНИИПСК, ОПРИС, выпуск 151).

Апробация работ. Основные положения и результаты работы докладывались на IV-й Украинской республиканской научно-технической конференции по металлическим конструкциям "Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных стальных конструкций зданий и сооружений" (г.Симферополь, октябрь, 1988г.), на межотраслевой научно-технической конференции "Повышение качества и надежности строительных металлоконструкций" (г.Челябинск, сентябрь, 1988 г.), на совещании "Проблемы метрологического обеспечения в

строительстве: испытания металлических конструкций" (г. Москва, ВДНХ СССР, декабрь 1989 г.), семинаре ЦНИИПСК им. Мельникова (февраль, 1990 г.), на научно-технических конференциях Одесского инженерно-строительного института (1988, 1989, 1990 гг.).

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 4 работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, основных выводов и предложений, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 177 страницах, из них 122 страницы основного текста; 3 таблицы (3 страницы); 38 рисунков (38 страниц); 3 страницы фотографий; 89 наименований литературы на 10 страницах и приложение на 1 странице.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основополагающие теоретические и экспериментальные исследования по проблеме учета пластических деформаций в стальных строительных конструкциях выполнены Н.Д. Худиным, Н.С. Стрелецким, Н.П. Мельниковым, В.А. Балдиным, А.Р. Ржаницыным, Б.М. Броуде, А.В. Геммерлингом, В.И. Трофимовым и другими учеными. В дальнейшем большой вклад в рассматриваемую область исследований внесли Н.Н. Стрелецкий, А.И. Стрельбицкая, Б.Б. Лампси, А.А. Потапкин, Г.Е. Бельский, Б.И. Лыбаров, Г.И. Белый и др.

Под потерей прочности в данной работе понимается состояние непригодности стержня к эксплуатации по первой группе предельных состояний, при котором возникает необходимость прекращения эксплуатации в результате чрезмерного развития текучести материала в наиболее напряженном сечении.

В качестве критерия этого предельного состояния принимается ограничение интенсивности пластических деформаций в сечении предельной величиной $\varepsilon_{lр,lim} = 0,002; 0,004$.

Объектом исследования являются открытые сечения изгибаемых

элементов металлических конструкций, выполненные из одного или нескольких классов стали, работающие в условиях сложного сопротивления, включающего одноосный и кривой изгиб, продольную силу, а также сжатие кручение.

В настоящее время ЦНИИПСК им. Мельникова занимается развитием САПР произвольных стержневых строительных металлоконструкций. Разработка рекомендаций по развитию САПР в области расчетов на прочность и устойчивость стальных рамных каркасов требует решения первого шага в общем алгоритме "сечение - стержень - система" - расчета сечения, который будет многократно повторяться в комплексе расчета в связи с анализом различных комбинаций внешних воздействий.

Автором рассмотрены существующие методы расчета сечения при учете развития ограниченных пластических деформаций. В СНиП П-23-81* расчет ведется в форме проверки условных напряжений, где к моментам сопротивлений вводятся поправочные коэффициенты, приводящие результаты расчета к проверке величины пластических деформаций. Эти коэффициенты, при действии изгибающих моментов и продольной силы, найдены для каждого силового фактора в отдельности и не учитывают их взаимодействия между собой. Это идет чаще всего в запас прочности, но есть и такие области взаимодействующих усилий, когда это не идет в запас прочности сечения.

В "Рекомендациях по расчету стальных конструкций на прочность по критериям ограниченных пластических деформаций", изданных в ЦНИИПСК в 1985 г., при вычислении коэффициентов уже учитывается взаимодействие силовых факторов между собой. При этом использовался итерационный процесс, основанный на последовательном уравновешивании внешних и внутренних усилий смещением и поворотом нейтральной линии. Этот способ неплохо работает при двух силовых факторах, при трех его использование уже проблематично. Во время рас-

смаатриваемого итерационного процесса при корректировке промежуточных эпюр напряжений сначала смещением нейтральной линии достигается уравнивание по продольным силам, затем поворотом нейтральной линии устанавливается заданное соотношение между моментами M_x и M_y . Выполнение этого поворота нарушает полученное ранее равновесие по нормальной силе и т.д., что требует значительного количества итераций и, кроме того, делает способ неприменимым при увеличении количества действующих при сложном сопротивлении усилий сверх трех.

Есть некоторые недостатки и в других известных способах учета физической нелинейности.

Результатом договора о сотрудничестве с ЦНИИПСК явились разработанные автором методика, алгоритм и программа расчета сечения пространственного стержня при учете развития ограниченных пластических деформаций, переданная в САПР ЦНИИПСК.

Для решения задачи расчета сечения предлагается способ наращивания фиктивных усилий. Это ориентированная на ЭВМ итерационная методика, использующая для построения искомого напряженно-деформированного состояния сечения за пределом упругости последовательную корректировку фиктивной эпюры продольных нормальных напряжений σ_F , получаемой расчетом в пределах упругости от фиктивных усилий M_{xF} , M_{yF} , N_F , V_F . При этом используются следующие предположения:

1. Закон секториальных площадей.
2. Идеализированная диаграмма Прандтля.
3. Деформационная теория пластичности.
4. Энергетическое условие текучести.
5. Сохранение при работе сечения за пределом упругости распределения касательных напряжений, полученного из расчета в пределах упругости.

Итерационный процесс расчета строится следующим образом. Оси

сечения, проходящие через центр тяжести, располагаются: ось X - горизонтально, ось Y - вертикально, ось Z - вдоль стержня. Сечение назначается из j листов, для которых задаются размеры и расчетные сопротивления R_{yj} . В зависимости от величины касательных напряжений τ_{jk} , которые находятся от поперечных сил Q_x, Q_y , момента чистого кручения $M_{кр}$ и изгибно-крутящего момента M_{Δ} , вычисляются напряжения, при которых в каждом из листов начинается текучесть материала

$$\sigma_{\tau_{jk}} = \sqrt{R_{yj}^2 - 3 \cdot \tau_{jk}^2} \quad (1)$$

По заданным усилиям M_x, M_y, N, B и геометрии сечения в предположении неограниченно упругой работы материала строится эпюра фиктивных напряжений первого приближения $\sigma_F^{(1)}$ в которой в отдельных местах напряжения $\sigma_F^{(1)}$ оказываются большими напряжений текучести материала. В этих местах фиктивные напряжения $\sigma_F^{(1)}$ снижаются до величины $\sigma_{\tau_{jk}}$ и по полученной таким образом эпюре действительных напряжений $\sigma^{(1)}$ вычисляются соответствующие усилия первой итерации $M_x^{(1)}, M_y^{(1)}, N^{(1)}, B^{(1)}$. Эти усилия, естественно, отличаются от заданных M_x, M_y, N и B , причем знак и величина этих отличий показывают, в каком направлении необходимо корректировать эпюру фиктивных напряжений для решения задачи. Для определения величины необходимых корректировок находятся разности первой итерации:

$$\begin{aligned} \Delta M_x^{(1)} &= M_x - M_x^{(1)}; & \Delta N^{(1)} &= N - N^{(1)}; \\ \Delta M_y^{(1)} &= M_y - M_y^{(1)}; & \Delta B^{(1)} &= B - B^{(1)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Фиктивные усилия второй итерации вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} M_{xF}^{(2)} &= M_{xF}^{(1)} + \Delta M_x^{(1)}; & N_F^{(2)} &= N_F^{(1)} + \Delta N^{(1)}; \\ M_{yF}^{(2)} &= M_{yF}^{(1)} + \Delta M_y^{(1)}; & B_F^{(2)} &= B_F^{(1)} + \Delta B^{(1)}. \end{aligned} \quad (3)$$

В первой итерации роль фиктивных усилий играют усилия задан-

ные: $M_{xF}^{(1)} = M_x$; $M_{yF}^{(1)} = M_y$; $N_F^{(1)} = N$; $V_F^{(1)} = V$.

Расчетом в пределах упругости по фиктивным усилиям из формул (3) строится эпюра фиктивных напряжений второго приближения $\sigma_F^{(2)}$, по которой вновь уменьшением напряжений $\sigma_F^{(2)}$ до напряжений $\sigma_{T,jk}$ получается эпюра действительных напряжений второй итерации $\sigma^{(2)}$ и соответствующие ей усилия $M_x^{(2)}$, $M_y^{(2)}$, $N^{(2)}$, $V^{(2)}$. Фиктивные усилия n -й итерации определяются по формулам:

$$\begin{aligned} M_{xF}^{(n)} &= M_x + \Delta M_x^{(1)} + \Delta M_x^{(2)} + \dots + \Delta M_x^{(n-1)} ; \\ M_{yF}^{(n)} &= M_y + \Delta M_y^{(1)} + \Delta M_y^{(2)} + \dots + \Delta M_y^{(n-1)} ; \\ N_F^{(n)} &= N + \Delta N^{(1)} + \Delta N^{(2)} + \dots + \Delta N^{(n-1)} ; \\ V_F^{(n)} &= V + \Delta V^{(1)} + \Delta V^{(2)} + \dots + \Delta V^{(n-1)} ; \end{aligned} \quad (4)$$

в которых k -е разности равны

$$\begin{aligned} \Delta M_x^{(k)} &= M_x - M_x^{(k-1)} ; & \Delta N^{(k)} &= N - N^{(k-1)} ; \\ \Delta M_y^{(k)} &= M_y - M_y^{(k-1)} ; & \Delta V^{(k)} &= V - V^{(k-1)} . \end{aligned}$$

Корректировка фиктивных усилий в процессе расчета накапливается, величины разностей в последующих итерациях затухают и процесс сходится при небольшом числе последовательных приближений. Найденные по промежуточным эпюрам напряжений усилия приближаются по своим значениям к заданным и получаемое напряженно-деформированное состояние с определенной точностью является решением задачи.

Из описания итерационного процесса видно, что решающим преимуществом способа наращивания фиктивных усилий, по сравнению со способом последовательного уравнивания усилий, является одновременная и целенаправленная корректировка получаемых промежуточных эпюр напряжений $\sigma_F^{(k)}$ в зависимости от получаемых отличий одновременно всех усилий $M_x^{(k)}$, $M_y^{(k)}$, $N^{(k)}$, $V^{(k)}$ и заданных.

Предлагаемая методика допускает любое число действующих усилий.

Распределение касательных напряжений по контуру сечения от

поперечных сил, момента чистого кручения и изгибно-крутящего момента определяется обычным расчетом в пределах упругости. Кроме нахождения распределения касательных напряжений по контуру сечения, т.е. по длине листов, определяется распределение напряжений τ и по ширине листов, составляющих сечение. Поэтому величины напряжений, при которых начинается текучесть материала, по длине и ширине листов сечения оказываются переменными и для каждого K -го участка длины и N -го участка ширины листа, на которые он разбивается при расчете на ЭВМ, равны:

$$\sigma_{\tau jkn} = \sqrt{R_{yd}^2 - 3 \cdot (\tau_{kn}^{Qx} + \tau_{kn}^{Qy} + \tau_{kn}^{M\omega} + \tau_{kn}^{Mkr})^2} \quad (5)$$

Следует подчеркнуть важность предположения о сохранении за пределом упругости распределения касательных напряжений τ , полученного из расчета в пределах упругости. Во многих исследованиях исходят из предположения сохранения "упругого" характера распределения сдвигов γ за пределом упругости, по аналогии с гипотезой плоских сечений, предполагающей сохранение за пределом упругости распределения относительных удлинений ϵ_x , полученного из "упругого" расчета. Однако, если гипотеза плоских сечений хорошо подтверждается экспериментально при развитии, по крайней мере, ограниченных пластических деформаций, с распределением сдвигов γ дело обстоит иначе. Опыты показывают резкое возрастание величин сдвигов γ в тех областях листов изгибаемых сечений, в которых началась текучесть. Это подтверждается и экспериментальными исследованиями других авторов.

На каждом шаге итерационного процесса учитывается изменение жесткости сечения, т.е. расчет сечения на каждом этапе производится в предположении неограниченно упругой работы материала, но не с начальными модулями упругости, а с касательными, соответствующими достигнутым деформациям. Деформации ϵ_x во всех K -ых точ-

ках сечения через действующие усилия в этом случае определяются по формуле:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{zk} = & M_x \cdot y_k / \left(\int_A E_c \cdot y^2 dA \right) + M_y \cdot x_k / \left(\int_A E_c \cdot x^2 dA \right) + \\ & + N / (E_c \cdot A) + B \cdot \omega_k / \left(\int_A E_c \cdot \omega^2 dA \right) . \end{aligned} \quad (6)$$

Это позволяет ускорить процесс сходимости приблизительно в два раза.

При исследовании открытых сечений стальных профилей за пределом упругости при изгибе с продольной силой, косом изгибе с продольной силой, при взаимодействии изгибающего момента и бимоента получены упруго-пластические кривые и поверхности взаимодействия. Получены также соответствующие границы упругой работы исследуемых сечений, анализ сравнения которых с упруго-пластическими кривыми и поверхностями взаимодействия показывает характер значительного возрастания воспринимаемых сечениями усилий при учете ограниченных пластических деформаций.

Оценка влияния бимоента B на изменение интенсивности пластических деформаций ε_{ip} выполнена с помощью методики математического планирования эксперимента. Анализ полученной экспериментально-статистической модели для процентного увеличения интенсивности пластических деформаций показал, что в симметричных сечениях влияние бимоента на изменение ε_{ip} велико - происходит их увеличение до 70% в сравнении с расчетом без бимоента. Значительное уменьшение влияния бимоента на рост интенсивности пластических деформаций происходит с ростом асимметрии сечения. При увеличении отношения расчетных сопротивлений материала полок и стенки двутавровых сечений происходит незначительное увеличение влияния бимоента на рост ε_{ip} в сравнении с не учетом B при расчете прочности сечения за пределом упругости.

Выявлено, что в асимметричных сечениях в некоторых случаях

при расчете за пределом упругости учет бимоента позволяет дополнительно разгрузить наиболее напряженное волокно сечения по сравнению с расчетом в пределах упругости. Для прогона швеллерного сечения расчет по предлагаемой методике при учете бимоента позволяет получить экономию материала до 8% в сравнении с расчетом без его учета.

В работе показано, что влияние начальных напряжений от неравномерного нагрева и остывания при сварке или прокатке на величину воспринимаемых сечением усилий при развитии ограниченных пластических деформаций не очень велико и, при необходимости, учитывается в разработанной методике расчета.

Для выяснения особенностей влияния поперечных сил на величину воспринимаемого сечением изгибающего момента в различных случаях их сочетания автором построена упруго-пластическая кривая взаимодействия усилий M_x и Q_x .

Разработанная методика расчета позволяет, воспользовавшись зависимостями между напряжениями и деформациями в теории малых упруго-пластических деформаций, полученными А.А.Ильшиным, найти распределение интенсивности деформаций, интенсивности пластических деформаций и сдвигов по длине и толщине листов сечения. Получено характерное распределение углов сдвига γ по длине листов сечения с упругими значениями в пределах упругого ядра и заметным ростом в области пластических деформаций.

Далее в работе выявлено, что влияние секториальных касательных напряжений от изгибно-крутящего момента M_ω на изменение интенсивности пластических деформаций ϵ_{ip} несущественно - изменение ϵ_{ip} происходит менее чем на 1% в самом неблагоприятном варианте проведенного математического эксперимента, а в некоторых случаях не учет изгибно-крутящего момента пойдет даже в запас прочности сечения.

Анализ проведенного математического эксперимента показал значительное влияние момента чистого кручения $M_{кр}$ на изменение интенсивности пластических деформаций в симметричных сечениях, особенно при совместном учете с касательными напряжениями от поперечных сил. Также получено, что при учете момента чистого кручения распределение касательных и нормальных напряжений по средним линиям и по граням листов сечения значительно различны.

Для проверки теоретических результатов исследования прочности сечений тонкостенных стержней при различных комбинациях воздействия продольной силы, одноосного или двухосного изгиба, стесненного кручения с учетом влияния нормальных и касательных напряжений при развитии ограниченных пластических деформаций в интервале 0,2... 0,4% были проведены экспериментальные исследования.

Сравнение теоретических и опытных усилий в условиях, когда в наиболее напряженной точке сечения достигаются пластические деформации, соответствующие принятой норме пластической составляющей интенсивности деформаций, показало наличие в сечении заметного запаса прочности.

Выявлено, что в пределах упругой работы материала модели стержня закон секториальных площадей, а при отсутствии стесненного кручения - гипотеза плоских сечений, соблюдаются достаточно хорошо. За пределом упругости наблюдаются некоторые расхождения.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили теоретические результаты распределения деформаций сдвига - резкий их рост в зоне текучести материала и незначительный рост деформаций сдвига в упругой зоне при упруго-пластической работе сечения.

На основе разработанной методики исследования работы открытых тонкостенных профилей за пределом упругости практические расчеты прочности сечений предлагается выполнять в форме непосредственной проверки интенсивности пластических деформаций,

используя предельное неравенство

$$\varepsilon_{ip} \leq \varepsilon_{ip, \text{lim}} \quad (7)$$

где ε_{ip} - пластическая составляющая интенсивности деформации;

$\varepsilon_{ip, \text{lim}}$ - норма предельной пластической деформации.

Проведенное опытное проектирование при различной геометрии сечений и комбинации силовых воздействий выявило величину экономии стали в пределах 5...24% по сравнению со СНиП П-23-81*, а по сравнению с "Рекомендациями по расчету стальных конструкций на прочность по критериям ограниченных пластических деформаций", в расчетах прочности без учета стесненного кручения, - до 6%.

Полученную экспериментально-статистическую модель исследуемого двутаврового сечения для определения интенсивности пластических деформаций предлагается использовать при решении задач оптимального проектирования сечений.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований показано, что использование критерия ограничения интенсивности пластических деформаций при сложном сопротивлении с учетом стесненного кручения в расчетах прочности стальных открытых сечений тонкостенных стержней приводит к заметной экономии металла при одновременном увеличении равнопрочности. Применение учета ограниченных пластических деформаций приводит к экономии стали в пределах 5...24% по сравнению со СНиП П-23-81*.

2. Разработанная методика исследования работы открытых тонкостенных профилей за пределом упругости способом наращивания фиктивных усилий обеспечивает сходимость и необходимую точность результатов расчета в пределах 7...40 итераций.

3. Разработанная практическая методика расчета прочности

сечений в форме непосредственной проверки интенсивности пластических деформаций ϵ_{ip} может использоваться в виде программ расчета на ЭВМ. Полученную экспериментально-статистическую модель исследуемого двутаврового сечения для получения ϵ_{ip} удобно применять при вариантном проектировании.

4. Анализ с помощью методики математического планирования эксперимента показал значительное влияние бимоента на изменение ϵ_{ip} в симметричных сечениях и уменьшение влияния с ростом асимметрии, на возможность пренебрежения изгибно-крутящим моментом и на необходимость учета момента чистого кручения, влияние которого на изменение ϵ_{ip} очень существенно в симметричных сечениях и особенно при совместном учете с поперечными силами.

5. На основе учета бимоента в асимметричных сечениях в некоторых случаях при расчете за пределом упругости экономия стали может достигать 4...8% в сравнении с не учетом бимоента.

6. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования выявили характерное распределение углов сдвига по длине листов сечения с упругими значениями в пределах упругой работы материала и значительным ростом в области текучести.

7. Экспериментальные исследования работы открытых стальных профилей в условиях сложного сопротивления, включающих стесненное кручение, подтвердили полученные теоретические результаты и предпосылки, положенные в основу разработанного метода расчета.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Г. Чернов Н.Л., Купченко Ю.В., Ебрахим Валид. Прочность стальных открытых и закрытых сечений тонкостенных стержней в области ограниченных пластических деформаций. - Тезисы докл. IV-й Украинской респ. научно-техн. конф. по металлическим конструк-

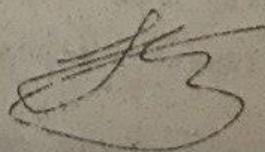
циям "Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных конструкций зданий и сооружений". - Симферополь, 1988. - С. 36-37.

2. Чернов Н.Л., Купченко Ю.В., Ебрахим Валид. Расчет прочности стальных открытых и закрытых сечений тонкостенных стержней в форме непосредственной проверки интенсивности пластических деформаций. - Гез. докл. научно-техн. конференции "Повышение качества и надежности строительных металлоконструкций". - Челябинск, 1988.

3. Чернов Н.Л., Купченко Ю.В., Ебрахим Валид, Артюшкин И.А. Испытания моделей тонкостенных стержней на сложное сопротивление при ограниченных пластических деформациях. - Бюллетень строительной техники. - 1990. - №3. - С.41.

4. Чернов Н.Л., Шебанин В.С., Купченко Ю.В., Ебрахим Валид, Артюшкин И.А. Прочность сечений стальных тонкостенных стержней при ограниченных пластических деформациях. - Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1990. - №4. - С. 1-5.

Личный вклад автора в написанных в соавторстве работах заключается в следующем: участие в разработке алгоритма, составлении и отладке программ на ЭВМ ЕС-1035, выполнении расчетов на ЭВМ, анализе результатов.



БР 04774 Подп. и печать 19.07.90 Формат 60x84 1/16.
Объем 1,0 п. л. Заказ № 2930 Тираж 100 экз.
Гортилография Одесского облполиграфиздата, цех №3.
Ленина 49.