

ЭЛЕКТРОПОЛИРОВАНИЕ ЛОПАТОК ГТД МЕТОДОМ ИОННОГО УНОСА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛЕНТЫ ИЗ АНИОНИТОВ

Криони Николай Константинович

студент, Уфимский авиационный технический университет, РФ, г. Уфа

Ханов Вячеслав Айдарович

студент, Уфимский авиационный технический университет, РФ, г. Уфа

Лысов Дмитрий Ильич

студент, Уфимский авиационный технический университет, РФ, г. Уфа

Зубаиров Ильдар Ильдусович

студент, Уфимский авиационный технический университет, РФ, г. Уфа

Нефедов Михаил Дмитриевич

студент, Уфимский авиационный технический университет, РФ, г. Уфа

Исмагилов Рамзиль Ришатович

студент, Уфимский авиационный технический университет, РФ, г. Уфа

Мингажев Аскар Джамилевич

научный руководитель, Уфимский авиационный технический университет, РФ, г. Уфа

Разработка новых технологических методов обработки деталей ГТД, обеспечивающих повышение надежности и долговечности деталей ГТД является одной из актуальнейших задач авиадвигателестроения.

В процессе обработки заготовки происходит формирование ее поверхностного слоя, существенно влияющего на эксплуатационные характеристики детали. Одними из основных параметров поверхностного слоя являются микрооднородность (шероховатость) поверхности и однородность физико-механических свойств поверхностного слоя.

С повышением шероховатости поверхности деталей ГТД, работающих в условиях воздействия значительных знакопеременных нагрузок, например валов, лопаток газовых турбин и др., резко снижаются их эксплуатационные характеристики, поскольку именно в поверхностном слое рождаются очаги разрушений.

Качество обработки поверхности пера лопаток существенно влияет на их прочностные характеристики, так например, повышение класса чистоты поверхности способствует увеличению предела выносливости и статической прочности лопаток [1]. Развитая шероховатость поверхности лопаток газовых турбин приводит к ухудшению газодинамической устойчивости газотурбинного двигателя (ГТД), к возрастанию аэродинамических потерь, приводящих к снижению КПД, к потере мощности, росту удельных расходов и к снижению экономичности двигателя или газотурбинной установки.

Используемые методы полирования поверхностей полостей деталей основываются, как правило на механических, химических и электрохимических методах [2–4]. Однако, эти технологии имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение. Химические методы не обеспечивают равномерность обработки, характеризуются сложностью подбора реагентов, низкой экологичностью процесса. Механические методы не обеспечивают необходимого качества поверхностного слоя, особенно для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок. Электрохимические методы, такие как электрохимическое и электролитно-плазменное полирование, являясь наиболее перспективными методами, в ряде случаев, в частности из-за эффектов экранирования и формирования нежелательных слоев на поверхности, также не позволяют качественно обрабатывать детали, особенно детали сложной формы, такие например, как блиски ГТД.

Производство лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) должно обеспечивать высокую микрогеометрию поверхности ($Ra \leq 0,32 \dots 0,16$ мкм), что накладывает особые требования к финишным операциям и обуславливает их значительную трудоемкость. Это вызывает проблемы при механической обработке поверхностей деталей турбомашин.

Наиболее перспективным методом, обеспечивающим высокое качество поверхностного слоя деталей является метод полирования, основанный на ионном уносе, получивший название «технологии сухого электрополирования в среде гранул» [5]. Рассматриваемый обеспечивает высококачественную обработку поверхностей деталей. Однако использование при обработке поверхностей свободных гранул не обеспечивает однородной обработки поверхностей деталей сложной формы, таких как лопатки ГТД. Это объясняется хаотичным характером взаимодействия гранул с обрабатываемой поверхностью (рис.1).

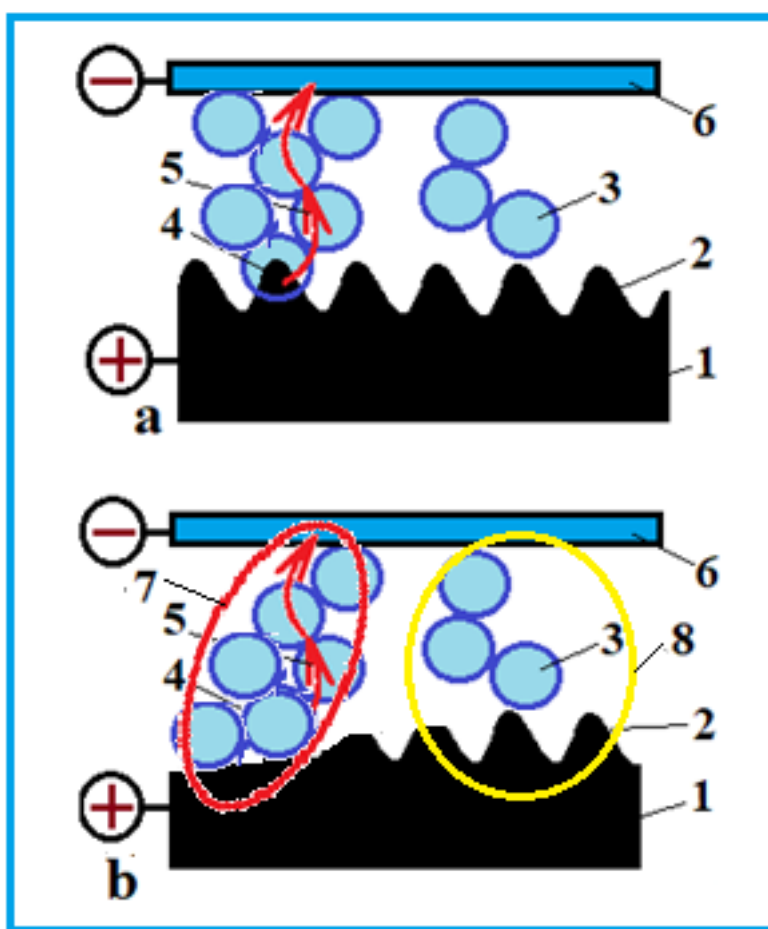


Рисунок 1. Модель неравномерной обработки поверхности детали методом ионного уноса при хаотичном взаимодействии гранул с деталью сложной формы (а - контакт гранул с обрабатываемой поверхностью детали и унос

материала; б - неоднородный унос материала детали;) 1 - деталь, 2 - микровыступы, 3 - свободные гранулы, 4 - гранулы, взаимодействующие с материалом детали, 5 - ионный унос, 6 - электрод (катод), 7 - область интенсивного уноса материала, 8 - область минимального уноса материала.)

Исследования, проведенные авторами по различным вариантам обработки методом сухого электрополирования показали, что обеспечение однородности обработки деталей сложной формы возможно либо при управлении потоком гранул, путем их заданного распределения по поверхности детали (рис. 2) [6], либо переходом от дискретной (гранул) на сплошную технологическую среду (рис.3)[7].

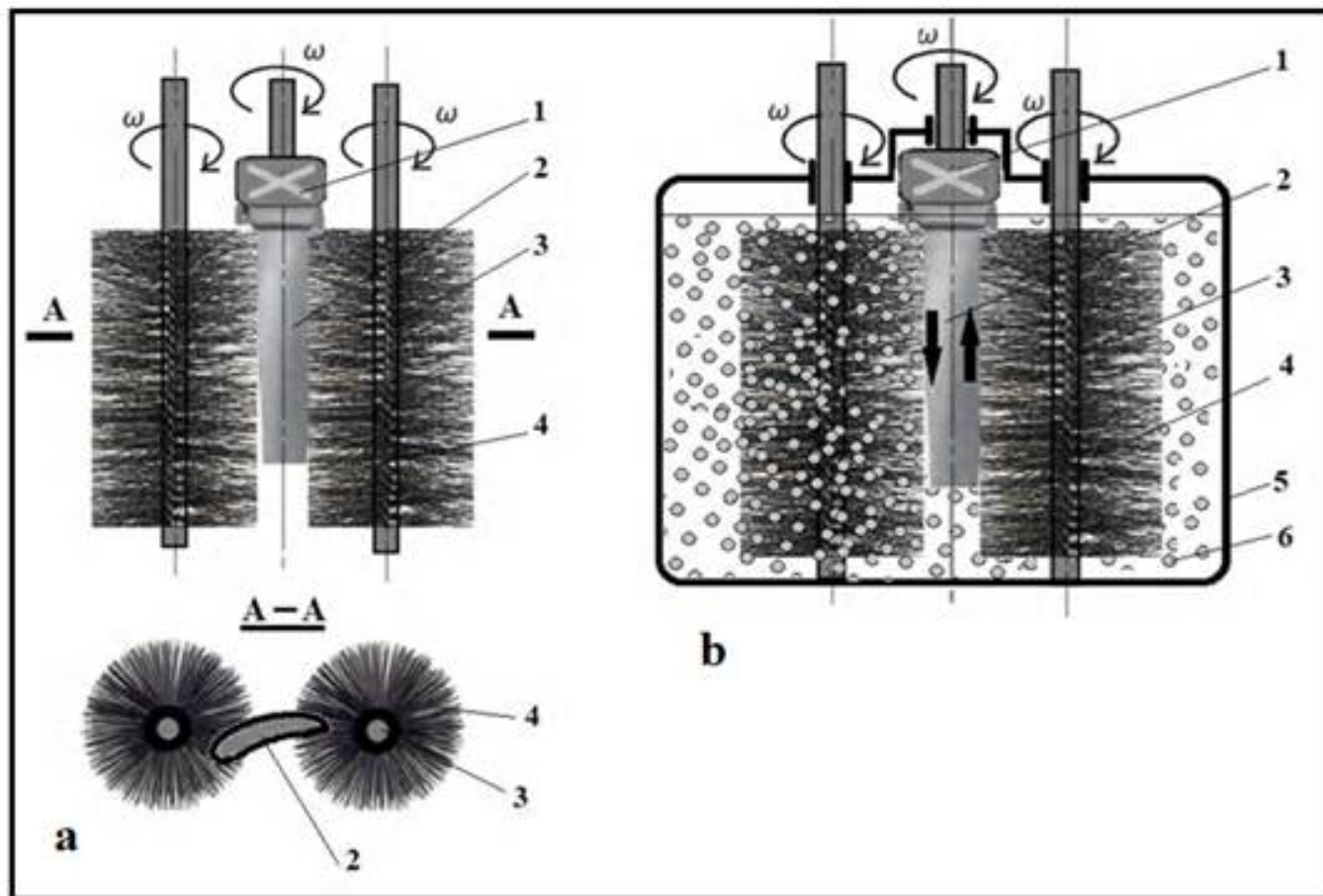


Рисунок 2. Способ полирования лопаток ГТД методом СЭПГЩ [5].(1 - держатель; 2 -обрабатываемая деталь; 3 - металлический стержень-электрод щетки; 4 -щетка; 5 - рабочий контейнер; 6 -гранулы, пропитанные электролитом)

В данной работе рассматривается второй вариант обработки, предусматривающий замену гранул на ленту [7]. Общая схема обработки пера лопатки в этом случае может выглядеть следующим образом (рис. 3).

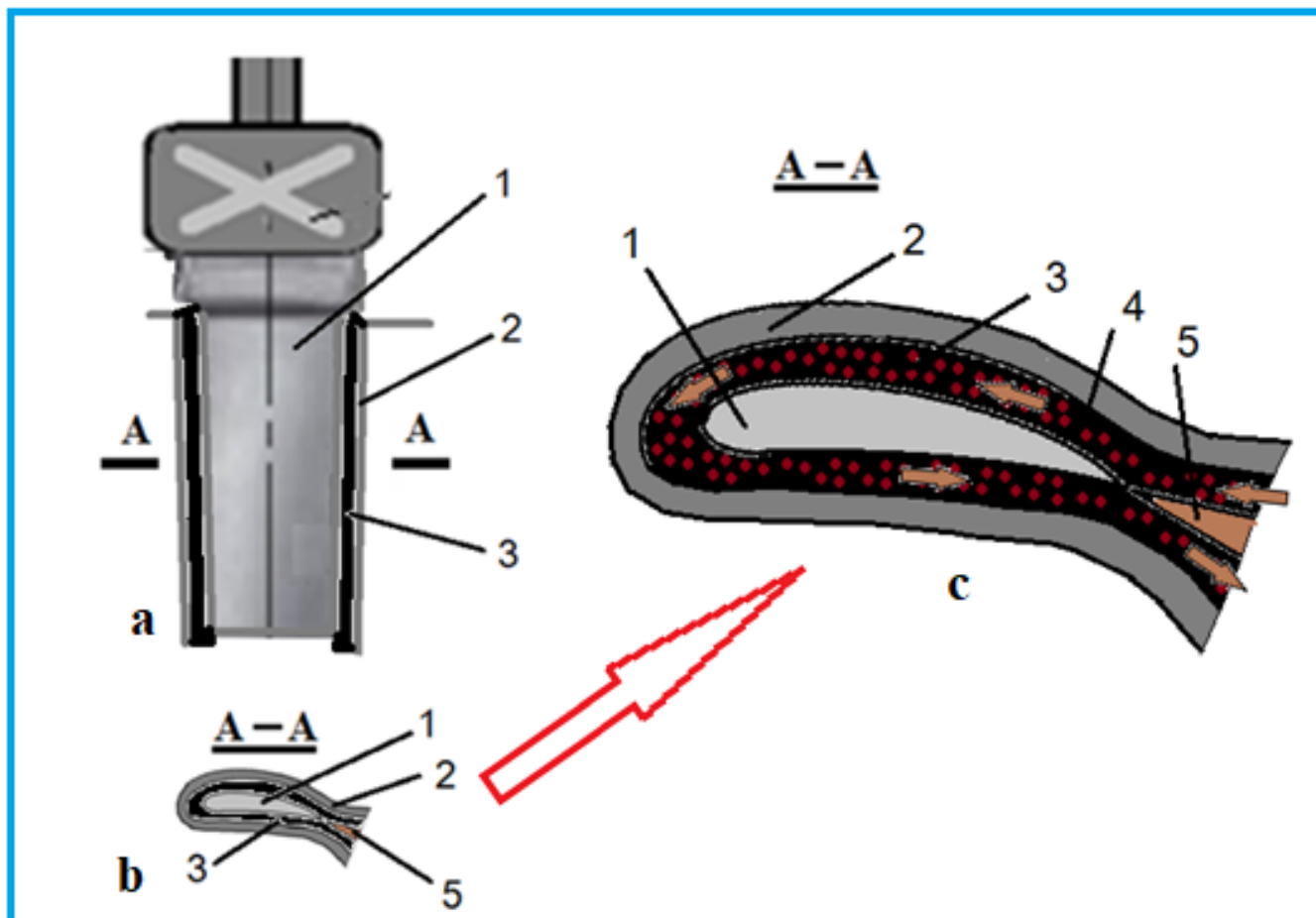


Рисунок 3. Обработка лопатки во внешнем электроде с лентой из анионитов в зазоре между деталью и внешним электродом. (1 - обрабатываемая лопатка; 2 - внешний электрод; 3 - лента из волокон-анионитов, пропитанных электролитом; 4 - зазор между электродом и деталью; 5 - разделительная перегородка. (сплошными стрелками обозначены направление движения ленты))

Обработка лентой из волокон-анионитов, производится следующим образом (рис.2). На держателе закрепляют деталь 1 и размещают ее во внешнем электроде 2 таким образом, чтобы электрод 2 и обрабатываемая деталь 1 не касались друг друга. При этом, между электродом 2 и деталью 1 оставляют зазор 4, обеспечивающий свободное перемещение в нем ленты 3 при обеспечении одновременного контакта с внешним электродом 2 и деталью 1. Деталь 1 с внешним электродом 2 помещают в рабочую камеру установки для полирования (не показано), заводят ленту 3 в зазор 4 между деталью 1 и внешним электродом 2, обеспечивая постоянное перемещение ленты 3 в зазоре 4 (например, ее перематкой с одной бобины на другую). При этом, в ленте 3 поддерживается требуемый уровень содержания электролита. Для интенсификации процесса ленту 3 можно дополнительно приводить в вибрационное движение. На обрабатываемую деталь 1 и внешний электрод 2 подается электрический потенциал и включают привод устройства для перемещения ленты 3 в зазоре 4 между деталью 1 и электродом 2 и проводят полирование поверхности детали 1 до получения заданной шероховатости поверхности а, при обработке пера лопатки - радиуса закругления входной и выходной кромок пера. После окончания обработки готовую деталь 1 вынимают и складывают в тару для хранения. При этом, в зависимости от конфигурации детали 1 можно использовать различные варианты внешнего охватывающего электрода 2 (в виде сплошной изогнутой пластины, пластины с перфорациями, сетки и т.п.) и величины зазора 4.

Электрополирование детали 1 проводят посредством протекания электрохимических процессов (ионного уноса материала детали 1) между деталью 1 и внешним электродом 2 через ленту 3, выполненную из волокон анионитов, пропитанных раствором электролита,

обеспечивающего электропроводность ленты 3 и ионный унос металла с поверхности детали 1 с удалением с нее микровыступов.

Устанавливают внешний охватывающий электрод 2 вокруг детали, обеспечивают контакт всей полируемой поверхности детали 1 с лентой 3 и ленты 3 с электродом 2, приводят ленту 3 в движение, перемещая ее при вибрации через зазор 4, обеспечивая отсекание ленты 3 разделительной перегородкой 5, подают на деталь 1 и гранулы 3 электрический потенциал, обеспечивающий ионный унос металла с поверхности обрабатываемой детали 1 и ее полирование до получения заданной шероховатости полируемой поверхности. При обработки детали 1 типа лопатки турбомшины, деталь 1 дополнительно приводят в возвратно-поступательное движение относительно ее продольной оси, без касания с внешним электродом 2.

В качестве анионитов для ленты 3 используют ионообменные смолы полученные на основе сополимеризации либо полистирола, либо полиакрилата и дивинилбензола. Размеры поперечного сечения волокон выбирают из диапазона от 0,05 до 0,6 мм при их длине от 4 мм до 45 мм.

Электрополирование лентой 3 проводят либо подавая на деталь 1 положительный, а на внешний электрод 2 отрицательный электрический потенциал, величиной от 12 до 35 В, либо в импульсном режиме со сменой полярности, при диапазоне частот импульсов от 20 до 100 Гц, периода импульсов от 50 мкс до 10 мкс, при амплитуде тока положительной полярности во время импульса +50 А и их длительности 0,4 до 0,8 мкс, при амплитуде тока отрицательной полярности во время импульса - 20 А, и их длительности 0,2 до 0,4 мкс, при прямоугольной форме выходных импульсов тока и длительности пауз между импульсами от 49,6 мкс до 9,2 мкс.

При полировании лопатки турбомшины, выполненной из легированной стали, в качестве электролитов для пропитки ленты из анионитов использовали следующий водных раствор NH_4F , концентрацией 18 г/л.

После обработки детали методом сухого электрополирования не происходит изменения структуры материала поверхностного слоя (рис. 4), что важно для последующей упрочняющей обработки методом ионной имплантации, обеспечивающей однородность физико-механических свойств поверхностного слоя (рис. 5)

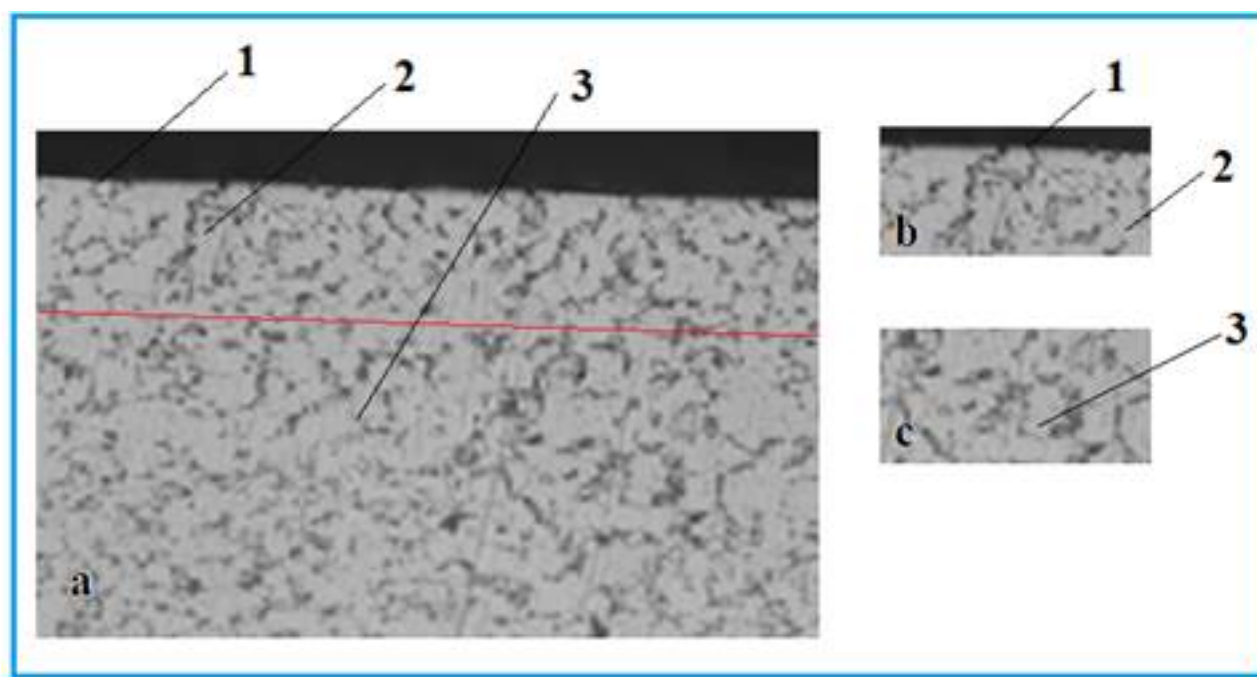


Рисунок 4. Микрофотография поверхности детали, после обработки методом

сухого электрополирования (1 - поверхность, 2 - поверхностный слой, 3 - основной материал)



Рисунок 5. Лопатка ГТД после обработки методом сухого электрополирования с последующей ионной имплантацией.

Выводы

1. Наиболее перспективным методом, обеспечивающим высокое качество поверхностного слоя деталей является метод полирования, основанный на ионном уносе.
2. Использование при обработке поверхностей свободных гранул не обеспечивает однородной обработки поверхностей деталей сложной формы, таких как лопатки ГТД.
3. Обеспечение однородности обработки деталей сложной формы возможно либо при управлении потоком гранул, путем их заданного распределения по поверхности детали, либо переходом от дискретной (гранул) на сплошную технологическую среду.
4. После обработки детали методом сухого электрополирования не происходит изменения структуры материала поверхностного слоя, что важно для последующей упрочняющей обработки методом ионной имплантации, обеспечивающей однородность физико-механических свойств поверхностного слоя.
5. Предложена модель объясняющая неравномерность обработки деталей сложной формы методом ионного уноса при использовании гранул.
6. Предложена и исследована новая технология сухого электрополирования лентой, обеспечивающая однородность обработки поверхности детали.

Список литературы:

1. В.Ф. Макаров, Е.Н. Бычина, А.О. Чуян. Математическое моделирование процесса полирования лопаток газотурбинных двигателей // Авиационно-космическая техника и технология. №8 (85), 2011, с.11-14).
2. Грилихес, С. Я. Электрохимическое и химическое полирование: теория и практика. Влияние на свойства металлов / С. Я. Грилихес. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1987. 232 с.
3. Мельников, П. С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П. С. Мельников. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1991. 384 с.
4. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Г. Л. Амитан [и др.]; под. общ. ред. В. А. Волосатова. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1988. 719 с.
5. WO2017186992 - |Method for smooth ingand polishing metals viaion transport by means off reesolid bodies, and solid bodies for carrying out said method. Оpubл. 2017.11.02 .
6. Патент РФ № 2716292. Способ электрополирования металлической детали. / Мингажев А.Д. и др./ Заявка: 2019130515. / 2019.
7. Патент РФ № 2724734. Способ электрополирования детали./ Мингажев А.д., Криони Н.К. /Заявка: 2020109780, 2020 г /