

На правах рукописи

Осипов Юрий Викторович

**МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТЬЮ  
АППАРАТА ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ «УНИВЕРСАЛ»**

Специальность 01.02.06 – динамика, прочность машин,  
приборов и аппаратуры

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск 2000

Работа выполнена в Институте физики прочности и материаловедения СО  
РАН

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор Люкшин Б.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
Реутов Ю.И.  
Кандидат физико-математических наук  
Барашков В.Н.

Ведущая организация: Томский государственный университет

Защита состоится 14 декабря 2000 г. В 15 часов на заседании  
диссертационного совета К 063.80.04 при Томском политехническом  
университете по адресу: 634034, г.Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТПУ по адресу: г.  
Томск, ул. Белинского, 53-а.

Автореферат разослан 13 ноября 2000г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Саруев Л.А.

## Общая характеристика работы

Актуальность темы. Одной из фундаментальных проблем в современной ортопедии и травматологии является проблема обеспечения стабильных внешних условий остеосинтеза различных переломов и патологий. Каждый из широко используемых методов фиксации (жесткие компрессионные пластины, интрамедуллярные гвозди и внешние фиксаторы) имеют преимущества и недостатки, так же как и индивидуальные биомеханические характеристики. Вследствие наличия показаний и противопоказаний, проблема применения того или иного способа фиксации костных отломков есть проблема выбора для конкретного случая перелома, чтобы добиться оптимального результата и избежать дополнительной травмы мягких тканей и нарушения кровообращения в месте перелома. В этом плане наиболее универсальными по комплексу биомеханических и медицинских характеристик являются аппараты внешней фиксации (АВФ).

АВФ позволяют создать оптимальные условия не только для костной регенерации, но и для всего восстановительного процесса в целом в поврежденной конечности. Вот эти условия:

- стабильная фиксация костных отломков с помощью аппарата, т.е. большая иммобилизация, чем при традиционных методах, качественно меняет характер течения костной регенерации;

- остаются свободными смежные суставы поврежденного сегмента, что имеет исключительно важное значение для профилактики развития контрактуры суставов;

- ранняя функциональная нагрузка поврежденной конечности, необходимая для обеспечения повышенного регионарного кровообращения и усиления местного питания, она должна быть постепенной, дозированной с нарастающими усилиями.

Следовательно, в идеале система фиксации перелома должна обеспечивать на различных этапах лечения разную степень жесткости фиксации - от полной иммобилизации в начале процесса лечения до полного раскрепощения в конце.

Аппарат внешней фиксации для остеосинтеза «Универсал» изобретен и разработан в КНПО «Биотехника» г.Томска (патенты на изобретение N 2039533 - «Аппарат для остеосинтеза.» 1992г., N1743024 - «Биоактивное покрытие на имплантант из титана.» 1993г. и - «Спица для остеосинтеза и способ ее изготовления.» N2064291 1996г.) как более совершенная система для лечения больных травматологического и ортопедического профиля.

Целью диссертационной работы является разработка методов повышения начальной жесткости и прогнозируемого снижения жесткости аппарата внешней фиксации «Универсал» в процессе лечения переломов. В соответствии с целью работы были поставлены следующие **задачи**:

- проанализировать возможные способы изменения жесткости каркаса АВФ;
- экспериментально изучить деформационно-прочностные характеристики элементов каркаса АВФ «Универсал», моделируя их работу в реальных условиях, чтобы оценить вклад каждого элемента в общую жесткость каркаса;
- экспериментально исследовать механическое поведение каркасов АВФ в зависимости варианта сборки;
- построить математическую модель каркаса АВФ "Универсал" в классическом и квазителескопическом вариантах сборки, позволяющую рассчитывать жесткость АВФ при действии любых видов нагружения и учитывающую влияние управляющих параметров;

- на основании результатов эксперимента и расчетов разработать рекомендации по увеличению начальной жесткости АВФ «Универсал», способам управления его жесткостью в процессе лечения.

Метод решения поставленной задачи:

- экспериментальное изучение деформационно-прочностного поведения элементов конструкции и полной сборки каркаса АВФ «Универсал» в некоторых вариантах;

- численное моделирование функционирования АВФ и его элементов.

Научная новизна:

- впервые проведен обширный комплексный экспериментально-теоретический анализ работы АВФ «Универсал»;

- впервые аппарат "Универсал" моделируется как пространственная стержневая система;

- впервые создан пакет программ для расчета жесткости АВФ "Универсал" в наиболее часто применяемых в практике ортопедии классических вариантах сборки и перспективных для применения квазителескопических вариантах.

- впервые даны рекомендации, основанные на расчетах, по оптимальному монтажу квазителескопического АВФ "Универсал".

Научная и практическая ценность.

Работа выполнялась в рамках НИОКР "Биомеханические и технологические аспекты лечения переломов длинных трубчатых костей квазителескопическими системами внешней фиксации", номер госрегистрации 01990000256 в Министерстве науки и технологии.

Решение подобных задач имеет существенное значение для развития устройств и методов фиксации при лечении переломов костей различных степеней сложности. Как известно, одной из основных проблем в современной ортопедии является обеспечение стабильных условий

срастания переломов, что позволяет сокращать сроки лечения и повышать его качество.

Недостатком спицевых АВФ является сравнительно малая жесткость фиксации. Результаты работы показывают, что ее можно существенно повысить, не прибегая к изменению конструкции каркаса и значительным материальным затратам.

Применение разработанных сравнительно недавно квазителескопических каркасов в лечебной практике сдерживается из-за мало изученности их биомеханики. Результаты этой работы показывают преимущество такого типа каркасов перед классическим и позволяют дать рекомендации по оптимальному монтажу АВФ.

Разработанные программы могут быть использованы для расчета и других спицевых и спице-стержневых аппаратов, например, Илизарова, при соответствующем изменении координат узлов и параметров стержневой системы.

Основные положения, выдвигаемые на защиту:

- результаты исследования вклада жесткости элементов в общую жесткость каркаса;
- результаты сравнения жесткости квазителескопических и классических вариантов сборки АВФ "Универсал";
- математические модели каркаса АВФ «Универсал»;
- способы увеличения начальной жесткости АВФ и ее прогнозируемого снижения;
- особенности сборки квазителескопического каркаса АВФ «Универсал».

Обоснованность и достоверность результатов и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечивается использованием проверенного оборудования и статистической обработкой результатов

эксперимента, выбором численных методов моделирования, тестированием математических моделей по результатам эксперимента.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на международных конференциях: в 1995г. "Международная конференция по использованию результатов конверсии науки в вузах Сибири для международного сотрудничества" (г.Томск), в 1998г. «Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik» (г.Дрезден) и ЕМВЕС'99 (European Medical and Biological Engineering Conference) (г.Вена). На отечественных конференциях: в 1998г. в г.Томске «Механика летательных аппаратов и современные материалы», в 2000г. в г.Новосибирске на объединенной сессии общего собрания СО РАН и СО РАМН «Новые медицинские технологии».

Все результаты работы, в том числе и программа для расчета жесткости АВФ «Универсал», используются в производственной практике ЗАО КНПО «Биотехника» (г.Томск) и в клинической практике в Центре ортопедии и медицинского материаловедения ТНЦ СО РАМН, в Центре восстановительной травматологии и ортопедии ТНЦ СО РАМН.

Публикации. Результаты диссертации опубликованы в 6 работах.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем диссертации составляет 96 страниц, 8 фотографий и 26 рисунков. Список литературы содержит 73 наименования.

### **Основное содержание работы**

Во введении сформулирована цель работы, обоснована актуальность темы, обоснована новизна положений диссертации, их практическая и научная ценность, представлены положения, выносимые на защиту, и описана структура диссертации.

В первой главе диссертационной работы проводится анализ существующих аппаратов внешней фиксации. Рассмотрены основные

проблемы совершенствования АВФ на современном этапе. Обсуждаются принципы построения АВФ, адаптированного к геометрии конечности, конструктивно-технические и биомеханические особенности АВФ «Универсал». Так же показана необходимость привлечения математического моделирования для прогнозирования механического поведения АВФ.

Целью главы является обоснование выбора АВФ «Универсал» для проведения исследований как наиболее совершенного и перспективного в плане совершенствования в направлении создания квазителескопических каркасов с прогнозируемой изменяемой жесткостью.

Вторая глава посвящена изучению возможности управления жесткостью АВФ. Рассмотрены механизмы регулирования жесткости:

- способ сборки (геометрический метод),
- уровень напряженности каркаса (механический метод),
- использование материалов с различными деформационно-прочностными характеристиками (физический метод),
- изменение размеров элементов (конструкционный метод).

В третьей главе проводится экспериментальное исследование деформационно-прочностных свойств элементов каркаса АВФ «Универсал» при вариантах нагружения, моделирующих реальную работу элемента и испытание на осевое сжатие семи вариантов сборки этого АВФ и аппарата Илизарова.

При проведении поэлементного исследования преследовалась цель получить картину поведения отдельного элемента с учетом влияния механизма соединения со смежным элементом и более полно отражающую работу детали в реальной конструкции - с одной стороны, а с другой - иметь достаточно простые схемы нагружения для тестирования математических моделей элементов АВФ в дальнейшем.

Результаты поэлементного исследования наглядно демонстрируют, что из трех основных элементов каркаса АВФ «Универсал» наиболее податливым является спица. Податливость спицы сильно зависит от величины предварительного натяжения, которое можно дозировать с помощью спицнатягивателя. Однако прижимы, применяемые в «Универсале», не всегда обеспечивают надежное удержание натянутых спиц.

Стержни-стойки за счет малого момента инерции, большой длины и большой жесткости в осевом направлении мало влияют на систему опорное кольцо-спицы и дают незначительный вклад в перемещение нагружаемой части спицы вдоль оси аппарата.

Экспериментальная оценка жесткости аппаратов Илизарова и «Универсал» в некоторых вариантах сборки при сжатии осевой силой показывает нелинейное поведение (с ростом диаметра опорных колец нелинейность увеличивается) каркасов спицевых аппаратов (см. рис.2). Эта нелинейность, очевидно, вызвана нелинейным поведением наименее жестких элементов каркаса - тонких спиц. Введение в конструкцию 4-х метафизарных стержней вместо спиц приближает характер жесткостного поведения каркаса к линейному и соответственно приводит к увеличению жесткости фиксации при нагрузке до 600Н по сравнению со спицевыми каркасами того же диаметра (см. рис.2, кривые D, F, G).

Более того, спице-стержневые аппараты дают практически нулевую "усадку" при малоцикловом нагружении (см. рис. 1, кривые G и M). Явление "усадки" проявляется как уменьшение первоначального зазора между половинами имитатора кости при нескольких первых циклах нагрузка-разгрузка. После 6-8 циклов величина зазора стабилизируется. Вызвано это явление, во-первых, значительной концентрацией напряжений в материале спицы в местах ее крепления к опорному кольцу, где спица сминается фиксирующим болтом, во-вторых, большим значением натяжения спицы при

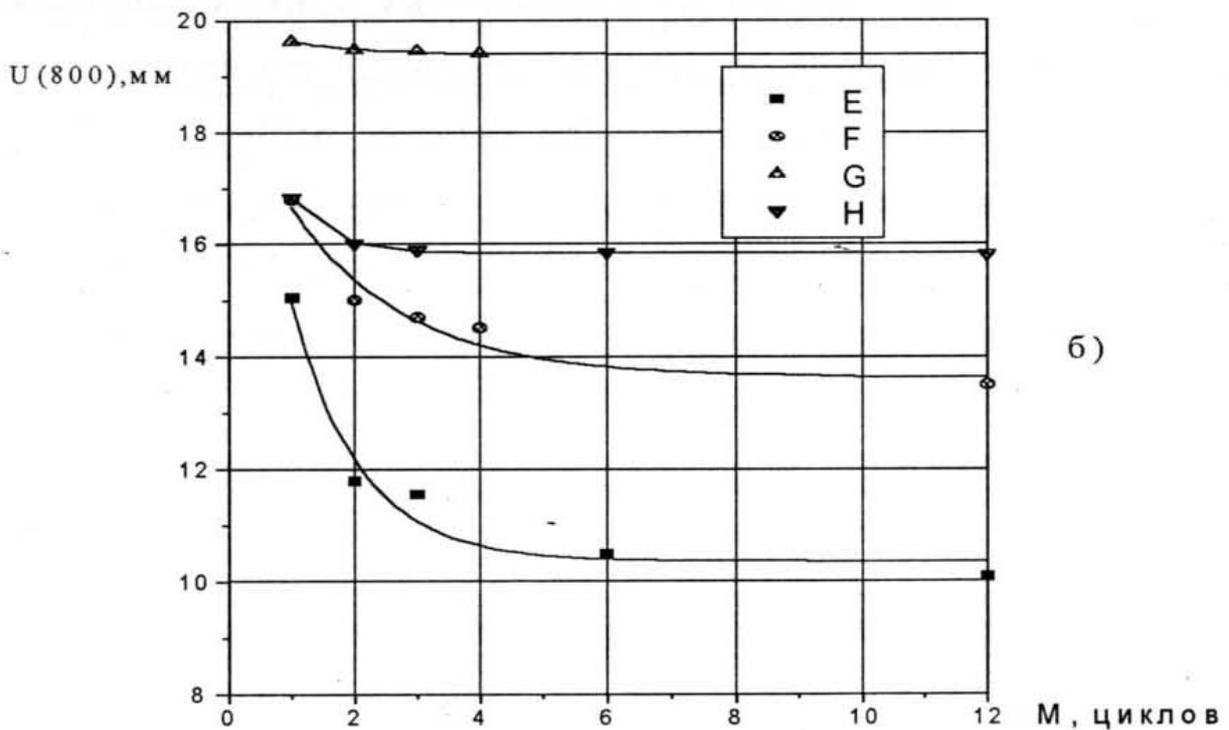
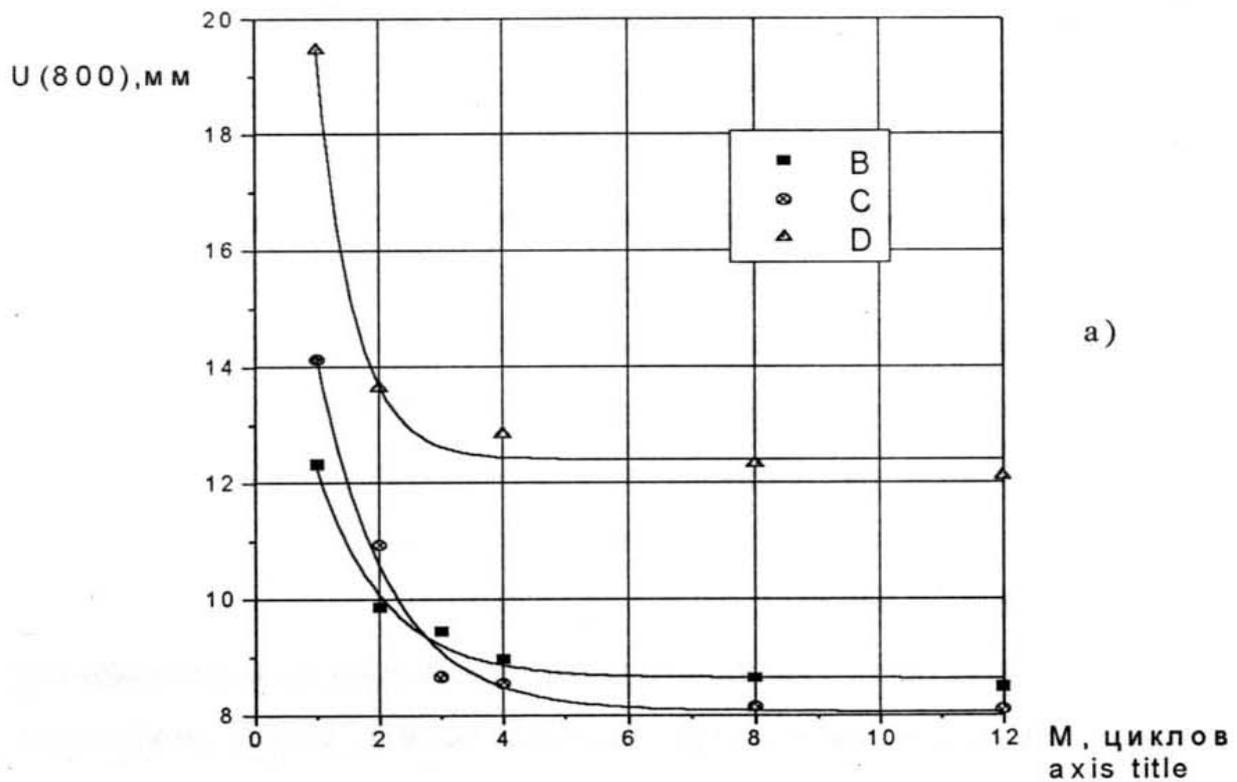


Рис.1. «Усадка» АВФ в разных вариантах сборки.

- а). Аппараты Илизарова: В – цилиндрический  $\varnothing 150$ мм, С – квазителескопический  $\varnothing 140-155-170-190$ , D – цилиндрический  $\varnothing 190$ .
- б). «Универсал»: Е – телескопический  $\varnothing 118-140-165-190$ , F – цилиндрический  $\varnothing 190$ , G - цилиндрический  $\varnothing 190$  с двумя стержнями, H - цилиндрический  $\varnothing 190$  с четырьмя стержнями

малых углах отклонения. Т.о. при первых циклах спица испытывает пластическую деформацию в узлах крепления до тех пор, пока угол отклонения спицы не достигнет значения, когда действующие напряжения при нагрузке на аппарат 800Н сравняются с пределом текучести материала спицы. Стержни, вводимые вместо спиц, пластических деформаций не испытывают, поэтому система аппарат-имитатор кости возвращается в исходное состояние после снятия нагрузки без «усадки».

Спицевые АВФ «усаживаются» значительно. «Усадка» сопоставима для разных диаметров каркасов, хотя и имеет тенденцию к увеличению с ростом диаметра каркаса и составляет в среднем 4.8мм (начальный зазор уменьшается на 4.8мм) после 4-6 циклов нагружения до уровня 800Н (см. рис.1, кривые В, С, D, Е и F).

Сравнение жесткости цилиндрических и квазителескопических вариантов сборки показывает преимущество квазителескопических каркасов по сравнению с классическими с диаметром опорных колец 190мм и сопоставимость с классическим с диаметром 150мм (см. рис.2, кривые А. В. С и Е, F). Это объясняется тем, что в квазителескопическом варианте действующая вдоль оси аппарата нагрузка воспринимается опорными плоскостями не одинаково - плоскость с кольцом меньшего диаметра берет на себя большую часть нагрузки в основном из-за соответственно меньшей рабочей длины спиц.

Последнее обстоятельство может иметь нежелательные последствия - прорезание или разрушение кости спицами плоскости, воспринимающей наибольшую часть нагрузки. Чтобы уравнивать распределение нагрузки по плоскостям, необходимо уменьшать предварительное натяжение спиц, закрепленных на кольцах меньшего диаметра. Это естественно приведет к снижению общей жесткости квазителескопического аппарата, и оценка будет лежать между оценками классических вариантов диаметром 150 и 190 мм.

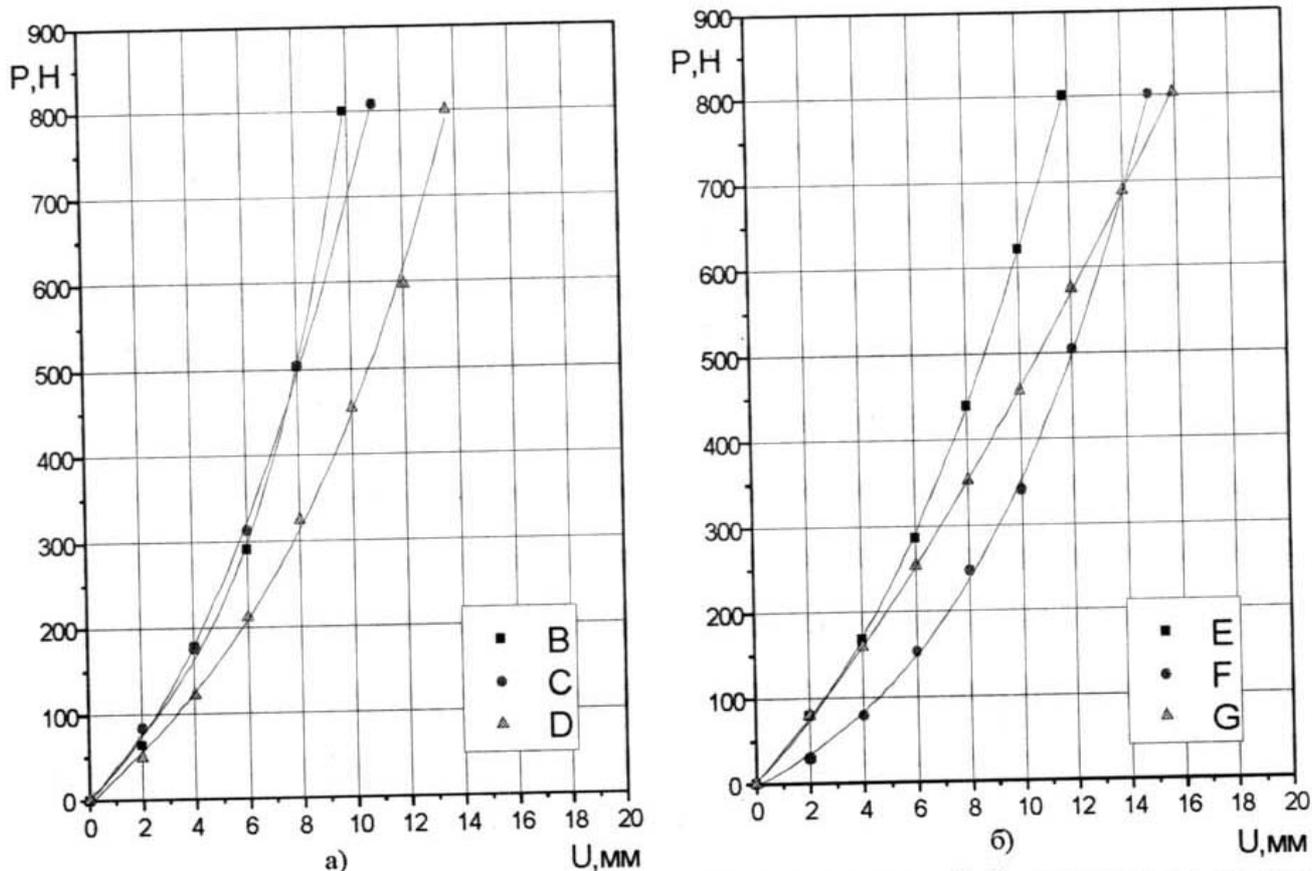


Рис.2. Результаты испытания аппаратов внешней фиксации на сжатие осевой силой  $P$  в разных вариантах сборки. а) Аппарат Илизарова: В – цилиндрический  $\varnothing 150mm$ , С – квазителескопический  $\varnothing 140-155-170-190$ , D – цилиндрический  $\varnothing 190$ .

б) «Универсал»: Е – квазителескопический  $\varnothing 118-140-165-190$ , F – цилиндрический  $\varnothing 190$ , G – цилиндрический  $\varnothing 190$  с четырьмя стержнями.

В четвертой главе, поскольку экспериментальные исследования - это кропотливая работа, требующая специфического оборудования, большого количества расходных материалов и значительных денежных затрат, а также принимая во внимание, что минимально необходимая статистика и количественные оценки получены, было решено перейти к теоретическим исследованиям. Тем более что в повседневной ортопедической практике необходим инструмент, позволяющий быстро и достаточно точно оценить жесткость каркаса АВФ в том или ином варианте сборки согласно клинической ситуации, и не только при осевом сжатии.

Первой рассматривается математическая модель каркаса АВФ

"Универсал" в классическом (рис.3) и квазителескопическом (рис.4) вариантах сборки как пространственная стержневая система, построенная на основе методов строительной механики и рассчитывается методом конечных элементов (МКЭ). Граничные условия заданы в узлах 9 и 13 (рис.3 и 4 соответственно) в виде жесткого защемления по всем степеням свободы. В расчетах закладывались натуральные размеры и модуль упругости материала стоек и опорных колец, а диаметр спиц принимался 4мм. Моменты и сжимающая нагрузка прикладываются в узлах 36 и 48 соответственно рис.3 и 4. Рассчитываются перемещения и углы поворота узла 27 относительно узла 18 в призматическом (классическом) и узла 39 относительно узла 26 в квазителескопическом АВФ, так как они соответствуют смещениям и поворотам концов костных отломков в месте перелома. Результаты расчетов приведены на рис. 5-8 и показывают однозначное преимущество квазителескопического каркаса при всех видах нагружения.

Серьезный недостаток этой модели состоит в том, что в ней не учитывается предварительное натяжение спиц, которое значительно влияет на жесткость АВФ и при расчете с диаметром спиц 2мм получаемые деформации каркаса при максимальной нагрузке превышают все пределы. Кроме того, из-за этого модель показывает линейное поведение каркаса что также не соответствует действительности. Однако для качественного сравнения жесткостей разных вариантов сборки каркаса АВФ "Универсал" между собой - при любых видах нагружения эта модель вполне пригодна и необходима.

Чтобы учесть предварительное натяжение спиц, была построена еще одна математическая модель каркаса АВФ "Универсал", работающего при сжатии, на основе расчета спицы (рис.9) методом конечных разностей и опорного кольца (рис. 10) - методом конечных элементов. Посредством расчета сборки 2спицы+кольцо проводится оценка осевой жесткости

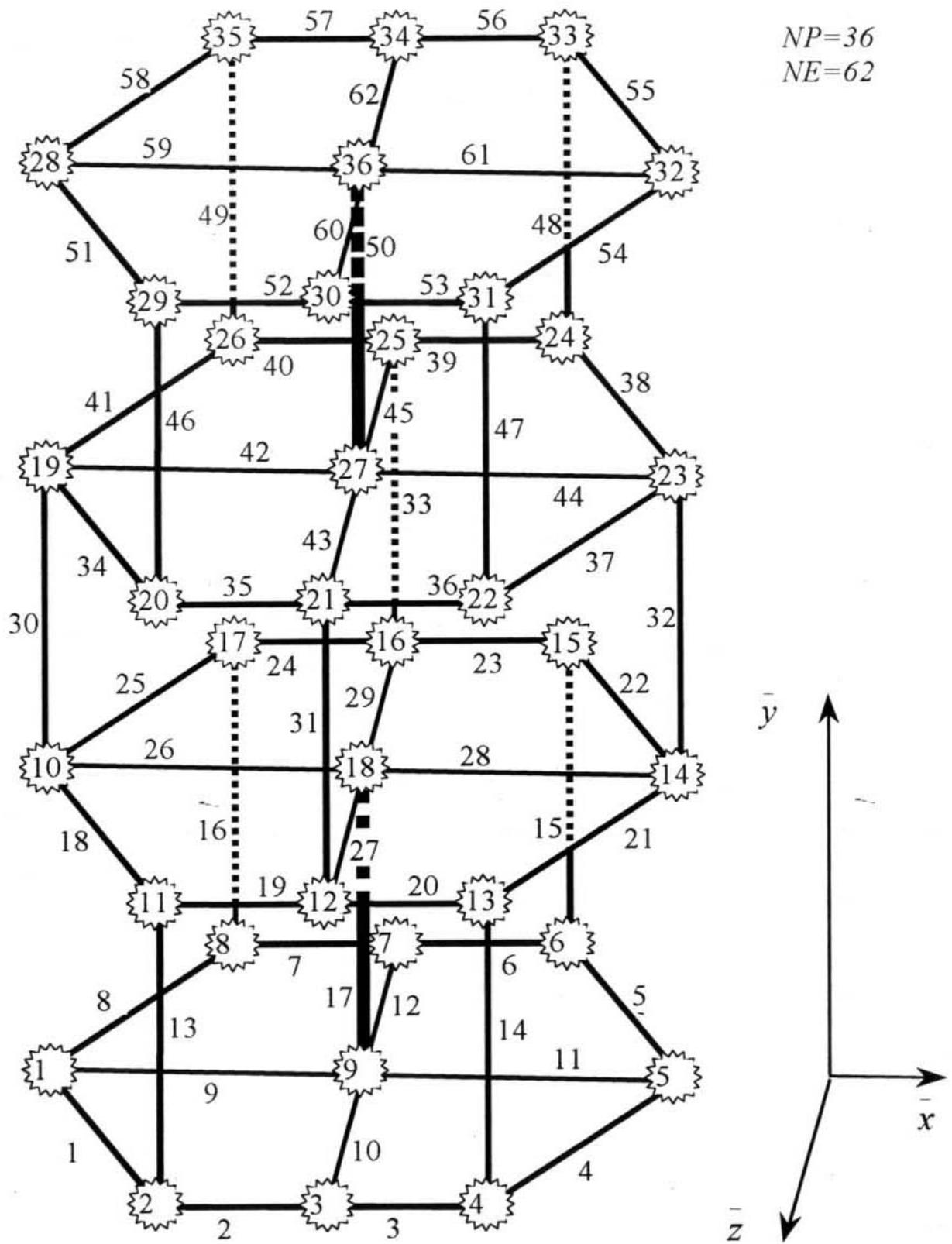


Рис.3. Расчетная схема цилиндрического варианта сборки АВФ, где номер узла стержневой системы, 7 – номер конечного элемента.

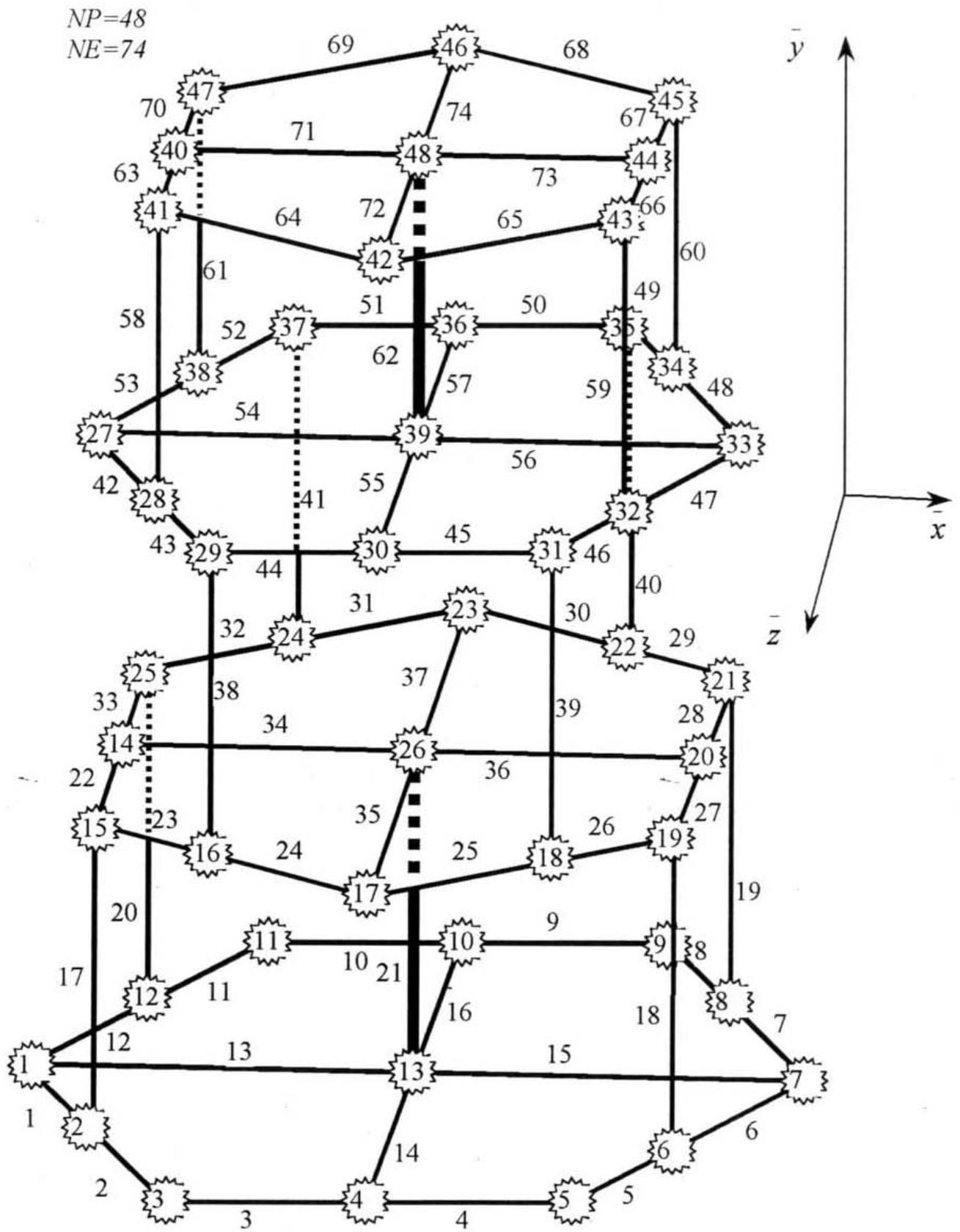


Рис.4. Расчетная схема квазителескопического варианта сборки АВФ, где  номер узла стержневой системы, 7 – номер конечного элемента.

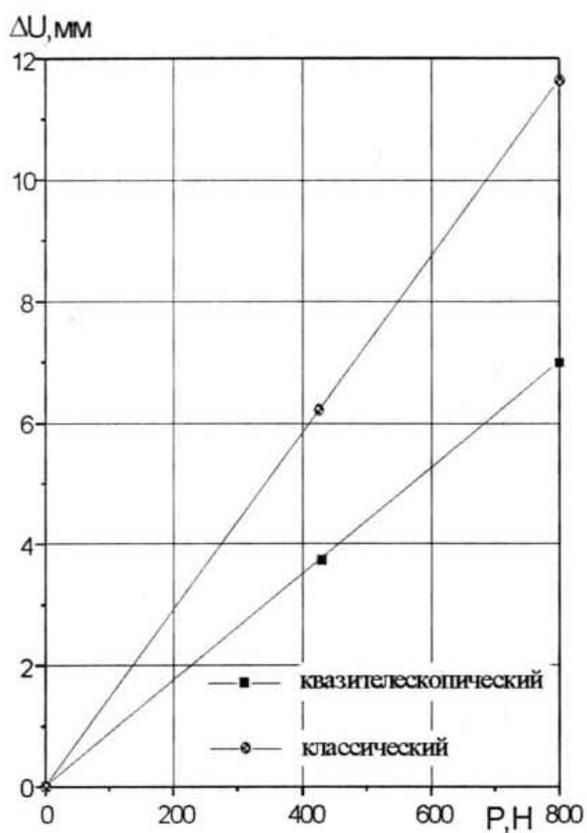


Рис.5. Осевое сжатие.

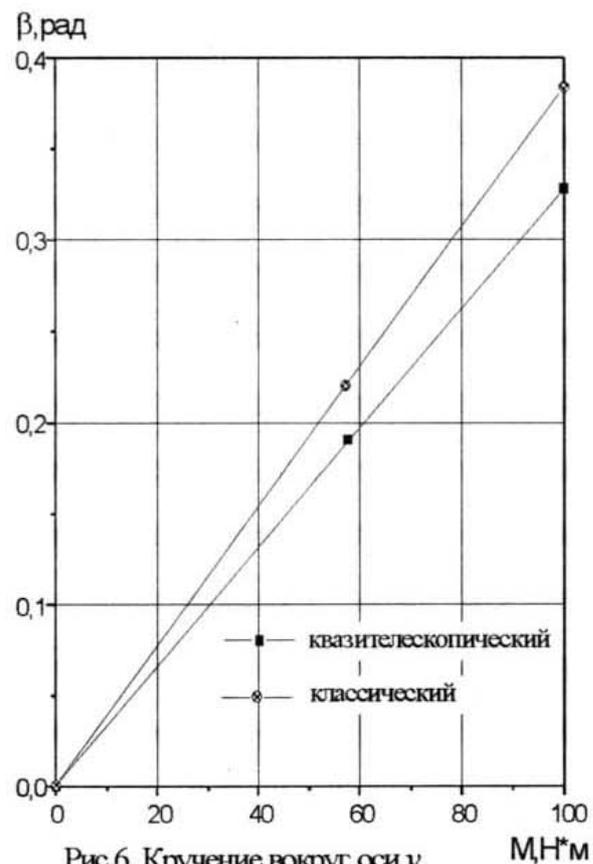


Рис.6. Кручение вокруг оси  $u$ .

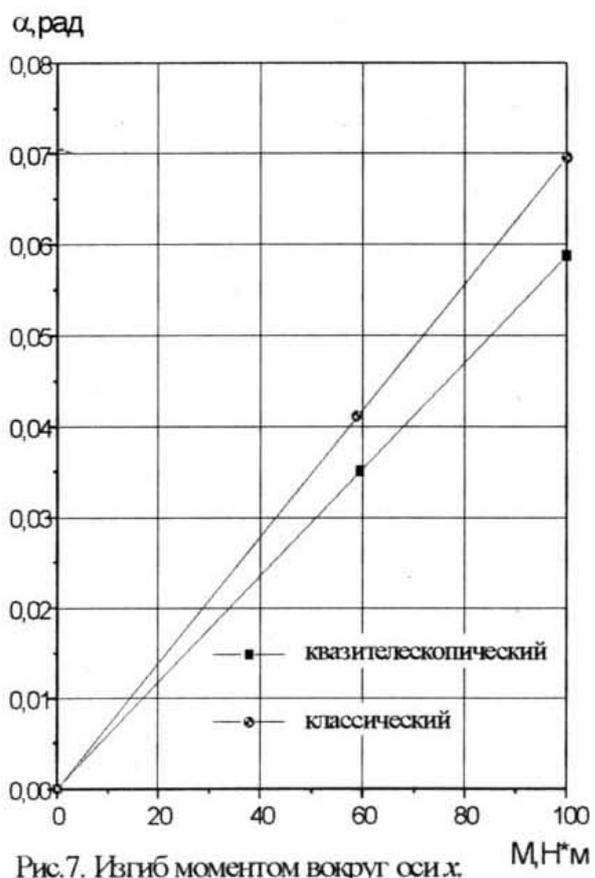


Рис.7. Изгиб моментом вокруг оси  $x$ .

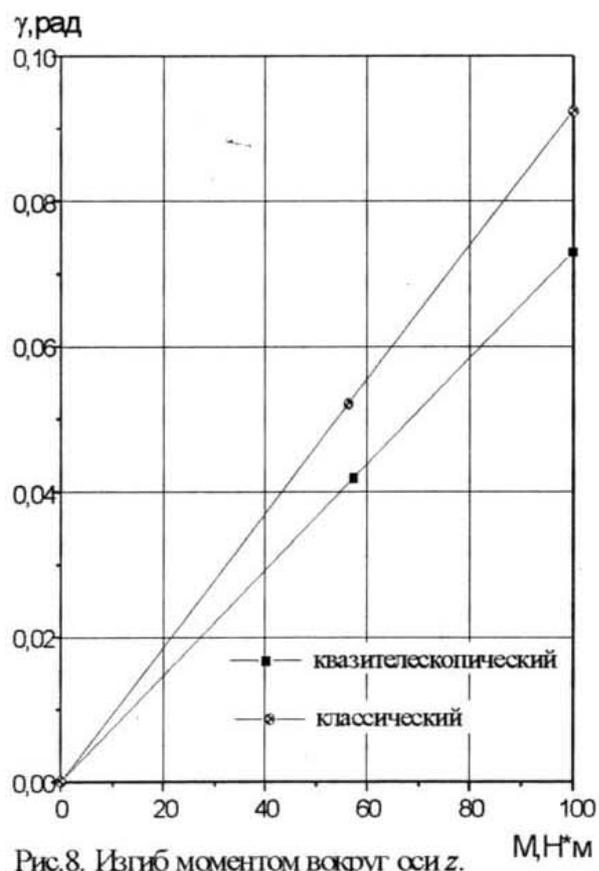


Рис.8. Изгиб моментом вокруг оси  $z$ .



«Универсала» в целом по следующей методике:

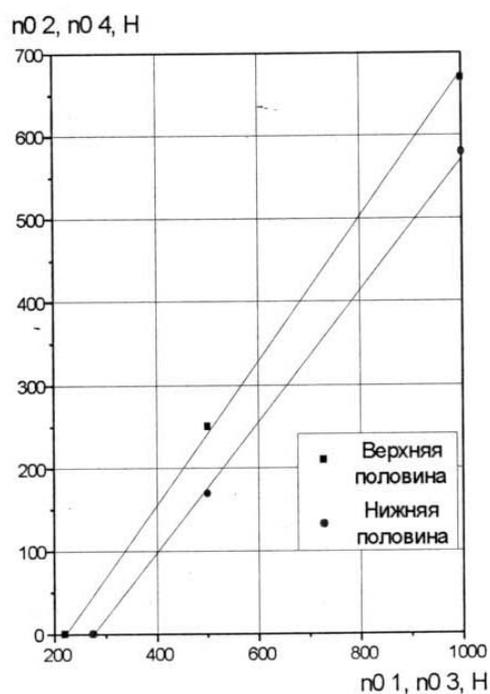
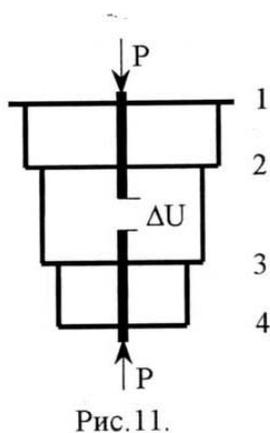
1. Выбираются узлы крепления спиц на кольце.
2. Определяется рабочая длина спицы.
3. По программе расчета спицы рассчитывается прогиб спицы в середине пролета, результирующее натяжение спицы  $N=H+n0$  при предварительном натяжении  $n0$  и действии поперечной силы  $P$ . Нагрузка  $P$  на спицу полагается равной половине полной нагрузки на сборку 2спицы+кольцо.
4. Величины  $N$  используются как силы действующие на опорное кольцо в соответствующих узлах для расчета деформации кольца в этих узлах по программе расчета опорного кольца.
5. Деформации кольца  $\Delta Z$  пересчитываются в приращение прогиба спицы  $\Delta u$ .
6. Вычисляется результирующий прогиб спицы.

С целью проверки адекватности моделей спицы и кольца экспериментальным данным были произведены промежуточные расчеты. Для спицы при условии жесткого закрепления концов и для модели сегмента, аналогичной модели кольца, при фиксированных через один узлах от поворота вокруг оси  $v$  расхождение расчетных и экспериментальных данных не превысило половины ширины доверительного интервала экспериментальных точек.

Зная жесткостное поведение сборок 2спицы+кольцо в отдельности, можно оценить жесткостное поведение всего аппарата. Как известно, АВФ обычно содержит четыре таких сборки, соединенных между собой стержнями-стойками. Для цилиндрических вариантов сборки «Универсала» очевидно, что осевая сжимающая нагрузка воспринимается одинаково всеми сборками, а следовательно, и спицами. Поперечная нагрузка на каждую спицу составит 1/4 нагрузки на аппарат, а изменение зазора между половинами кости будет равно удвоенному прогибу спицы с учетом жесткости кольца.

Сложнее дело обстоит с квазителескопическим вариантом сборки АВФ. Как схематически показано на рис.11, размеры сборок 2спицы+кольцо различны, следовательно, при одинаковом предварительном натяжении спиц различны жесткости сборок и, следовательно, каждая из сборок пары, фиксирующей половину кости, воспринимает разную нагрузку, пропорциональную жесткости. Это приводит к тому, что, как уже отмечалось выше, спицы наиболее нагруженной сборки (номер 2 и 4 на рис.11) могут разрушить костную ткань, что крайне нежелательно.

В идеале нагрузка от кости должна распределяться по спицам одинаково. Для этого необходимо уменьшать натяжение спиц в сборке меньшего диаметра до достижения одинаковой жесткости сборок в каждой половине аппарата. Расчет показывает, что для аппарата «Универсал» в телескопическом варианте сборки с диаметрами опорных колец 190-165-140-118мм (соответственно номера сборок 1-2-3-4 на рис.11) для достижения одинакового распределения нагрузки до 800Н по спицам натяжение спиц на кольцах меньшего диаметра необходимо уменьшать по сравнению с натяжением спиц на кольцах большего диаметра согласно графикам на рис. 12.



Другой вариант - использовать опорные кольца одного диаметра в каждой паре, составляющей половину аппарата (см. рис.13), т.е. 190-190-140-140мм. При этом, задавая одинаковое предварительное натяжение всем спицам можно быть уверенным, что распределение нагрузки по спицам будет так же одинаковым.

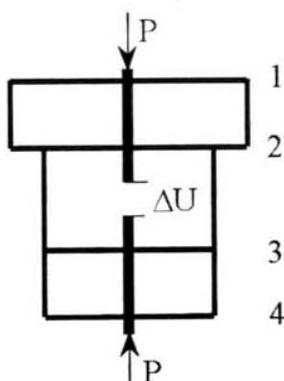


Рис. 13

При условии равного распределения нагрузки по спицам жесткости квазителескопических АВФ, изображенных на рис.11 и 13, одинаковы. Изменение зазора между половинами кости есть сумма результирующего прогиба спиц верхней и нижней половин каркаса. При нагрузке на аппараты 800Н и предварительном натяжении спиц для варианта на рис.11 980Н в 1 и 3 сборках и, в соответствии с графиками на рис.12, 660Н во 2 сборке и 560Н в 4 сборке и 980Н во всех сборках для варианта на рис. 13 изменение зазора составило  $\Delta U = 4,333 + 3,084 = 7,417$ мм, что на 17% меньше, чем у цилиндрического варианта с диаметрами опорных колец 190мм.

Результаты расчета АВФ "Универсал" по обеим вышеупомянутым моделями каркаса, а также результаты экспериментальных исследований и результаты анализа возможных способов управления жесткостью каркаса позволяют сделать следующие выводы:

Начальная жесткость каркаса АВФ «Универсал» может быть повышена:

- увеличением предварительного натяжения спиц до 120-140кг,
- креплением перекрещивающихся спиц на опорном кольце под углом между ними в пределах 60 - 90° и. что особенно важно, симметрично относительно вершин шестигранника так, чтобы рабочая длина спиц была одинакова.

- использованием квазителескопического варианта сборки (как было показано его расчетная жесткость выше на 17%, а экспериментальная на 20%, чем цилиндрического варианта).

- применением опорных колец возможно меньшего диаметра,
- установкой стержней-стоек возможно близко к местам крепления спиц,
- максимальной затяжкой всех резьбовых соединений,
- частичной, но не менее 4-х, или полной заменой спиц на стержни.

Прогнозируемое снижение жесткости в процессе лечения, рассчитываемое по разработанным программам, может быть достигнуто:

- снижением натяжения спиц,
- при частичной разборке каркаса установкой опорных колец большего диаметра,
- перестановкой узлов крепления спиц или стержней с сохранением угла между ними в места более удаленные от стержней-стоек и в места, несимметрично расположенные относительно вершин шестигранного опорного кольца.

АВФ «Универсал» обладает недостатками;

- стандартные прижимы (узлы крепления спиц) не всегда обеспечивают надежное удержание спиц от вытягивания при больших значениях предварительного натяжения спиц и нагрузки на аппарат,
- большая «усадка» аппарата при первых циклах нагружения, которая практически исчезает при частичной замене спиц на стержни,
- неэффективная работа жесткого каркаса совместно со слабыми (тонкими) спицами.

### **Основные полученные результаты:**

Создана программа, позволяющая сравнивать жесткость каркасов АВФ "Универсал", как стержневых конструкций, в различных вариантах сборки при различных вариантах нагружения.

Создана программа расчета каркаса АВФ "Универсал" при осевом сжатии с учетом предварительного натяжения спиц.

Разработанные программы могут быть использованы для расчета других АВФ, например аппарата Илизарова. при соответствующем изменении координат узлов и параметров стержневой системы.

Разработаны рекомендации по увеличению начальной жесткости АВФ "Универсал" и, рассчитываемому по созданным программам, снижению его жесткости в процессе лечения перелома.

Разработаны рекомендации по обеспечению равного распределения функциональной нагрузки по спицам в квазителескопическом варианте каркаса.

Показано преимущество квазителескопического каркаса перед классическим при сжатии, изгибе и кручении.

Выявлены недостатки конструкции АВФ и проанализирована их причина.

Все результаты работы, в том числе и программы для расчета АВФ "Универсал", внедрены в производственную практику в ЗАО КНПО «Биотехника» (г.Томск) и в клиническую практику в Центре ортопедии и медицинского материаловедения ТНЦ СО РАМН.

#### **Работы, опубликованные по теме диссертации:**

1. Алексеев Л.А., Бочкарева С.А., Люкшин Б.А., Осипов Ю.В. Дисперсно-наполненные материалы - модели среды и расчет конструкций //Труды конференции "Международная конференция по использованию результатов конверсии науки в вузах Сибири для международного сотрудничества". - Томск. 1995. -Т.1. - С.106-107.
2. Карлов А.В., Лихачев В.Н., Осипов Ю.В. Механика аппарата внешней фиксации "Универсал": эксперимент и оптимальное проектирование // Гений ортопедии. - Курган. 1996. -№2-3. - С.89-90.
3. A.V.Karlov, V.N.Likhatschov, Yu.V.Osipov. Biomechanik der Universal - Anbenfixirungapparat: Experiment und Optimal Projektierung // Biomedizinische Technik -Berlin. 1996. -B.41. -P.104-105.
4. Karlov A.V., Likhatschov V.N., Osipov Yu.V. Modellierung der

Stutzelemente Forms in Quasitelescopischen Ausseren Fixatoren // Biomedizinische Technik. -Berlin. 1998. -B.43. -P.324-326.

5. Осипов Ю.В. Экспериментальное исследование жесткости адаптированного к геометрии конечности аппарата внешней фиксации. // Доклады конференции «Механика летательных аппаратов и современные материалы». - Томск: изд-во ун-та. 1998.

6. Karlov A.V., Likhatschov V.N., Osipov Yu.V. Effectivity of External Fixation, Comparative Analysis of Systems // Proceedings of the EMBEC'99. - Vienna, 1999. - V.37. S.2. Part 1.-P.306-307.