

М 259093

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

КУЛИКОВ Юрий Александрович

**РАСЧЕТ ТРОЙНИКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ
ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

(01.02.06. Динамика, прочность и надежность машин,
приборов и аппаратуры)

Диссертация написана на русском языке.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1974

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
Кандидат технических наук, доцент И. В. СТАСЕНКО

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Н. В. Валишвили,
кандидат технических наук, доцент В. Ф. ЧИЖОВ.

Ведущее предприятие — Московское отделение Центрального котлотурбинного института.

Автореферат разослан « » 1974 г.

Защита диссертации состоится « » 1974 г.
на заседании специализированного Совета по динамике и проч-
ности машин МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Ваши отзывы на автореферат (в 2-х экземплярах, заверен-
ные печатью) просим направлять по адресу: Москва, 107005,
2-я Бауманская

С диссерт-
лища.

Учи-

Ученый
кандидат тех

юстин

М 259093

Д-71171 от 14/

пр 120

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1259093

Куликов Ю. А. Расчет тройн

3605524

Дальнейшее развитие современной энергетики, нефтяной, химической, газовой и других отраслей промышленности неразрывно связано со всё возрастающим объемом работ по проектированию, изготовлению и монтажу трубопроводов различного назначения. В связи с этим особо важное значение приобретают вопросы эффективного расчетного анализа прочности и жесткости трубопроводных систем.

Одним из наиболее распространенных и ответственных элементов трубопроводов является тройниковое соединение труб. Ввиду отсутствия обоснованных методов расчета тройникового соединения действующие нормы проектирования и технические условия в явном виде не регламентируют напряжения в зоне соединения. Это приводит к тому, что в процессе эксплуатации вблизи линии соединения труб зачастую имеет место появление и развитие трещин, которые порой приводят к разрушению конструкции. С другой стороны иногда имеет место и необоснованное завышение запаса прочности указанного соединения.

Настоящая работа посвящена исследованию напряженного состояния соединения "тройник" в общем случае нагружения (действие внутреннего давления, сил и моментов как на патрубок, так и на основную трубу). Сопрягаемые трубы рассматриваются как тонкостенные оболочки, при этом отношение диаметров оболочек не ограничивается. Задача решается в физически и геометрически линейной постановке.

Такое решение может быть использовано для расчета тройникового соединения труб газопроводов, водопроводов напорных трубопроводов гидроэлектростанций, различных сосудов давления, рабо-

тающих при нормальной температуре. Разработанный алгоритм решения задачи может быть применен и к решению её в физически нелинейной постановке, т.е. с учетом пластичности и ползучести материала, как основная часть итерационного шагового метода. Такое решение можно построить для расчета тройникового соединения трубопроводов теплоэлектростанций, ядерных реакторов работающих при повышенных температурах. В некоторых установках трубопроводы работают при переменных нагрузках, т.е. в режиме частых пуск и остановов, приводящих к образованию усталостных трещин. При этом возникает потребность в оценке концентрации напряжений в зоне соединения.

Диссертация состоит из шести глав, приложений и списка цитированной литературы.

Первая глава является вводной, в которой даётся постановка задачи и приводится расчетная схема соединения "тройник".

Вторая глава содержит краткий обзор литературы по методам исследования тройникового соединения, в котором сделана попытка систематизировать имеющуюся литературу.

Вначале рассматриваются работы с аналитическим подходом, в рамках которого выделяются два направления.

1. Предполагается, что диаметр патрубка мал по сравнению с диаметром основной трубы. В этом случае кривая пересечения аппроксимируется плоской кривой (окружностью), а основная оболочка считается толстой. В такой постановке решение этой задачи даётся в работах Рейдельбаха, Мойнта с коллегами, Еринжена и Сахаби, В.Н.Чехова и Ю.А.Шевлякова, Юамото, Хэнсбери и Джонса.

2. Ограничений на диаметры сопрягаемых оболочек не накладывается. В этом случае линия пересечения – сложная пространственная кривая, а основная оболочка уже непологая. Это направление развивается в работах Биджларда с коллегами, Пэна и Беке-та. Полученные решения соответствуют эксперименту только качественно.

Трудности получения аналитического решения заставили исследователей обратиться к численным методам, одним из которых

является метод конечных элементов. В кратком историческом обзоре по методу конечных элементов отмечаются работы Д.Эйлера и Р.Куранта; Леви, Аргириса, Тернера с коллегами и Клафа; Галлахера, Мелоса, Джонса, Вёбека, Пиана, Кхенна; А.А.Шапошникова, Э.Ш.Меламеда, Ю.И.Иванова и других авторов.

Исследование напряженного состояния соединений "тройник" методом конечных элементов проводится в работах Германа и Кемпбелла (Калифорнийский университет, США), Аргириса с коллегами (Штутгартский университет, ФРГ), Хеллена и Монея (Берклиевская лаборатория ядерных исследований, США), Андо с коллегами (Токийский университет), Корума и Гринстрита (Окридская национальная лаборатория, США). Результаты расчета, как правило, достаточно хорошо соответствуют эксперименту. Однако все перечисленные работы содержат лишь постановку и результаты исследования для соединения с конкретными геометрическими и механическими характеристиками. Само решение заключено в программах, публикации которых отсутствуют. Кроме того в виду технических особенностей отечественных машин, эти программы, очевидно, и не могут быть нами использованы.

В третьей главе выводятся канонические уравнения метода конечных элементов в перемещениях для тонких оболочек, в предположении применимости гипотезы Кирхгофа-Лява, из условия минимума полной энергии (вариационный принцип Лагранжа). Для этого используется метод Рунта с кусочно-непрерывной аппроксимацией перемещений.

Для этого записывается выражение полной потенциальной энергии системы. Срединная поверхность оболочки разбивается на конечное число элементов, взаимодействующих в отдельных точках — узлах. Перемещения в пределах элемента аппроксимируются некоторыми координатными функциями, удовлетворяющих условиям совместности деформаций, и линейными относительно узловых перемещений. Функционал полной энергии системы записывается в виде суммы функционалов отдельных элементов, выраженных через перемещения узловых точек с учетом кинематических граничных условий задачи:

$$\Pi = \sum_{\tau=1}^m \frac{1}{2} \{\delta^{\tau}\}^T \iint_{S_{\tau}} [N]^T [B]^T [D] [B] [N] dS_{\tau} \{\delta^{\tau}\} - \sum_{\tau=1}^m \{\delta^{\tau}\}^T \iint_{S_{\tau}} [N]^T \{p\} dS_{\tau}, \quad (1)$$

где $[D]$ - матрица упругих постоянных,
 $[B]$ - матрица дифференциальных операторов,
 $\{p\}$ - вектор внешних сил, действующих на элемент,
 $\{\delta\}$ - вектор перемещений узлов, принадлежащих элементу (τ),
 $[N]$ - матрица координатных функций, аппроксимирующих перемещения,
 τ - порядковый номер элемента,
 m - число элементов,
 S_{τ} - площадь срединной поверхности элемента.

Вводятся обозначения

$$\{F^{\tau}\} = \iint_{S_{\tau}} [N]^T \{p\} dS_{\tau}, \quad \{P^{\tau}\} = \iint_{S_{\tau}} [N]^T [B]^T [D] [B] [N] dS_{\tau} \{\delta^{\tau}\}. \quad (2)$$

Внешние силы, действующие на элемент поверхности оболочки, приводятся к узловым точкам элемента. Величины этих внешних узловых сил выбираются из условия энергетической эквивалентности системы действительных и приведенных к узлам сил. Аналогичным образом, внутренние узловые силы вычисляются из условия равенства их работы на возможных узловых перемещениях потенциальной энергии деформации элемента.

В таком случае $\{F^{\tau}\}$ и $\{P^{\tau}\}$ представляют собой векторы обобщенных внешних и обобщенных внутренних узловых сил, соответствующие вектору обобщенных перемещений $\{\delta^{\tau}\}$. Выражение (2) устанавливает зависимость внутренних усилий в узлах от перемещений этих узлов. Следовательно, выражение, содержащее интеграл, ни что иное как матрица жесткости элемента (τ).

$$[K^{\tau}] = \iint_{S_{\tau}} [N]^T [B]^T [D] [B] [N] dS_{\tau}. \quad (3)$$

После ряда преобразований из условия минимума полной энергии системы получается система линейных алгебраических уравнений с неизвестными узловыми перемещениями

$$\{F\} = [K] \{\delta\} \quad (4)$$

Здесь каждое уравнение является уравнением равновесия для отдельной узловой точки. Матрица жесткости $[K]$ и вектор узловых сил $\{F\}$ представляются по Л.А.Розину в виде блоков, каждый из которых находится путем суммирования соответствующих подматриц жесткости и векторов узловых сил отдельных элементов.

Отмечается, что при наличии разрывов в линейных или угловых перемещениях вдоль границ элементов, следует использовать более общие вариационные принципы Прагера, Джонса, Грина.

В четвертой главе рассматриваются искривленные конечные элементы для тонкой круговой цилиндрической оболочки. Приводятся три прямоугольных конечных элемента.

1 - элемент Богнера.

2 - элемент Кантина и Клафа.

3 - элемент Ашвелла.

Анализируется точность решения этими элементами цилиндрической оболочки, нагруженной двумя диаметрально сосредоточенными силами. Показаны графики сходимости приближенных решений с использованием этих элементов к точному аналитическому решению С.Д.Тимошенко при увеличении числа элементов. Отмечается, что неучёт движения элемента как жесткого тела, резко сказывается на скорости сходимости решения.

На основании анализа графиков сходимости решений, для расчета треугольного соединения выбран искривленный прямоугольный элемент Кантина и Клафа, имеющий 24 степени свободы.

Для аппроксимации поверхности оболочек в зоне границ несовпадающих с линиями главных кривизн (для "треугольника" - в зоне соединения оболочек) разрабатывается треугольный конечный элемент, совместимый с прямоугольным элементом Кантина и Клафа. Две стороны элемента совпадают с линиями главных кривизн, а третья образуется геодезической. Элемент имеет 24 степени свободы. Узловые точки выбраны в вершинах треугольника и посередине геодезической. Каждая узловая точка имеет шесть степеней свободы. Допускаются линейные перемещения u , v , w ; угловые перемещения $w_{1,2}$, $w_{1,2} - v/\tau$ и кручение $w_{1,2}$.

Функции, аппроксимирующие перемещения элемента, выбираются в виде суммы перемещений точек за счет деформирования элемента и перемещений за счёт движения элемента как жёсткого целого.

Функции, отражающие деформирование элемента, принимаются по Богнеру в виде модифицированных полиномов Эрмита:

$$\begin{aligned} u_1 &= \alpha_1 \xi \eta + \alpha_2 \xi + \alpha_3 \eta + \alpha_4, \\ v_1 &= \alpha_5 \xi \eta + \alpha_6 \xi + \alpha_7 \eta + \alpha_8, \\ w_1 &= \alpha_9 \xi^3 \eta^3 + \alpha_{10} \xi^3 \eta^2 + \alpha_{11} \xi^3 \eta + \alpha_{12} \xi^3 + \alpha_{13} \xi^2 \eta^3 + \\ &+ \alpha_{14} \xi^2 \eta^2 + \alpha_{15} \xi^2 \eta + \alpha_{16} \xi^2 + \alpha_{17} \xi \eta^3 + \alpha_{18} \xi \eta^2 + \\ &+ \alpha_{19} \xi \eta + \alpha_{20} \xi + \alpha_{21} \eta^3 + \alpha_{22} \eta^2 + \alpha_{23} \eta + \alpha_{24}. \end{aligned} \quad (5)$$

Функции, отражающие движение элемента как целого, находят-ся из рассмотрения схемы жесткого деформирования, путём задания элементу шести возможных перемещений, в виде

$$\begin{aligned} u_2 &= \alpha_4 - \alpha_6 \tau \sin \phi + \alpha_{20} \tau (1 - \cos \phi), \\ v_2 &= \alpha_6 \xi \cos \phi + \alpha_8 - \alpha_{20} \xi \sin \phi - \alpha_{23} \tau (1 - \cos \phi) - \alpha_{24} \sin \phi, \\ w_2 &= \alpha_6 \xi \sin \phi + \alpha_{20} \xi \cos \phi + \alpha_{23} \tau \sin \phi + \alpha_{24} \cos \phi. \end{aligned} \quad (6)$$

где ϕ — угловая координата,
 τ — радиус срединной поверхности,
 ξ, η — криволинейные координаты срединной поверхности, направленные по линиям главных кривизн,
 α_i — произвольные постоянные.

Функции (6) могут быть приведены к виду, совпадающему с функциями Кантина и Клафа, и соответствуют однородному решению системы дифференциальных уравнений связи между деформациями и перемещениями теории оболочек В.В.Новожилова. При $\tau \rightarrow \infty$ или $\phi \rightarrow 0$ (случай плоского элемента) полученные функции перемещений (5) и (6) принимают вид модифицированных полиномов Эрмита (5).

Функции перемещений и их первые производные (углы поворота нормали срединной поверхности), сохраняют непрерывность при переходе через границы элементов, совпадающие с линиями главных кривизн. Поэтому при аппроксимации такими элементами (прямоугольными, а в зоне пересечения треугольными) треугольного соединения выбранные функции перемещений и углов наклона нормали сохраняют непрерывность по всей поверхности. Условие же совместности по линии пересечения удовлетворяется лишь в отдельных узловых точках (аналогия с методом коллокаций).

Для вывода матрицы жесткости и вектора узловых сил элементов используется классическая теория тонких упругих оболочек В.В.Новожилова.

Поскольку матрица жесткости треугольного элемента оказывается неинвариантной относительно поворота координат ξ, η (в общем случае возможно четыре "рабочих" положения) коэффициенты этой матрицы вычисляются для каждого из возможных положений. В приложениях приводятся матрицы жесткости и коэффициенты этих матриц как для прямоугольного, так и для четырех треугольных элементов.

Векторы узловых сил также составляются для каждого из "рабочих" положений треугольного элемента. В приложениях приводятся компоненты векторов узловых сил, эквивалентных действию давления и собственного веса на элемент, как для прямоугольного, так и для треугольных элементов.

Для исследования точности решения задач расчета круговых цилиндрических оболочек предложенными треугольными конечными элементами и сравнения их с элементами других авторов рассматривается тестовая задача расчета тонкостенной цилиндрической панели, нагруженной собственным весом.

Для решения этой задачи составлена программа на языке ФОРТРАН для машины БЭСМ-6, которая предусматривает деление конструкции на элементы, формирование и решение методом блочного исключения Гаусса системы канонических уравнений, задание с помощью приёма Пейна и Айрона граничных условий, вычисление внутренних усилий и напряжений. Даются блок-схема и описание программы, сама программа приводится в приложениях.

Показано распределение перемещений и внутренних усилий.

Результаты численного решения методом конечных элементов практически совпадают с результатами аналитического решения уже при разбиении одной четверти панели на 8×10 элементов. Разработанная программа легко может быть использована для решения целого ряда аналогичных задач: цилиндрическая панель с бортовыми опорами, цилиндр нагруженный двумя диаметрными сосредоточенными силами и так далее.

Показана сходимость приближенного решения методом конечных элементов с увеличением числа элементов к точному аналитическому решению, реализующему классическую теорию оболочек Доннелла-Дженкинса. Для сравнения приведены графики сходимости решений ряда других авторов. Предложенные элементы по точности и скорости сходимости оказались вполне сравнимыми с другими элементами специально разработанными для решения задач подобных рассмотренной.

В пятой главе разрабатывается методика расчета тройникового соединения тонкостенных труб методом конечных элементов, на основе которой в системе ФОРТРАН - БЭСМ-6 составляется программа расчета.

Предусматривается автоматическое деление конструкции на элементы. Под делением на элементы понимается вычисление размеров конечных элементов в зависимости от геометрических размеров соединения. Т.к. "тройник" имеет две плоскости симметрии и нагружен только симметричными и кососимметричными внешними нагрузками, расчетная схема составляется лишь для половины конструкции. Линии деления совмещаются с линиями главных кривизн. При этом образуются прямоугольные и треугольные элементы. Поскольку зона возмущения напряженного состояния, обусловленная краевым эффектом, носит локальный характер, используется нерегулярная сетка со сгущением в зоне возмущения.

Геометрическая модель (основная система) тройникового соединения является много раз кинематически неопределимой системой. Для принятой основной системы тройникового соединения степень неопределимости равняется 1458.

Для раскрытия кинематической неопределимости составляется

система канонических уравнений. Наиболее удобной для решения является система с блочной трехдиагональной матрицей жесткости. Для получения такой матрицы последовательно расположенные и пронумерованные узловые точки объединяются в ряды, которые также можно назвать "обобщенными узлами". Конечные элементы, заключенные между рядами, образуют подразделения. В каждое уравнение системы канонических уравнений (уравнение равновесия узловой точки i - го ряда) входят геометрические, механические и кинематические факторы, относящиеся только к двум соседним с рядом (i) подразделениям (аналогия уравнению трех моментов).

Коэффициенты, расположенные по главной диагонали матрицы жесткости и соответствующие внутренним усилиям для i - го "обобщенного узла" возникающих в результате единичных перемещений самого "узла", объединяются в квадратную матрицу (диагональный блок $[D]$), размерность которой равняется числу степеней свободы этого (i - го) "обобщенного узла".

Недиагональные коэффициенты, отражающие влияние перемещений предыдущего ($i - I$) и последующего ($i + I$) рядов на усилия i - го ряда, объединяются в прямоугольные матрицы (недиагональные блоки $[S]$), размерность которых определяется числом степеней свободы ($i - I$), (i), и ($i + I$) "обобщенных узлов".

В результате матрица жесткости для всей системы получается в блочной трехдиагональной форме. Соединение "тройник" - геометрически нерегулярная конструкция. Поэтому олоки матрицы жесткости получаются переменной размерности, с максимальным размером 96. Показаны структура системы канонических уравнений и структура отдельных блоков этой системы.

Формирование канонических уравнений метода конечных элементов в перемещениях проводится для трубы - в цилиндрической системе координат, связанной с трубой, а для патрубка - в цилиндрической системе координат патрубка. Так как узловые точки линии пересечения принадлежат одновременно как трубе, так и патрубку, уравнения равновесия, относящиеся к этим точкам, записываются в единой системе координат основной трубы. Для преобразования вектора сил и вектора перемещений из одной сис-

темы координат в другую вводится матрица преобразования:

$$\begin{Bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [A_1] & 0 & 0 \\ 0 & [A_2] & 0 \\ 0 & 0 & [A_3] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta'_1 \\ \Delta'_2 \\ \Delta'_3 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Здесь $\Delta_1(\Delta'_1)$ - вектор линейных перемещений либо вектор сил (моментов нулевого порядка),

$\Delta_2(\Delta'_2)$ - вектор угловых перемещений либо вектор моментов первого порядка,

$\Delta_3(\Delta'_3)$ - вектор кручения либо вектор момента второго порядка,

$[A_1], [A_2], [A_3]$ - соответствующие матрицы преобразования.

Показана физическая сущность вектора кручения. Под кручением понимается относительный угол закручивания бесконечно малого элемента срединной поверхности. Этому перемещению соответствует обобщенная сила в виде бимоента - момента второго порядка.

Записываются граничные условия на контуре соединения в зависимости от силовой схемы нагружения. Рассматриваются три случая нагружения и действие внутреннего давления, и изгибающих моментов, приложенных к патрубку как "в плоскости", так и "из плоскости" соединения; подобранных так, чтобы внешняя нагрузка обладала свойством как прямой, так и кривой симметрии. Это даёт возможность получить общее решение нагружения тройника в виде линейной комбинации указанных частных решений.

Учёт граничных условий при расчете конструкции методом конечных элементов проводится при составлении системы канонических уравнений. Поскольку в качестве неизвестных выбраны перемещения узловых точек, то:

- силовые граничные условия учитываются при вычислении вектора узловых сил, которые находятся из условия статической эквивалентности напряжениям на контуре и нагрузке на элемент;
- кинематические граничные условия учитываются путём подстановки заданных перемещений на контуре соединения в систему канонических уравнений, которая проводится с помощью известного приема Пейна и Айрона.

Анализируются методы решения системы линейных уравнений с большим числом неизвестных. Формулируются основные требования, которым должен удовлетворять "идеальный", с точки зрения его реализации на ЭВМ метод решения систем уравнений высокого порядка с ленточной матрицей коэффициентов.

Для решения системы канонических уравнений используется метод блочного исключения Гаусса, который достаточно хорошо удовлетворяет всем перечисленным требованиям "идеального" метода.

Решением системы канонических уравнений являются величины перемещений отдельных узловых точек срединной поверхности оболочек. По найденным перемещениям определяются компоненты напряженно-деформированного состояния соединения, при этом напряжения вычисляются в точках наружной и внутренней поверхностей. Внутренние усилия и напряжения вычисляются в местной системе координат, связанной с каждым конечным элементом, в узловых и центральных точках, при этом по границам элементов наблюдаются разрывы. "Истинным" считается, по Мелолу, среднее арифметическое значение усилий и напряжений в элементах, сходящихся в узле. Результаты полученные в узловых точках с осреднением по Мелолу и в центральных, связанных с началом координат, точках элементов достаточно хорошо ложатся на единую кривую.

Приводятся блок-схема и описание программы, сама программа показана в приложениях. Программа состоит из головной подпрограммы и 16 отдельных сегментов, которые объединяют 60 подпрограмм. Для хранения промежуточных результатов используются две магнитные ленты. Время решения задачи составило 1 ч. 24 мин.

Полученные результаты расчета соединенных "тройник" сопоставляются с экспериментом и решением методом конечных элементов американских исследователей Корума и Гринстрита, которые в своем решении использовали пространственный граненый четырехугольный элемент (собирается из 4-х треугольных) с пятью степенями свободы в каждом узле. Геометрическая модель собранная из таких элементов имеет 649 узлов, соответствующая система уравнений порядок 3000.

Значения напряжений, полученные в диссертации, количественно и качественно соответствуют и эксперименту, и решению

ВЫВОДЫ

Диссертационная работа посвящена расчету тройникового соединения тонкостенных труб. Она содержит ряд исследований, результаты которых заключаются в следующем.

1. Разработано семейство искривленных треугольных конечных элементов, совместимых с известным прямоугольным элементом Канта и Клафа. Элементы предназначены для аппроксимации поверхности круговой цилиндрической оболочки большой кривизны в зоне грани, несовпадающих с линиями главных кривизн. Для остальной области может быть использован прямоугольный элемент Канта и Клафа.

2. Для тонких упругих оболочек, в предположении применимости гипотезы Кирхгофа-Лява, из условия минимума полной энергии системы получены канонические уравнения метода конечных элементов. Для этого использован метод Рунта с кусочно-непрерывной аппроксимацией перемещений. Показана структура матрицы жесткости и вектора узловых сил.

3. Разработана программа расчета цилиндрической панели. Для случая нагружения панели собственным весом получено распределение перемещений, внутренних усилий и напряжений. Результаты численного решения практически совпадают с результатами аналитического решения.

4. На примере расчета цилиндрической панели исследована сходимость решения предложенными треугольными элементами к точному аналитическому решению.

5. Разработана методика расчета тройникового соединения тонкостенных труб методом конечных элементов.

6. По предложенной методике составлена программа расчета тройникового соединения тонкостенных труб.

7. Построены графики распределения напряжений на внешней и внутренней поверхностях основной трубы и патрубка при нагружении соединения внутренним давлением.

8. Значения напряжений, полученные расчетным путем, количественно и качественно согласуются с известными из литературы

решением методом конечных элементов и экспериментальными данными.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях:

1. Стасенко И.В., Куликов Ю.А. Треугольный конечный элемент для круговой цилиндрической оболочки. "Изв. ВУЗов. Машиностроение", 1973, № 12, 5-8.

2. Куликов Ю.А. Вывод канонических уравнений метода конечных элементов. "Материалы конференции по итогам научно-исследовательских работ МПИ им. М.Горького", Йошкар-Ола, 1974, 19-21.