

РГБ ОД

20 ОКТ 2000

На правах рукописи

**Кой Бун Тхон**

**ВЛИЯНИЕ МЕСТНОГО ИЗГИБА СТЕРЖНЕЙ НА  
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ФЕРМЕННЫХ КРАНОВЫХ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Специальность 05.05.05. «Подъемно-транспортные машины»

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2000 г.

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном техническом университете

Научный руководитель:

- доктор технических наук, профессор Соколов С. А.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Бардышев О.А.

- кандидат технических наук, доцент Карпов В.В.

Ведущее предприятие АО «Подъемгрансмаш» (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится \_\_\_\_\_ 2000 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 063.38.20 при Санкт-Петербургском государственном техническом университете по адресу: 195251 г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, корп. 1, ауд. 41.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГТУ.

Ваши отзывы на автореферат в 2 экз., заверенные печатью, просим направлять в диссертационный совет университета.

Автореферат разослан “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2000 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 063.38.20

Кандидат технических наук, доцент



Смирнов В. Н.

0922-041-021.1,0

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Грузоподъемные машины являются основным средством механизации перегрузочных работ во многих отраслях хозяйства, поэтому их надежности уделяется большое внимание. Показатели надежности грузоподъемных машин в значительной степени зависят от прочности и долговечности несущих конструкций, которые бывают листовые (балки, рамы), ферменные и смешенного типа (балочно-ферменные). В большинстве современных машин чаще используются листовые конструкции, однако, ферменные конструкции в ряде случаев имеют определенные преимущества перед ними, важнейшим из которых является меньшая масса для конструкций больших пролетов и малонагруженных. Поэтому до сих пор они применяются в башенных, озловых, стреловых и других кранах. К наиболее существенным недостаткам этих конструкций относятся высокая трудоемкость изготовления, сложность автоматизации производства, низкое сопротивление усталостному и хрупкому повреждению. Из-за этого ферменные конструкции, как правило, не применяются для кранов тяжелого режима работы. Однако проблема прогнозирования долговечности конструкции возникает и для машин, эксплуатируемых в условиях легкого и среднего режимов. Это подтверждается тем, что и в них при обследовании зачастую обнаруживаются усталостные трещины.

Проблема прогнозирования долговечности крановых конструкций возникает в двух случаях. Во первых, это проверка на сопротивление усталости на стадии проектирования, например, для кранов групп режима работы 4К - 6К. При этом расчет ведется по проектным характеристикам конструкции. Второй случай имеет место при оценке остаточного ресурса конструкции с целью решения вопроса о возможности дальнейшей эксплуатации кранов с истекшим сроком службы. На этой стадии расчет должен проводиться с учетом фактиче-

ского технического состояния конструкции, то есть накопленных повреждений и качества изготовления.

Применительно к ферменным конструкциям последнее обстоятельство требует учета таких факторов, как нецентральность соединения стержней в узле, которая возникает в результате погрешности изготовления или как следствие определенного конструктивного решения, а также искривленность стержней, которая также может быть дефектом изготовления или следствием повреждений полученных в процессе эксплуатации. Указанные факторы приводят к возрастанию местного изгиба стержней, который не учитывается в традиционных инженерных расчетах, но снижает долговечность конструкции.

Настоящая работа посвящена совершенствованию методов расчета ферменных конструкций и включает разработку инженерных методик определения параметров местного изгиба в стержнях ферм, возникающего по различным причинам, и оценке его влияния на сопротивление усталости и трещиностойкость ферменных конструкций. Полученные результаты дают возможность предложить способы повышения долговечности ферм и обосновать нормы допустимых технологических и эксплуатационных дефектов.

**Целью диссертации** является методика прогнозирования параметров местного изгиба стержней ферм, возникающего в результате жесткости узлов и несовершенства формы элементов, а также оценка прочности и долговечности конструкций с учетом данного фактора. Решение данной проблемы направлено на повышение достоверности прогнозирования долговечности и сопротивления хрупкому разрушению крановых ферменных конструкций.

**На защиту выносятся** следующие результаты, полученные лично автором и обладающие научной новизной:

Приближенная аналитическая методика расчета коэффициентов местного изгиба стержней, возникающего вследствие эксцентрисичности их соединения в узле.

Приближенная аналитическая методика расчета коэффициентов местного изгиба стержней, возникающего в результате непрямолинейности их формы и жесткости узлов.

Результаты численного исследования МКЭ местных изгибных напряжений в стержнях ферм с различными схемами решеток, профилями сечений, при различных видах нагружения, и выводы о зависимости местного изгиба от основных параметров фермы и характеристик геометрических несовершенств.

Методика и результаты оценки влияния местного изгиба в стержнях ферм на их долговечность и трещиностойкость.

**Практическая ценность** работы состоит в предложенных приближенных инженерных методах оценки местных изгибных напряжений в стержневых конструкциях конкретных типов, методах учета влияния местного изгиба при определении пределов выносливости элементов ферм, а также рекомендациях по нормированию эксцентриситетов соединения стержней в узлах позиции обеспечения долговечности ферм.

**Достоверность научных положений и выводов** диссертационной работы базируется на использовании современных методах численного анализа напряженно-деформированного состояния стержневых конструкций, проверенных программных продуктов и результатах сопоставления с экспериментальными данными, полученными на сварных металлических моделях.

**Публикации.** Основные результаты работы опубликованы в двух статьях автора.

**Структура диссертации.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 74 наименований. Она содержит 137 страниц текста.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи, кратко изложены основные идеи, заложенные в диссертации.

В первой главе диссертации дается критический анализ существующих методов расчета ферменных конструкций и обзор результатов известных исследований по прочности и долговечности элементов ферм. Рассмотрены причины возникновения местных изгибных напряжений в стержнях ферм, которые являются несовершенства формы конструкции, эксцентриситеты их соединения в узлах и искривления, возникающие как на стадии изготовления, так и в процессе эксплуатации. Отмечается, что в инженерной практике используются традиционные методы расчета, которые не позволяют аналитически определить уровень местных изгибных напряжений в стержнях и учесть его при оценке долговечности конструкции. Приближенный метод определения местных изгибающих моментов в стержнях ферм предложен в работах Гохберга М.М. Полная оценка напряженно-деформированного состояния элементов конструкции может быть получена методом конечных элементов (МКЭ), но он дает только конкретное численное решение и не позволяет обосновать общие инженерные рекомендации по допустимым эксцентриситетам узлов, значениям предельных искривлений стержней и пр. Для этого необходимо иметь аналитическую методику приближенного определения местных изгибных напряжений в стержнях ферм.

В главе дается краткий обзор конструкций крановых ферм, приводятся нормативные ограничения на отклонения формы и размеров, анализируются

повреждения ферм, возникающие в процессе эксплуатации. Формулируются цели и задачи настоящей работы.

Вторая глава посвящена исследованию местного изгиба стержней ферм, возникающего в результате их жесткого соединения в узле и наличия эксцентриситетов (рис.1). В качестве основной характеристики местного изгиба принят коэффициент местного изгиба (КМИ), который вычисляется как отношение местных растягивающих изгибных напряжений ( $\sigma_M$ ) в стержне к напряжениям растяжения-сжатия ( $\sigma_S$ ), возникающим от продольного усилия ( $S$ ), то есть

$$C_f = \frac{\sigma_M}{\sigma_S} = \frac{M A}{S W} \quad (1)$$

где  $M$  - местный изгибающий момент в расчетном сечении;  $A$  - площадь сечения стержня;  $W$  - момент сопротивления сечения стержня, вычисленный для растянутой стороны.

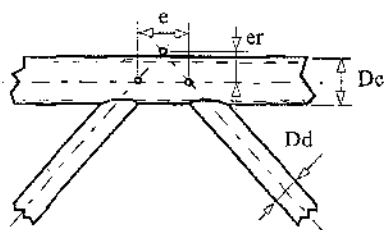


Рис.1.

Методика расчета КМИ построена по следующей схеме. На первом этапе по шарнирной схеме с центральным соединением стержней в узле определяются углы поворота стержней при нагружении фермы. На втором - предполагается жесткое соединение стержней в узле и ме-

тодом перемещений, находятся изгибающие моменты в стержнях, возникающие при реализации ранее найденных углов. Вывод необходимых формул по шарнирной схеме выполнен применительно к фермам с раскосной и треугольной решетками (рис.2). Предложенная схема решения применима и для ферм других конфигураций.

Для треугольных трубчатых ферм (рис.2,а) предложен упрощенный вариант методики расчета КМИ. Согласно этой методике КМИ в поясе может быть приближенно определен по формуле

$$C_{fca} \cong \frac{3D_c}{2h} \left\{ 1 - \frac{0,8 h e}{D_d D_c (L/h + 1)} \right\}, \quad (2)$$

а в раскосе как

$$C_{fda} \cong \frac{3D_d^2 t_d}{4 D_c h t_c} \left\{ \frac{P_x}{P_y} + \frac{2L + h}{2h} + \left( \frac{D_c t_c}{D_d t_d} \right)^2 + \frac{4 h e}{3 D_d D_c} \right\}. \quad (3)$$

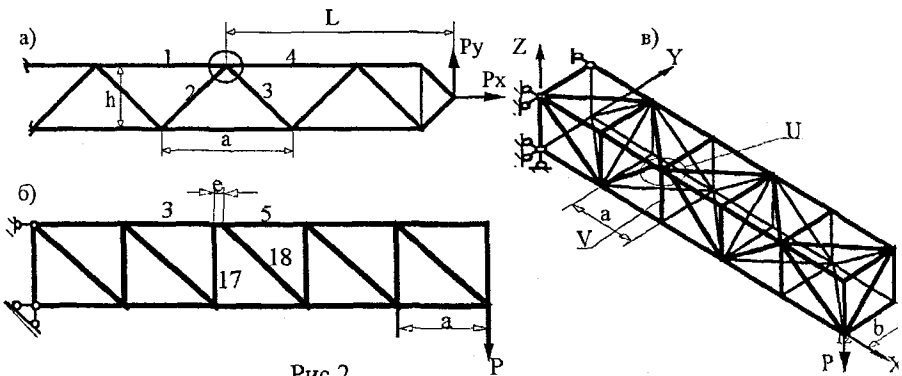


Рис.2.

Здесь  $D_c$ ,  $t_c$ ,  $D_d$ ,  $t_d$  - диаметр и толщина стенок, соответственно, поясов и раскосов.

Для численного исследования МКЭ использовались модели плоских и пространственных фермы с параллельными поясами, треугольной и раскосой решетками (рис.2). Сечения стержней были трубчатого и уголкового профиля различных размеров. Рассматривались треугольные фермы со стойками и без них. На основании расчетов были построены многочисленные графики зависимости КМИ от эксцентриситета соединения стержней в узле (рис.3).



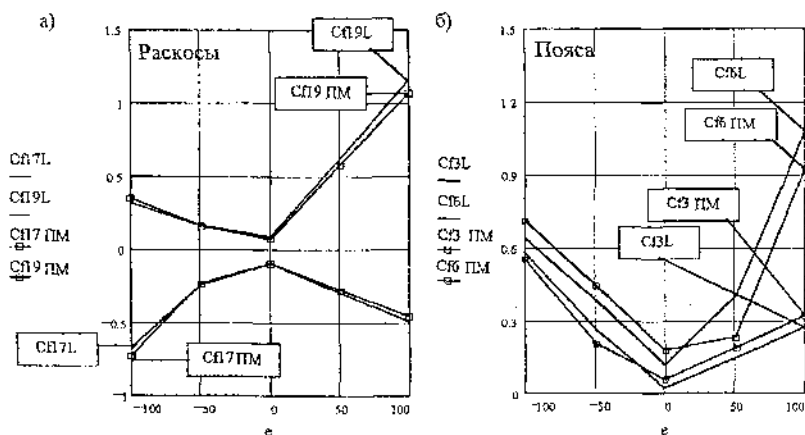


Рис.3

На основании предложенной методики и результатов численного эксперимента МКЭ сделаны следующие выводы:

а) Результаты расчета КМИ по предлагаемой методике дают погрешность по отношению к расчетам МКЭ не превышающую 0,1 - 0,15, что вполне приемлемо для инженерных оценок.

б) При одинаковых условиях нагружения коэффициенты местного изгиба раскосах ( $C_{\beta a}$ ) могут достигать больших значений, чем в поясах ( $C_{\beta b}$ ).

в) Коэффициент местного изгиба для пояса не зависит от продольного нагружения фермы (усилие  $P_x$ , рис.2,а), а для раскоса зависит от соотношения  $P_x/P_y$ .

г) При точной центровке стержней в узле, т.е. при  $e = 0$ , коэффициент местного изгиба в стержнях не равен нулю и, например, для пояса приблизительно

$$\text{равен } C_{\beta a} \cong 1,5 \frac{D_c}{h}$$

д) Влияние эксцентриситета на коэффициент местного изгиба, как в поясах, так и в раскосе оказывается тем больше, чем больше диаметр труб и меньше оперечные размеры фермы. Чем ближе находится рассчитываемый участок

пояса к нагруженному концу фермы (нагруженному внешней силой или опорной реакцией), тем больше влияние эксцентриситета на значение коэффициента местного изгиба.

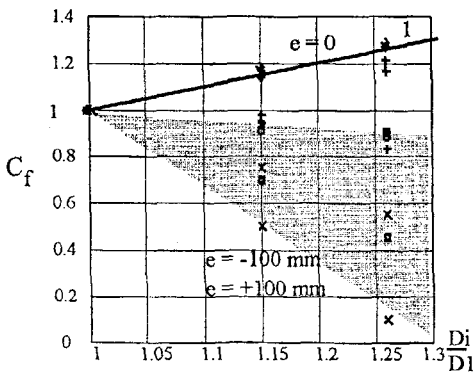


Рис.4

е) При характерных соотношениях размеров фермы коэффициент местного изгиба для пояса достигает минимума при положительных значениях эксцентриситета, а минимальный уровень местного изгиба в раскосах получается при отрицательных эксцентриситетах.

ж) Увеличение диаметра труб, использованных для поясов и стержней, при неизменных общих размерах фермы, приводит к увеличению коэффициента местного изгиба при центральном соединении стержней в узле ( $e = 0$ ). При наличии существенного эксцентриситета в узле с увеличением диаметра труб коэффициент местного изгиба понижается (рис.4, кривая 1 построена по приближенному решению для  $e = 0$ ).

В третьей главе изложены результаты исследования местного изгиба стержней ферм, возникающего в результате их непрямолинейности. Предложена аналитическая методика вычисления КМИ в искривленных стержнях, конфигурация которых может быть аппроксимирована выражением вида (рис.5)

$$y(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq A_1; \\ \frac{y_0}{2} \left[ 1 - \cos \left( 2\pi \frac{x - A_1}{A} \right) \right] & \text{при } A_1 < x \leq A; \\ 0 & \text{при } A < x. \end{cases} \quad (4)$$

В результате решения задачи о растяжении искривленного стержня с углыми защемлениями концов получено выражение для изгибающего момента произвольном сечении

$$M(x) = Sy(x) + \frac{3Sy_0\alpha}{1-4(1+3U_1)(1+3U_2)}R(x) \quad (5)$$

$$R(x) = -0,5\alpha - \beta + 2(1 - 0,5\alpha - \beta)(1 + 3U_2) + \frac{x}{L}R_1;$$

$$R_1 = [-1 + \alpha + 2\beta + 2(0,5\alpha + \beta)(1 + 3U_1) - 2(1 - 0,5\alpha - \beta)(1 + 3U_2)]$$

где  $\alpha = \frac{A}{L}$ ,  $\beta = \frac{A_1}{L}$ ,  $U_1, U_2$  - коэффициенты относительной податливости заделок концов стержня. Если стержень расположен между двумя одинаковыми узлами, то  $U_1 = U_2 = \frac{J}{\gamma L \sum_i \frac{J_i}{L_i}}$ . Здесь суммирование по  $i$  производится по

сем стержням, сходящимся в узле, кроме рассчитываемого искривленного стержня.  $J_i$  и  $L_i$  - момент инерции и длина  $i$ -того стержня;  $J$  и  $L$  - момент инерции и длина искривленного стержня. Коэффициент  $\gamma$  целесообразно принимать равным 3,5.

Для проверки предложенной методики проведены численные исследования напряженного состояния искривленных стержней ферм МКЭ. Расчеты проводились на плоских и пространственных моделях, описанных в главе 2, с различными искривлениями поясов и раскосов, расположенными как в плоскости фермы, так и выходящими из нее. Результаты представлены в виде эпюр распределения КМИ по длине стержня (рис.6).

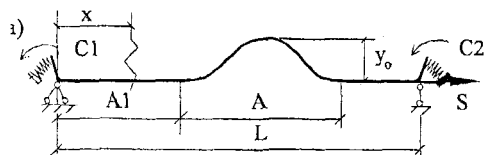


Рис.5.

Результаты исследования напряженного состояния искривленных стержней ферм МКЭ. Расчеты проводились на плоских и пространственных моделях, описанных в главе 2, с различными искривлениями поясов и раскосов, расположенными как в плоскости фермы, так и выходящими из нее. Результаты представлены в виде эпюр распределения КМИ по длине стержня (рис.6).

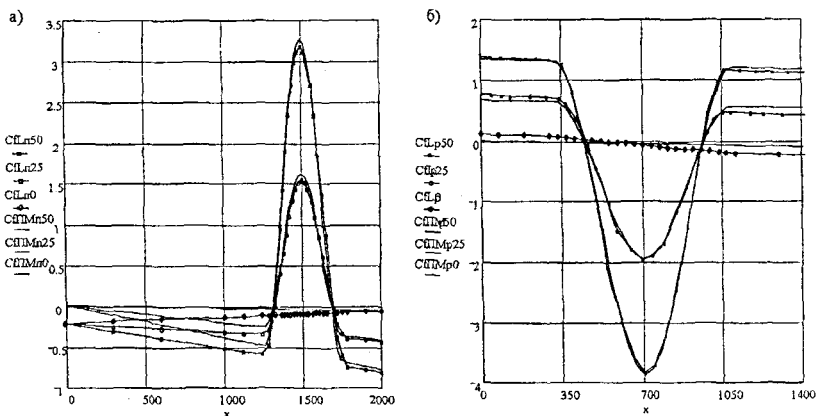


Рис.6

В той же главе представлены результаты комплексной проверки аналитических методик расчета КМИ, при наличии и эксцентриситета, и непрямолинейности стержней. Исследования проводились на моделях плоской и пространственной ферм с искривленными стержнями и эксцентриситетом соединения их в одном из узлов  $e = 20$  мм.

Представленные результаты расчетов показывают, что предлагаемые методики правильно описывает распределение местного изгиба по длине стержня (рис.6) и позволяет с удовлетворительной точностью определить коэффициент местного изгиба, возникающего как при наличии искривлений стержней, так и эксцентриситетов их соединения. Они дают достаточно надежные результаты для пространственных ферм, а также плоских ферм в тех случаях, когда искривление располагается в плоскости фермы. При этом погрешность оценки максимального значения коэффициента местного изгиба в пределах искривленного участка не превышает 15%, а в зонах примыкания к узлам, где уровень изгибных напряжений не велик, достигает 30-40%. Если же стрелка искривления не лежит в плоскости расположения плоской фермы, то возникают изгибающие моменты, вызывающие ее общий изгиб в поперечном направлении. При этом

ошибка аналитической методики получается выше. Однако в машиностроительных конструкциях плоские фермы обычно не используются, поэтому данное обстоятельство не снижает пригодности методики для инженерных приложений.

В четвертой главе представлены материалы по оценке влияния местных гибких напряжений на долговечность ферменных конструкций при циклическом нагружении, а также на сопротивление их хрупкому разрушению. Как уже отмечалось, методика оценки КМИ необходима для того, чтобы учитывать данный фактор при прогнозировании долговечности конструкций и сопротивления их хрупкому разрушению.

Основные положения методов расчета сварных конструкций на сопротивление усталости заложены в работах С.В.Серенсена, М.М.Гохберга, А.Вершинского, В.И.Труфякова, В.А.Винокурова, В.Н.Юшкевича, В.А.Ряхина, E.Haibach, D.Radaj, C.M.Sonsino и др.

Сопоставление, взятых из литературных источников, результатов усталостных испытаний ферм с результатами аналогичных испытаний образцов, моделирующих конфигурацию ферменных сварных узлов, показывает, что пределы выносливости узлов ферм получаются на 10 - 35% ниже, чем образцов. Это связано с тем, что испытывавшиеся фермы имели минимальный эксцентриситет и практически прямолинейные стержни. Указанный эффект в основном связан с влиянием двух факторов: а) большей концентрацией напряжений около оконечных косынок, которая вызывается усилиями, приложенными от раскосов к стержням в фермы, отсутствующими в образце; б) более значительным местным изгибом стержней ферм по сравнению с пульсаторными образцами. Данное обстоятельство в определенной степени учтено в нормативных методиках назначения усталостных характеристик сварных узлов путем некоторого снижения их значений по сравнению с полученными на образцах. Следует иметь в

виду, что испытания образцов во много раз дешевле, чем испытания ферменных конструкций, поэтому целесообразно иметь методику, которая позволяет корректировать значения пределов выносливости, полученных на образцах с учетом указанных выше факторов. Однако в литературе нет методики, позволяющей учесть в расчете фактический уровень местного изгиба стержней, который зависит от конструкции, качества изготовления и технического состояния фермы (см. гл. 2 и 3). Для решения этой задачи предлагается предел выносливости ( $\sigma_{-1K,Cf}$ ) для места присоединения стержня к узлу определять с учетом коэффициента влияния местного изгиба ( $S_C$ ), то есть

$$\sigma_{-1K,Cf} = S_C \sigma_{-1K} = \frac{(1 + 0,25)}{(1 + C_f)} \sigma_{-1K} . \quad (6)$$

Здесь  $\sigma_{-1K}$  - значение предела выносливости, полученное в результате испытания сварных образцов соответствующей конфигурации на пульсаторе. График этого коэффициента в зависимости от значения КМИ показан на рис.7 (кривая 1).

Использование выражения (6) и предложенных в главе 2 аналитических зависимостей для вычисления КМИ для трубчатых треугольных ферм позволило обосновать предельные значения эксцентриситетов, при которых не требуется учитывать в расчете на сопротивление усталости влияние местного изгиба. Так установлено, что при выполнении условия  $-0,5 D_d \leq e \leq +1,2 D_d$  (здесь  $D_d$  - диаметр раскоса), коэффициент местного изгиба в поясе в основном не превышает тех значений, которые имеют место в пульсаторных образцах, и, следовательно, может не учитываться в расчетах на сопротивление усталости. Аналогичное условие для раскоса имеет вид  $-0,7 D_d \leq e \leq 0$ . Вышеприведенное условие, полученное для пояса, близко к тому, которое установлено в стандарте отрасли, а ограничение эксцентриситета для раскоса оказалось существенно жестче. Таким образом, выполнение требований стандарта удовлетворительно

беспечивает ограничение местного изгиба в приемлемых рамках для поясов, а может приводить к возникновению значительного изгиба в раскосах.

В процессе эксплуатации кранов в результате дефектов изготовления, нарушения условий эксплуатации или как следствие ошибок, допущенных при проектировании, в элементах несущих конструкций могут возникать трещины.

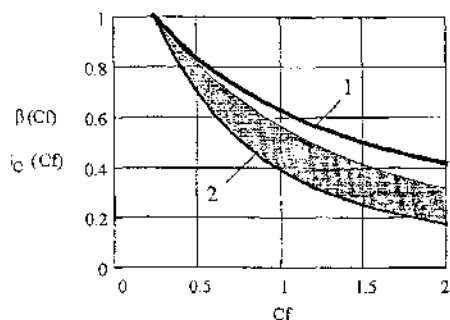


Рис. 7

Для того чтобы такое повреждение не привело к катастрофическому результату, конструкция должна обладать определенным запасом трещиностойкости.

В тех случаях, когда возможно развитие хрупкой трещины в конструкции, то есть при ее использовании в условиях низких температур, при значительных толщинах элементов, при ударной нагрузке, условие нестационарного развития трещины в терминах линейной механики разрушения записывается как  $K_I < K_{Ic}$ , где  $K_I$  и  $K_{Ic}$  — коэффициенты интенсивности напряжений, характеризующие, соответственно, распределение напряжений в вершине трещины от действующих нагрузок и критическое его значение. Для стержня, подверженного осевому нагружению и местному изгибу, действующий коэффициент интенсивности напряжений можно представить в виде суммы коэффициентов от растягивающего усилия и от местного изгиба, то есть

$$K_I = K_{IS} + K_{IM} = Y_S \sigma_S \sqrt{\pi a} + Y_M \sigma_M \sqrt{\pi a} = Y_S \sigma_S \sqrt{\pi a} \left[ 1 + C_f \frac{Y_M}{Y_S} \right]. \quad (7)$$

Из этого выражения получена формула для коэффициента влияния местного изгиба на расчетную длину краевой критической трещины, равному отношению длины трещины, вычисленной с учетом местного изгиба, ( $a_{fc}$ ) к длине тре-

щины ( $a_c$ ) в стержне с уровнем местного изгиба, соответствующем условиям лабораторных испытаний,

$$\beta_{af} = \frac{a_{cf}}{a_c} = \left\{ \frac{1 + 0.25(1 - \alpha)}{1 + C_f(1 - \alpha)} \right\}^2 \quad (8)$$

На рис.7 показаны графики зависимости коэффициента влияния местного изгиба ( $\beta_{af}$ ) от значения КМИ. Затененная область 2 соответствует значениям размера трещин от минимального до половины поперечного сечения стержня.

Разработанные в настоящей диссертации методы определения местного изгиба, возникающего в стержнях ферм в результате неточности изготовления и эксплуатационных повреждений, наиболее эффективны при оценке остаточного ресурса крановых конструкции, поскольку дают возможность учесть и текущее техническое состояние и качество изготовления и, соответственно сформировать индивидуальный прогноз долговечности. В работе приводится структура методики оценки остаточного ресурса ферменной конструкции, построенной с использованием предложенных методик по определению значений КМИ и его влияния на предел выносливости узлов ферм.

Данный подход был использован при оценке остаточного ресурса разливочного мостового крана, работающего в цехе № 15 АО «Ижорские заводы» имеющего грузоподъемность 75/20 т, пролет 22,5 м с балочно-ферменной конструкцией. Кран эксплуатируется с 1956 г. При обследовании конструкции крана были определены ее геометрические характеристики и обнаружены искривления стержней и ряд усталостных повреждений. Расчеты, выполненные по вышеприведенной методике, подтвердили, что ресурс конструкции по условиям усталостного повреждения исчерпан, и обнаруженные трещины не являются случайными.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая диссертация посвящена совершенствованию методов расчета переменных конструкций на сопротивление усталости и хрупкому разрушению. В результате проведенных исследований автором получены следующие основные результаты.

1. Разработана приближенная аналитическая методика расчета коэффициентов местного изгиба стержней ферм, возникающего в результате эксцентricности их соединения в узле. На ее основе получен упрощенный способ оценки параметров местного изгиба для треугольных трубчатых ферм с раскосами, наклоненными под углом  $45^\circ$ , с помощью которого выявлены удобные для инженерного применения зависимости коэффициента местного изгиба от геометрических параметров фермы и условий ее загрузки.

2. На основании предложенных аналитических решений обоснованы диапазоны изменения эксцентricитета соединения стержней в узле фермы с треугольной решеткой, при которых местный изгиб стержней не превосходит определенного уровня, не требующего специального учета его в расчетах на сопротивление усталости.

3. Разработана приближенная аналитическая методика расчета коэффициентов местного изгиба стержней, возникающего в результате непрямолинейности их формы.

4. Выполнено численное исследование МКЭ местных изгибных напряжений в стержнях ферм с различными схемами решеток, профилями сечений, при различных видах нагружения, содержащих эксцентricитеты узлов различного назначения и искривления отдельных стержней. Сопоставление результатов расчета МКЭ с данными, полученными по предлагаемым методикам, и методу А.М.Гохберга показало, что метод М.М.Гохберга во всех случаях дает существенную погрешность не в запас надежности, а предлагаемые методики позво-

ляют выполнить оценку местного изгиба с точностью, достаточной для инженерных целей.

5. На основании сопоставления и анализа результатов усталостных испытаний моделей ферменных конструкций и пульсаторных образцов, моделирующих конфигурацию их узлов, показано, что специфические условия нагружения узлов в ферменной конструкции приводят к тому, что сопротивление усталости элементов ферм оказывается ниже, чем аналогичных по форме образцов, подвергаемых осевому нагружению. Одним из факторов, определяющих эту специфику, является местный изгиб стержней. Предложена методика корректировки значений пределов выносливости, полученных на пульсаторных образцах, позволяющая учесть влияние местного изгиба стержней фермы.

6. Путем использования аппарата линейной механики разрушения оценено влияние местного изгиба на длину критической трещины, которое оказалось весьма значительным. Этот результат еще раз подтверждает тот факт, что ферменные конструкции обладают малой живучестью и трещиностойкостью.

### Публикации по теме диссертации

1. Кой БунТхорн, Соколов С.А. Исследование местного изгиба в стержнях ферменных крановых конструкций. // Молодежная научная конференция (в рамках 26-ой Недели науки СПбГТУ). Материалы докладов. Ч. I. – СПб. СПбГТУ, 1998. - С. 147 – 148.
2. Кой БунТхорн, Соколов С.А. Исследования местного изгиба стержней ферм, возникающего в результате их искривления. // XXVII Неделя науки СПбГТУ (7 – 12 дек. 1998 г.). Ч. II: Материалы межвузовской научной конференции (механико-машиностроительный факультет и факультет технологии и исследования материалов). – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – С. 83 – 84.