

Как видно из представленных данных, а в них представлены выборочно агрегаты, для которых существует превышение выбросов над уровнем ПДВ, для штатных камер сгорания значительны выбросы оксидов азота, для модернизированных окиси углерода на пониженных нагрузках. Но поскольку оксиды азота являются загрязняющими веществами первой категории опасности КОВ $> 10^5$ (основные загрязняющие вещества, как по мощности выбросов, так и по объему годовых валовых выбросов) [2], то проведение модернизации камер сгорания приводит к общему снижению выбросов и снижению платы за выбросы.

Выводы:

Предлагаемый ЗАО «ОРМА» подход к модернизации камеры сгорания позволяет снизить токсичность выхлопа агрегата до величин ниже требований ГОСТ 28775-90 и гарантировать безаварийную работу камер сгорания до 80000 часов и более. Прирост мощности после модернизации составляет $0,5 \div 1,5$ МВт, к.п.д. увеличивается в среднем на 2 %. Как показали экспериментальные исследования, на режимах близких к номинальному, выбросы оксидов азота не превышали $150-170$ мг/нм³, оксида углерода $80-120$ мг/нм³. Несмотря на превышение концентраций СО над уровнем ПДВ на пониженных нагрузках, проведение модернизации камер сгорания целесообразно для всех агрегатов ГТК-10-4, так как модернизации камер сгорания приводит к общему снижению выбросов и снижению платы за выбросы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Достияров А.М., Майсутов Т.Б., Усеров А.Г. Анализ исследований по выбросам токсичных компонентов ГПА типа ГТК-10-4 в условиях эксплуатации на КС «Макат» УМГ «Атырау» /Мат-лы V Межд.науч.-практ.конф. «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». Алматы, АИЭС, 2006, с. 37-39.
2. СТО Газпром 2-3.5-039-2005. Каталог удельных выбросов вредных веществ газотурбинных газоперекачивающих агрегатов.

УДК 669.35.074.669.539.5

Нугман Ерик Зеинелович – преподаватель (Алматы, КазНТУ)

РАСЧЕТ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ НОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНА НА ПРОЧНОСТЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ MSC.VISUALNASTRAN 4D

На современном этапе развития прокатного производства основной тенденцией следует считать освоение и внедрение в производство принципиально новой техники и технологии, обеспечивающей наряду с увеличением объема производства – повышению качества листовой стали.

Одним из основных направлений повышения качества прокатанных полос является обеспечение минимальной поперечной разнотолщинности и планшетности [1].

Для получения полос с заданной толщиной, профилем, планшетной формой ведутся работы, направленные на совершенствование прокатного оборудования, создание новых конструкций клетей, обеспечивающих эффективное воздействие на толщину, профиль и планшетность полосы.

Традиционными методами регулирования поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос являются [1]: профилирование бочек валков, регулирование тепловой выпуклости, противоизгиб рабочих и опорных валков, регулирование режима обжатий прокатываемых полос и др.

Как известно, для регулирования поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос применяют противоизгиб и дополнительный изгиб рабочих и опорных валков.

Основными преимуществами противоизгиба и дополнительного изгиба рабочих и опорных валков является его быстроедействие, позволяющее регулировать поперечную разнотолщинность и планшетность прокатываемых полос непосредственно при прокатке, а также возможность прокатывать на одних и тех же валках полосы различной ширины, материала и с различными обжатиями.

Перечисленные мероприятия обладают известными недостатками. Например, профилировка валков, как правило, оптимальна только для определенного типоразмера полос, тепловое регулирование имеет значительную инерционность, мало пригоден для автоматизации и его используют на станах с небольшими скоростями прокатки и т.п. Применение противоизгиба рабочих и дополнительного изгиба опорных валков приводит к дополнительному нагружению подшипников валкового узла и более интенсивному износу бочек валков. Исправление волнистости регулированием режима обжатий не всегда возможно и зачастую приводит к нарушению ее конечной толщины.

Недостатки отдельных методов регулирования поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос могут быть устранены при их комбинированном использовании, что позволяет также увеличить диапазон ее регулирования.

По-нашему мнению, лучшим методом регулирования поперечной разнотолщинности и планшетности является уменьшение усилия прокатки от одной клетки к другой в направлении прокатки. С этой целью нами разработана конструкция прокатного стана [2], позволяющая снизить энергосиловые параметры прокатки.

Данный непрерывный стан для прокатки полос из стали и сплавов содержит рабочие клетки, универсальные шпиндели, электродвигатель, шестеренные клетки, редуктор с коническими шестернями, моторную муфту, коренные муфты, пружинные уравнивающие устройства шпинделей, опорные неприводные валки, рабочие приводные валки, станину, опорную плиту, анкерные болты. При этом имеющие от одного двигателя переменного тока приводы клетей содержат рабочие и опорные валки постоянного диаметра. Необходимо отметить, что в последовательно расположенных клетях диаметр рабочих валков уменьшается в направлении прокатки, а диаметры опорных валков увеличиваются. При этом диаметры рабочих и опорных валков определяются по формуле, соответственно:

$$D_i = \frac{\pi \cdot h_i \cdot n}{60}; \quad D_j = \frac{\pi \cdot h_j \cdot n}{60}, \quad (i = 1, 2, \dots, N-1, N \text{ при } j = N, N-1, \dots, 2, 1), \quad (1)$$

где h_i – толщина прокатываемой полосы; n – число оборотов валков за проход прокатки; N – порядковый номер клетки, а расстояние между рабочими валками от одной клетки к другой против направлений прокатки увеличиваются на величину kh_k , h_k – конечная толщина прокатываемой полосы; k – порядковый номер клетки в обратном направлении прокатки.

Выполнение диаметров рабочих валков уменьшающим, а опорных валков увеличивающим в направлении прокатки позволяет значительно уменьшить давление металла на валки в клетях, расположенных в конце прокатного стана, и повысить жесткость данного стана. Снижение усилия, действующего на валки, а так же повышение жесткости стана позволяет уменьшить мощность привода с одной стороны, и повысить точность прокатываемой полосы, с другой стороны.

Использование рабочих D_i и опорных D_j валков, диаметры которых определяются по формуле (1), позволяет уменьшить до нуля межклетевое натяжение, за счет строгого

выполнения постоянства секундных объемов при прокатке в различных клетях. Уменьшение до нуля межклетевых натяжений позволяет избежать разрыв полос в процессе прокатки. Увеличение расстояния между рабочими валками от одной клетки к другой против направлений прокатки на величину kh_k также уменьшает межклетевое натяжение.

Рабочая клеть предлагаемого прокатного стана представляет собой многокомпонентную машину, включающую вращающиеся прокатные валки, подшипники, станину, установочные механизмы валков, устройства крепления и другие узлы и детали. Проектирование такой машины является весьма сложным и трудоемким процессом, требующим проведения большого объема расчетных и графических работ. При выполнении расчетных и графических частей проекта в разных компьютерных системах возникает целый ряд проблем, что приводит к увеличению сроков проектирования.

Для решения задач проектирования рабочих клеток наиболее важными являются следующие свойства выбранной системы:

- возможность в единой интегрированной среде конструирования и расчета создавать твердотельные модели деталей клетки и рассчитывать напряженно-деформированное состояние этих деталей в каждой точке их объема;
- способность моделировать сборку отдельных узлов и всей машины в целом;
- возможность по моделям в автоматизированном режиме получать рабочие чертежи с соблюдением правил единой системы конструкторской документации (ЕСКД);
- наличие библиотек стандартных изделий, материалов и текстур, освобождающих пользователя от необходимости поиска в справочной литературе и ввода таких данных, как коэффициент Пуассона, модуль упругости, предел прочности материалов и др.

Учитывая вышесказанное, методику расчета авторы статьи реализовали с использованием программы конечно-элементного анализа MSC.visualNastran 4D. Система компьютерного моделирования MSC.visualNastran 4D позволяет исследовать кинематику, динамику механизмов с возможностью расчета напряженно-деформированного и теплового состояния, как отдельных звеньев, так и механизма в целом.

При конструировании рабочих клеток в среде MSC.visualNastran 4D нами были выполнены следующие операции:

- создание геометрической модели каждой детали и сборка узлов рабочей клетки;
- выбор материалов деталей, их механические и физические свойства (модуль упругости, массовую плотность, коэффициент Пуассона, предел прочности и т.п.);
- формирование кинематических и статических граничных условий;
- создание сетки конечных элементов детали;
- определение напряженно-деформированного состояния;
- оценка уровня полученных упругих деформаций и напряжений в объеме каждой детали относительно требуемых критериев жесткости и прочности, и введение соответствующих изменений в конструкцию стана (твердотельную модель машины).

Исходными данными для расчета являются твердотельная геометрическая форма конструкции стана, силы и условия закрепления, приложенные к ним, а также условия сопряжения кинематических пар конструкции клеток.

Сборочная трехмерная геометрическая модель стана была построена в CAD программы Inventor, и посредством встроенного транслятора импортирована в среду MSC.visualNastran 4D с принятыми кинематическими связями. Данный подход позволяет улучшить связь этапов автоматизированного проектирования сложных механизмов. Для возможности автоматической коррекции геометрии модели стана был использован метод параметризации

геометрических размеров конструкции. Данный метод позволяет по результатам расчета на прочность вносить соответствующие изменения в конструкцию инструмента.

В ходе предварительного анализа работы стана, исходя из условия симметрии работы элементов конструкции, а также для упрощения расчетной схемы, были приняты к расчету наиболее нагруженные силовые элементы конструкции, такие как валки, нажимные механизмы, клетки и шейка валков.

Кинематические связи между элементами моделировались кинематическими парами вращения и скольжения для общих поверхностей сопряжения. При этом учитывались соударения и трение в валках, клетях и т. д.

Рассмотрим основные результаты расчета суммарного перемещения, эквивалентного напряжения и деформаций, возникающих в валках нового стана. Технические характеристики рабочих клеток укрупненного лабораторного стана приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика рабочих клеток

Параметры		Номер клетки				
		I	II	III	IV	V
Расстояние между клетями, м		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Диаметр валков	D_p , мм	150	125	100	75	50
	$D_{оп}$, мм		150	150	150	150
Скорость прокатки, $v_{пр}$, м/с		0,5	0,67	0,92	1,45	2,03
Толщина до прокатки, h_0 , мм		4	2,5	1,75	1,15	0,9
Толщина после прокатки, h_1 , мм		2,5	1,75	1,15	0,9	0,7
Абсолютное обжатие, Δh , мм		1,5	0,75	0,6	0,25	0,2
Относительное обжатие: $\varepsilon = \Delta h / h_0$		0,375	0,3	0,34	0,22	0,22

В MSC.SuperForge инструменты принимаются абсолютно жесткими и обеспечивают свойства теплопроводности и теплопередачи, т.е. удельная теплопроводность, удельная теплоемкость и плотность приняты во внимание. Из базы данных материалов назначаем материал инструмента H13. Для этого материала плотность и тепловые свойства программа назначала по умолчанию. Взаимодействие между жестким валком и деформируемым материалом заготовки моделировались с помощью контактных поверхностей, которые описывают контактные условия между поверхностями валков и поверхностью толстого листа. В процессе моделирования контактные условия постоянно обновлялись, отражая вращение валков и деформацию материала, что позволяло моделировать скольжение между валком и материалом обрабатываемой заготовки. Контакт между валком и толстым листом смоделирован трением по Кулону, коэффициент трения был принят 0,5. Из базы данных материалов прокатываемой полосы, назначали материал S20C (сталь Ст.08кп по стандарту стран СНГ), имеющий следующие свойства:

Упругие свойства

Пластические свойства

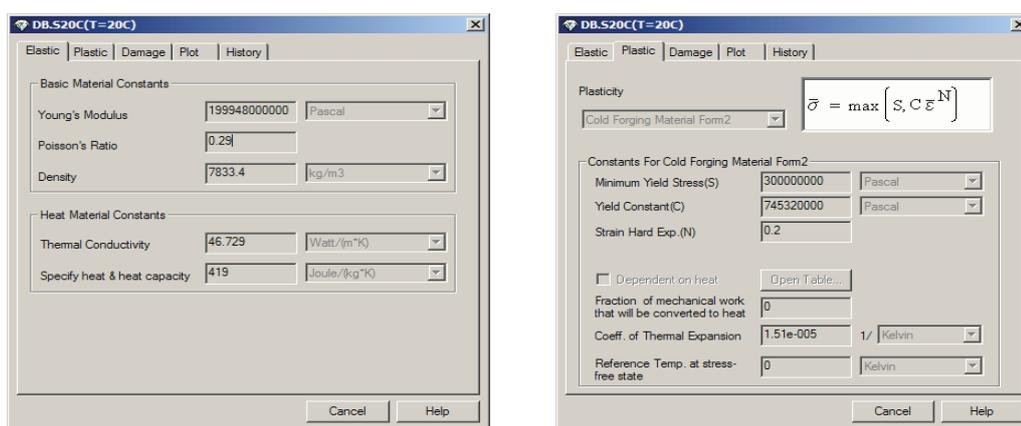


Диаграмма деформирования стали S20C в зависимости от степени и скорости деформации представлена на рисунке 1.

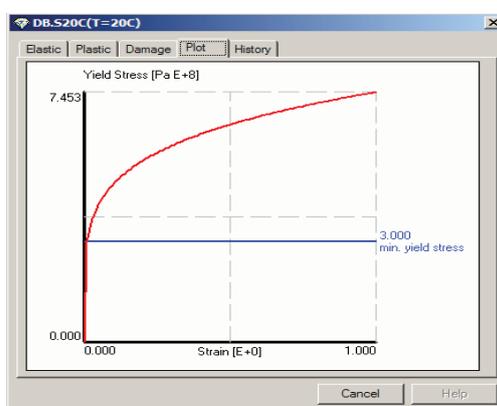


Рисунок 1 – Диаграмма деформирования стали S20C в зависимости от степени и скорости деформации

Температурный режим при прокатке состоит из температур обмена тепла между валком, тонким слябом и окружающей средой, а также из теплового эффекта за счет деформации металла. Процесс прокатки проходит при комнатной температуре, поэтому начальная температура валка принималась равной 20⁰С.

Для того чтобы произвести расчет на прочность валков, необходимо рассчитать эквивалентные напряжения и деформации, а также температурное поле, возникающее при прокатке в деформируемой полосе.

На рисунке 2 представлены результаты расчета в виде картины распределения эквивалентных напряжений и деформации, а также температурного поля.

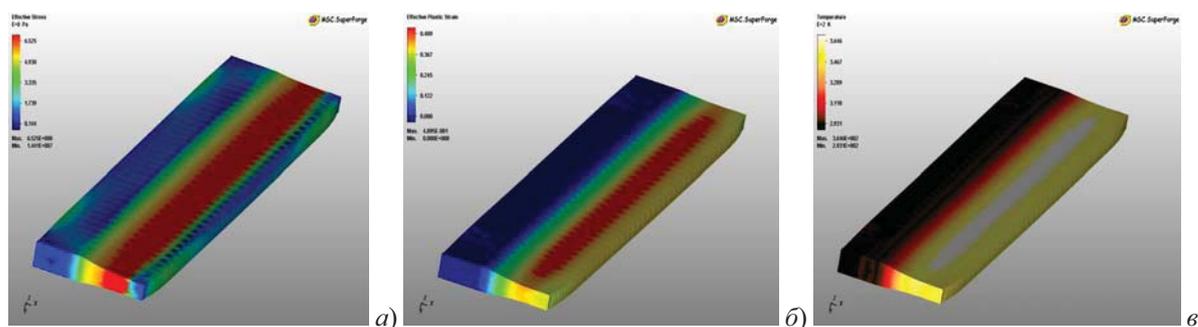


Рисунок 2 – Картина распределения, эквивалентных напряжений (а), деформаций (б) и

температуры (ϵ) при прокатке толстых листов в непрерывном стане

На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что эквивалентные напряжения и деформации сосредотачиваются в зоне контакта металла с деформируемой полосой. При этом в этих зонах повышается температура до 370°C .

На рисунках 3-6 представлены результаты расчета суммарного перемещения, деформированного и напряженного состояния, а так же распределение запасов прочности валков при прокатке в первой клетке нового стана. Действительные значения напряжений и деформаций приведены в цифровом виде на соответствующих цветовых эпюрах.

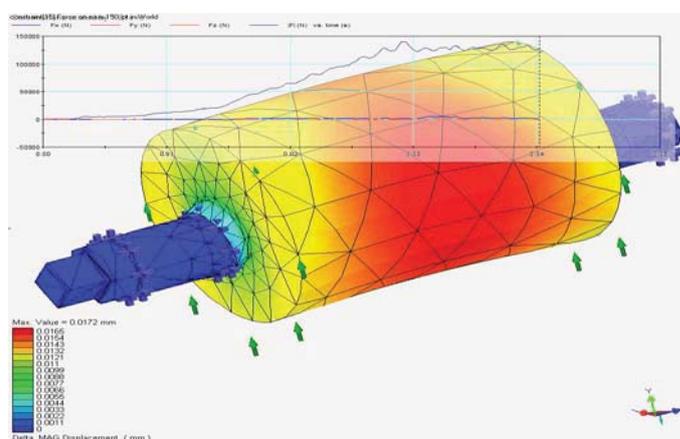


Рисунок 3 – Картина распределения суммарных перемещений в валках стана новой конструкции

Проведенные на конечно-элементных моделях расчеты показали, что:

- картина распределения суммарных перемещений в трех направлениях (рисунок 3) согласуется с деформированной формой валков, показанных на рисунке 4. Максимальное значение перемещения 0,0165, 0,00938, 0,00945, 0,00936 и 0,0143 мм наблюдается в серединной части валков первой, второй, третьей, четвертой и пятой клетки предлагаемого стана, соответственно;

- под действием приложенных вертикальных сил валки прогибаются в направлении действия силы, а шейка валков упруго деформируется в этом же направлении, причем максимальное значение упругой деформации (рисунок 4) составляет для бочки валков 0,000008, 0,0000057, 0,000007, 0,0000052, 0,0001 для шейки валков – 0,00044, 0,000209, 0,000154, 0,00013, 0,0001 соответственно первой, второй, третьей, четвертой и пятой клетки предлагаемого стана.

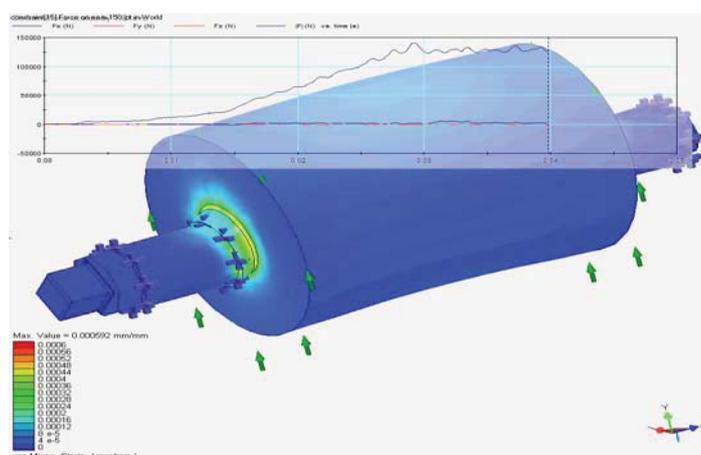


Рисунок 4 – Распределение упругой деформации в валках стана новой конструкции

В целом величина упругой деформации элементов валков невелика, что свидетельствует о достаточно высокой жесткости узла валков рабочей клетки. Это гарантирует получение поперечной разтолщинности и планшетности прокатываемых полос в пределах требуемых допускаемых отклонений.

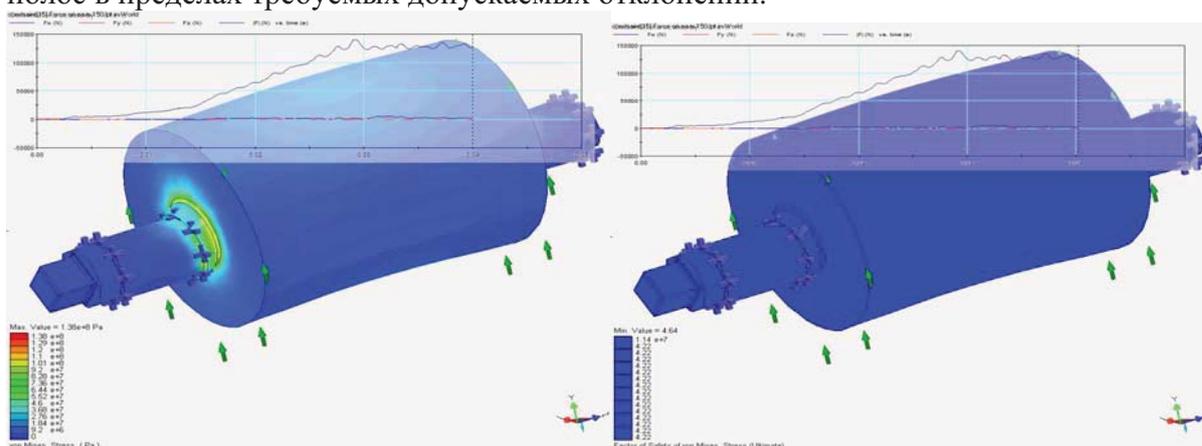


Рисунок 5 – Эпюра распределения напряжений в валках стана новой конструкции

Рисунок 6 – Картина распределения запаса прочности валков нового стана

- максимальные напряжения в бочке валков равняется $2,76 \cdot 10^7$ Па, $1,35 \cdot 10^7$ Па, $1,32 \cdot 10^7$ Па, $1,55 \cdot 10^7$ Па и $2,36 \cdot 10^7$ Па, а для шейки валков – $1,01 \cdot 10^8$ Па, $4,95 \cdot 10^7$ Па, $3,63 \cdot 10^7$ Па, $3,41 \cdot 10^7$ Па и $2,95 \cdot 10^7$ Па (рисунок 5), соответственно, при прокатке в первой, второй, третьей, четвертой и пятой клетки предлагаемого стана. Причем максимальное напряжение возникает в шейке валков. Полученные максимальные значения эффективного напряжения $4,95 \cdot 10^7$ Па не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности $1,380 \cdot 10^9$ Па;

- распределение запаса прочности по конструкции рабочей клетки, в целом удовлетворяет условию прочности, так как при принятом коэффициенте запаса прочности 2, расчетное минимальное значение по конструкции составило 4,22. Таким образом, построенная геометрическая модель узла клетки отвечает необходимым критериям жесткости и прочности и не нуждается в корректировке.

Выводы:

1. Предложена новая конструкция непрерывного стана.

2. На основе полученных данных в среде MSC.visualNastran 4D, построенная геометрическая модель узла клетки, отвечает необходимым критериям жесткости и прочности.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пименов А.Ф., Сосковец О.Н., Трайно А.И. и др. Холодная прокатки и отделка жести. М., Металлургия, 1990, 208 с.

2 Машеков С.А., Нугман Е.З., Машекова А.С., и др. Непрерывный стан для прокатки полос из сталей и сплавов. Патент 20969. БИ №3, опубл. 16.03.2009.

**МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, СЫПУЧИХ ТЕЛ,
ГРУНТОВ И ГОРНЫХ ПОРОД**

УДК 539.37

Алимжанов Айвар Муратбекович – д.ф.-м.н, профессор (Алматы, КазАТК)

Исмаканова Асель Касановна – аспирант (Алматы, КазНТУ)

Айтен Эльдар – аспирант (Алматы, КазНТУ)

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ
ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЫ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ В НЕОДНОРОДНОМ
МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД**

1. Напряженно-деформированное состояние (НДС) приконтурной зоны сферической полости в неоднородном массиве горных пород. Неоднородный массив горных пород моделируется невесомым пространством со сферической полостью; при этом на бесконечности действуют сжимающие гидростатические усилия P , а по контуру полости действует равномерное давление крепи или содержащегося газа P_0 (рисунок 1). Действующие нагрузки таковы, что вокруг сферической полости образуется полностью охватывающая ее зона неупругих деформаций (ЗНД). В области упругих деформаций справедлив обобщенный закон Гука, а в ЗНД выполняются условия пластичности Кулона-Мора и соотношения ассоциированного закона пластического деформирования.

Задача решается в безразмерных сферических координатах r, θ, ψ (все величины с размерностью длины отнесены к радиусу полости, радиус полости $r = 1$). Таким образом, r есть безразмерная радиальная координата произвольной точки массива (рисунок 1).

Тогда граничные условия записываются следующим образом: