

АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПИРОИДНЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ*

Бочкарев А.Ю. (*НТЦ спироидных передач при ИжГТУ, г. Ижевск. Россия*)

Спироидные передачи являются прогрессивными пространственными зубчатыми передачами гиперboloидного типа, которые по многим важнейшим техническим показателям существенно превосходят как червячные, так и гипоидные передачи.

К примеру, по сравнению с червячными цилиндрическими спироидным передачам присущи следующие существенные преимущества [1]:

- большее число пар зубьев, находящихся в одновременном зацеплении;
- намного более благоприятное расположение линий контакта зацепляющихся поверхностей для возникновения между ними масляных клиньев и, как следствие этого, повышенные КПД и износостойкость;
- способность надежно работать при использовании в качестве материала спироидного колеса не только бронзы (материала дорогого и достаточно дефицитного), но и высокопрочного чугуна, а также стали;
- намного более высокая стойкость против ударных и вибрационных нагрузок;
- повышенная технологичность, обусловленная более простой формой заготовок, пониженной восприимчивостью к погрешностям монтажа, возможностью применения при их изготовлении не только методов резьбо- и зубофрезерования, резьбошлифования, копирования, но также (в случае, когда и червяки, и колеса изготавливают из стали) и штамповки, горячей и холодной накатки, притирки зубьев спироидных колес с витками червяков (при допустимом исключении при этом резьбошлифования спироидных червяков).

По сравнению с гипоидными передачами спироидные передачи имеют следующие положительные отличия:

- они теоретически вообще нечувствительны, а практически в несколько раз менее чувствительны к неточности осевого положения червяка (шестерни);
- в них значительно более полно реализуются большие коэффициенты перекрытия, в связи с чем обеспечиваются повышенная кинематическая точность и пониженная восприимчивость к колебаниям нагрузки;
- в них возможно без нарушения правильности зацепления производить практически без затруднений регулировку зазоров между боковыми поверхностями витков червяка и зубьев колеса;
- при их серийном производстве для осуществления зубообработки могут быть использованы широко распространенные токарно-винторезные, резьбофрезерные, резьбошлифовальные, универсальные зубофрезерные станки, и нет надобности в применении весьма сложных по кинематике, дорогостоящих и относительно малораспространенных станков, предназначенных для нарезания конических и гипоидных передач.

Основным видом инструмента, применяющегося для зубонарезания спироидных колес (и представляющего собой инструмент 1-го порядка), является спироидная червячная фреза (СЧФ), которая имеет число заходов Z_0 , равное числу заходов Z_1 спироидных червяков (СЧ), образующих в зацеплении с нарезанными данной СЧФ колесами спироидные передачи (СП) с заданными геометрическими параметрами.

* Работа выполнена под научным руководством проф. А.К. Георгиева

Для достижения надлежащей точности СП изготовление СЧФ должно быть выполнено с достаточно высокой точностью, которая определяется правильным профилированием соответствующих инструментов 2-го порядка, к которым, в частности, относится заточный шлифовальный круг. Чрезвычайно важное значение имеет обеспечение высокой точности расчета координат точек профиля упомянутого заточного шлифовального круга, так как в случае, если точность расчета не обеспечена, изготовление СЧФ заданного класса точности становится невозможным.

При изготовлении СЧФ для нарезания цилиндрических зубчатых, червячных и спироидных колес, правильность формообразования боковых поверхностей нарезаемых зубьев возможна лишь при условии обеспечения заданной на чертежах СЧФ радиальности передних поверхностей их зубьев.

Причем при достижении указанной радиальности соответствующие дисковые заточные шлифовальные круги (ЗШК) имеют криволинейную и при этом непременно выпуклую форму (рис. 1). В случае же использования ЗШК, имеющего прямолинейную

образующую, профиль зуба затачиваемой СЧФ получается искаженным (на рис. 1 показан штриховой линией).

Здесь нужно добавить, что профиль заточного круга является тем более выпуклым, чем больше угол наклона винтовой линии стружечной канавки СЧФ. Если учесть, что эта канавка практически всегда нормальна к направлению витков СЧФ, то очевидно, что получение точного профиля ЗШК тем более актуально, чем большее число заходов имеет СЧФ.

Основываясь на выполнении условия, что в точке контакта передней поверхности зубьев СЧФ с поверхностью ЗШК общая нормаль должна проходить через ось последнего, получаем математические зависимости, которые могут быть представлены в таком виде [2]:



Рис. 1. Относительно обеспечения правильной заточки СЧФ

$$\left. \begin{aligned} \rho_0 &= \sqrt{x_0^2 + y_0^2}, \\ z_0 &= u \cos \theta_1 \sin \Sigma_0 + W \cos \Sigma_0, \\ u^2 - u \cdot B \sec \theta_1 + (C + p_K W \operatorname{ctg} \theta_1) &= 0, \end{aligned} \right\}$$

$$\text{где } B = a_{w0} + p_K \operatorname{ctg} \Sigma_0, \quad C = a_{w0} p_K \operatorname{ctg} \Sigma_0, \quad W = p_K \theta_1 - 1, \\ x_0 = -u \cos \theta_1 \cos \Sigma_0 + W \sin \Sigma_0, \quad y_0 = -u \sin \theta_1 + a_{w0}.$$

здесь ρ_0 – радиус текущей точки профиля ЗШК; x_0, y_0, z_0 – координаты текущей точки профиля ЗШК; u – расстояние от произвольной, принадлежащей архимедовой поверхности, точки до оси Z ; θ_1 – отсчитываемый против часовой стрелки при наблюдении со стороны вершины оси Z угол между плоскостью XOZ и осевой плоскостью, проходящей через упомянутую произвольную точку архимедовой поверхности; Σ_0 – угол скрещивания осей СЧФ и ЗШК; p_K – осевой параметр винтовой линии стружечных канавок СЧФ; a_{w0} – кратчайшее расстояние между осями Z_{02} и Z .

Чрезвычайно важной является проблема определения угла ψ , который расположен в плоскости, проходящей через O_1O_2 и перпендикулярной к оси Z (рис. 2), и величина которого равна углу между прямой, принадлежащей передней поверхности зубьев СЧФ, и O_1O_2 . Неправильный выбор величины этого угла ведет к подрезанию вершины зуба.

При использовании в качестве основы математической модели приведенных формул и соотношений, отображенных на рис. 2, была разработана программа, которой нами было присвоено обозначение «ISC-G3_{SH}» и которая позволяет решать следующие задачи:

– определять рациональные параметры установки заточного шлифовального круга относительно СЧФ, в том числе и величину угла ψ ;

– выполнять расчет координат точек профиля заточного шлифовального круга с надлежащей точностью.

Практическое использование данной программы, связанное с изготовлением нескольких десятков СЧФ, показало, что ее нормальная работа вполне обеспечивается при соблюдении следующих минимальных системных требований: процессор – pentium 100; объем оперативной памяти – 32 Мб; места на жестком диске – 5 Мб; видеоадаптер с видеопамью 2 Мб; клавиатура, мышь; операционная система – Windows 9x (95, 98, ME).

С помощью данной программы были проведены численные исследования, относящиеся к случаям заточки ряда конкретных СЧФ и заключающиеся в том, что производилась оценка влияния изменения диаметра ЗШК (сохранявшего неизменным свой профиль), происходящего вследствие его переточек, на величины возникающих погрешностей профиля передних по-

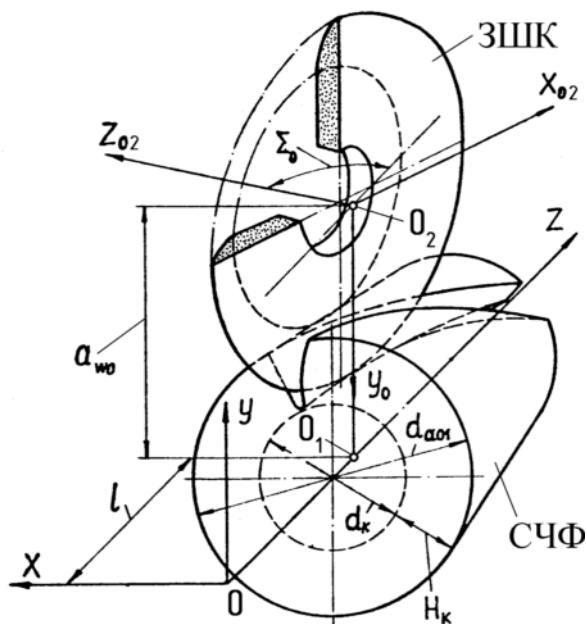


Рис. 2. Схема установки ЗШК по отношению к СЧФ при заточке последней по передним поверхностям ее стружечных канавок

верхностей зубьев СЧФ.

Кроме того, данная программа была успешно использована в процессе выполнения конкретных расчетов и построений так называемых "обрисовок" профилей заточных кругов, с помощью которых производилась заточка более двух десятков типоразмеров многозаходных (с числом заходов от двух до девяти) СЧФ.

Список литературы: 1. Георгиев А. К. Основные особенности, классификация и области эффективного использования спироидных передач // Перспективы развития и использования спироидных передач и редукторов: Докл. Всесоюз. научн.-техн. совещ. – Ижевск, 1979. – 157 с. 2. Разработка и исследование спироидных передач и содержащих эти передачи устройств для станков с ЧПУ и специальных агрегатов.: Отчет о НИР / Ижмехинститут; Руководитель работы А.К. Георгиев. № ГР 01830024366, Инв. № 0285.0038456 – Ижевск, 1984. – 93 с.

УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЬЕВ

Мекина Т.С., Михайлов А.Н (каф. ТМ, ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

Пространственная модификация зубьев позволяет эксплуатировать муфты при повышенных значениях нагрузки и компенсации. Однако при неустановившихся режимах работы муфты. При пусках машины имеет место радиальное смещение осей втулки относительно обоймы. При этом резко возрастает нагруженность зубчатых элементов, что ведет к снижению несущей способности зубчатых муфт.

Как известно, термомеханическая обработка (ТМО) является эффективным способом упрочнения сталей, которые работают при сложных нагружениях, ТМО увеличивает работу распространения трещин, повышает ударную выносливость, возрастает предел прочности и износостойкость. Сущность ТМО заключается в том, что мартенсит получает наследственную мелкозернистую структуру от переохлажденного аустенита, а также происходит «наследование» дефектов от деформации в процессе закалки. Поэтому применение ТМО для повышения несущей способности зубчатых муфт за счет увеличения предела изгибной выносливости зубьев является одним из перспективных путей.

По конструктивным соображениям предусмотрено, что для обеспечения равнопрочности зацепления муфты ТМО будет производиться только для зубьев втулки, так как нагрузочная способность ее зубьев меньше, чем зубьев обоймы. Сразу отметим, что для зубьев обоймы применима обычная термообработка, выбор вида которой вытекает из условия создания равнопрочности зубьев зацепления, а также обеспечения разницы в твердости рабочих поверхностей зубьев втулки и обоймы, необходимой для качественной их приработки в соответствии с рекомендациями ГОСТ 5006-83 «муфты зубчатые. Технические условия».

Использование ТМО для элементов зубчатых втулок в промышленных масштабах связано с большими трудностями из-за необходимости применения мощного оборудования для обработки давлением. В связи с этим было предложено ТМО зубьев втулок вести на модернизированном прокатном стане (р. 1), который легко можно перемещать по цехам машиностроительных заводов благодаря размещению его на пространственной стержневой раме.

Процесс пластической деформации при ТМО профилей зубьев является свободным обкаточным процессом, основанным на принципе плоского станочного зацепления. Обрабатываемая зубчатая втулка совершает вокруг своей продольной оси вращательное движение, а инструмент - свободное обкаточное вращательное движение, в радиальном направлении - поступательное движение на определенную величину в зависимости от требуемой степени деформации зубьев изделия. Опыт ТМО зубчатых втулок показал, что припуск под качественное формообразование и упрочнение материала зубьев следует оставлять в пределах 30-40 допусков на колебание длины общей нормали.

На рис.1 изображены схема и общий вид устройства для чистовой горячей накатки зубьев втулок. Здесь нагретая с предварительно обработанными зубьями заготовка 1 насаживается на хвостовик среднего шпинделя 2 в зацепление с инструментом 3, закрепленным на хвостовике верхнего шпинделя 4. Установка шпинделей в станине 5 осуществлена на опорах 7, между которыми вставлены упругие элементы 8. Зазоры между заготовкой 1 и инструментом 3 регулируются винтами 6. Устройство снабжено

дополнительным шпинделем 9 и двумя бандажами 10, между которыми в процессе обработки вводится прижимной калиброванный элемент 11. Санина 5 располагается на пространственной стержневой раме 9.

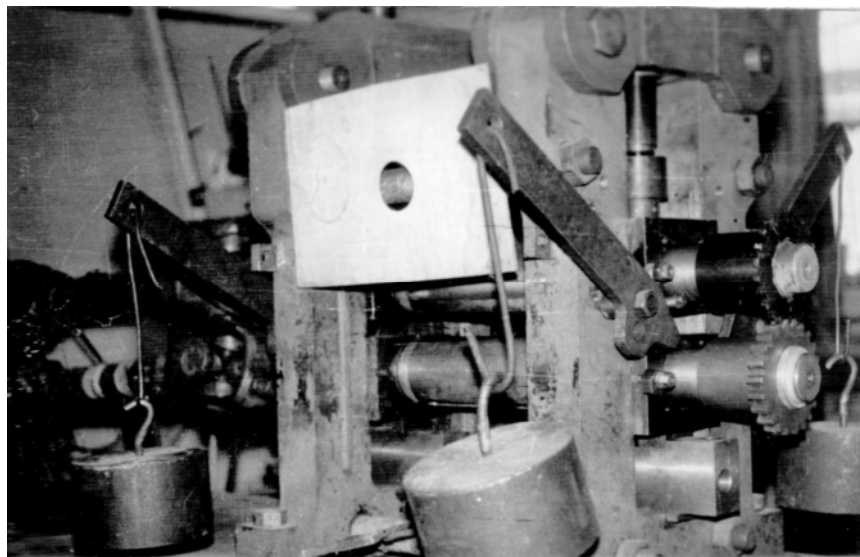
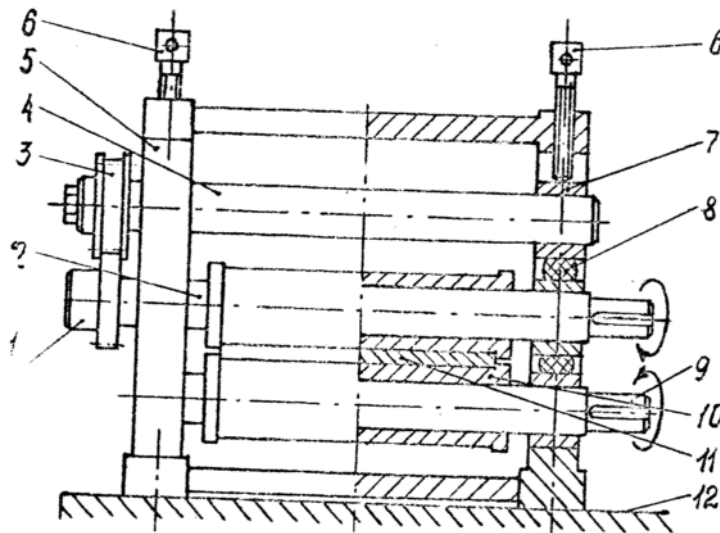


Рис. 1. Схема и общий вид устройства для чистовой горячей накатки зубьев втулок

ТМО зубчатых элементов втулок производится в следующем порядке. Вначале осуществляется нагрев заготовок до 1200°C для создания однородности аустенита (гомогенизации), затем подстуживание до $1100-1000^{\circ}\text{C}$. После этого заготовка устанавливается на хвостовик среднего шпинделя и производится деформация с обжатием зубчатых элементов втулки 1 инструментом 3. Поджатие заготовки 1 к инструменту 3 производится за счет введения прижимного калиброванного элемента 11 между бандажами 10, при выводе которого за счет упругих элементов 8 производится возврат шпинделя 2 в исходное положение. Вращательное движение зацеплению изделия с инструментом сообщается только зубчатой втулке 1, в связи с этим перенос погрешностей кинематической цепи и ошибок установки на изделия исключен. Отсутствие жесткой кинематической связи между обрабатываемой заготовкой и инструментом и наличие

жесткой технологической системы подачи заготовки способствуют снижению технологических погрешностей изготовления изделий.

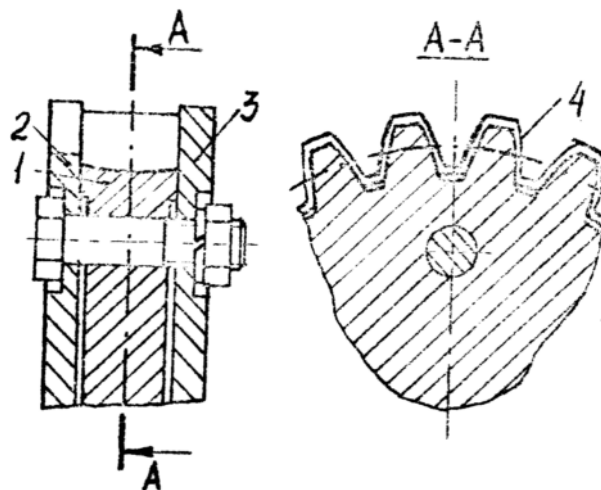


Рис. 2. Инструмент для чистовой горячей накатки зубьев втулок.

На рис.2 показан инструмент для чистовой горячей накатки зубьев втулок. Инструмент состоит из скрепленных между собой профилирующего зубчатого венца 1, размещенного между двумя торцовыми дисками 2 и 3. С целью обеспечения простоты установки зубчатой втулки в зацепление с инструментом по периметру наружного торцового диска 2 выполнены прорезы 4. Вследствие того, что зубчатая втулка устанавливается зубьями непосредственно в зацепление с инструментом, благодаря наличию прорезей и заданной величины межцентрового расстояния (втулки и инструмента), исключается возможность брака из-за попадания вершины зуба втулки на вершину зуба инструмента при их сближении. Наличие торцовых дисков улучшает процесс деформации и предотвращает возможность смещения заготовки в осевом направлении в период обработки, что хорошо сказывается на качестве изделий и производительности.

После деформации заготовки осуществляется немедленная закалка, позволяющая предотвратить развитие рекристаллизации, а также зафиксировать особое структурное состояние металла, возникающее под действием деформаций. В результате ТМО аустенитная сталь получает мартенситную микроструктуру с зубчатыми границами зерен и блоками внутри зерен. Эффект упрочнения ряда аустенитных сталей сохраняется до 900-950°C.

Таким образом, ТМО зубчатых элементов втулок с использованием описанной схемы горячей деформации способствует повышению несущей способности зубчатых муфт за счет увеличения предела изгибной выносливости зубьев и обеспечения равнопрочности зацепления.

Список литературы: 1.Полухин П.И., Горелик С.С. Физические основы пластической деформации. – М.: Металлургия,1982. —584с. 2. Термическая обработка в машиностроении. Справочник \ Под ред. Ю.М.Лахтина, А.Г.Рахштадта. – М.: Машиностроение,1980. – 783с

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ ВАЛКОВОЙ ГИРАЦИОННОЙ ДРОБИЛКИ

Кондрахин В.П., Евдокимов В.А. (каф. ГМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Одновалковые гирационные дробилки являются весьма перспективными для использования в шахтах в процессе подготовки крепких горных пород для закладки в выработанное пространство [1]. Их работоспособность и эффективность во многом зависят от формы рабочей поверхности камеры дробления. Как показано в работе [1], оптимальный профиль камеры с позиций удержания куска в процессе его раздавливания представляет собой отрезок логарифмической спирали. В полярной системе координат r, φ он описывается уравнением

$$r = r_n \cdot e^{f \cdot (\varphi - \varphi_n)},$$

где f – коэффициент трения породы о поверхность камеры,

r_n, φ_n – полярные координаты начальной точки профиля.

Однако полученная теоретически форма профиля не технологична при изготовлении и не является симметричной относительно продольной оси дробилки. Вследствие этого отсутствует возможность существенно продлить срок службы щеки при ее износе за счет переустановки. В процессе такой переустановки входная и выходная, наиболее изнашиваемая части щеки могли бы меняться местами. Для повышения эксплуатационных качеств дробилки целесообразно выполнить профиль дробилки в виде дуги окружности.

Координаты центра и радиус дуги следует принимать таким образом, чтобы дуга в наибольшей степени соответствовала найденному теоретическому профилю. В качестве критерия соответствия естественно принять сумму квадратов отклонений фактического и теоретического профилей. Расчетная схема аппроксимации представлена на рисунке.

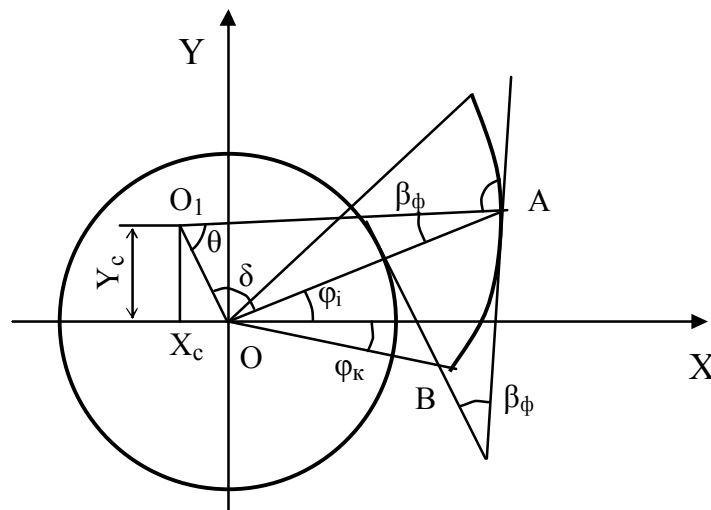


Рис. 1. Расчетная схема аппроксимации формы профиля

Точка O_1 с координатами (X_c, Y_c) является центром искомой дуги окружности. Радиус профиля R_n определяется исходя из необходимости совпадения конечных точек теоретического и фактического профиля (точка В)

$$R_n = \sqrt{(X_c - r_k \cdot \cos \varphi_k)^2 + (Y_c - r_k \cdot \sin \varphi_k)^2}.$$

Радиус-вектор произвольной точки А искомого профиля (отрезок ОА) определяется по теореме косинусов:

$$r_{\phi i} = \sqrt{R_n^2 + X_c^2 + Y_c^2 - 2 \cdot R_n \cdot \sqrt{X_c^2 + Y_c^2} \cdot \cos u},$$

где $u = p - \partial - \varphi_{\phi}$;

$$\partial = \frac{p}{2} - \varphi_i + \arctg \left| \frac{X_c}{Y_c} \right|;$$

$$\varphi_{\phi} = \arcsin \left(\frac{\sqrt{X_c^2 + Y_c^2}}{R_n} \cdot \cos \left(\varphi_i - \arctg \left| \frac{X_c}{Y_c} \right| \right) \right) - \text{фактический угол захвата}$$

куска породы.

Искомые значения X_c и Y_c определяются из условия достижения минимума функции

$$L(X_c, Y_c) = \sum_{i=1}^N \left(r_n \cdot e^{f(\varphi_i - \varphi_n)} - r_{\phi i} \right)^2$$

где N – количество рассматриваемых точек профиля.

Решение этой задачи производилось на ЭВМ с использованием метода случайного поиска. При этом в каждой попытке значения координат центра дуги определялись по выражению:

$$\begin{aligned} X_{ci} &= X_{cmin} + n_{1i} (X_{cmax} - X_{cmin}); \\ Y_{ci} &= Y_{cmin} + n_{2i} (Y_{cmax} - Y_{cmin}); \end{aligned}$$

где X_{cmin} , X_{cmax} , Y_{cmin} , Y_{cmax} – граничные значения диапазона изменения соответствующих координат; n_{1i} , n_{2i} – псевдослучайные числа, равномерно распределенные в интервале $0 \dots 1$.

В результате выполненных расчетов установлено, что при количестве попыток $N \geq 10000$ достигается достаточная для практических целей степень сходимости теоретической кривой и дуги окружности. При этом максимальный фактический угол взаимодействия профиля с куском породы (угол захвата) не превышает $18,4^\circ$, что весьма близко к теоретическому значению $16,4^\circ$ и обеспечивает надежное удержание куска в камере при его разрушении. Предложенная методика использована при проектировании шахтной дробилки ДВ и может быть полезна при проектировании рабочих камер гирационных дробилок других типов.

Список литературы: Шахтная валковая дробилка для крепких пород / Кондрахин В.П., Мизин В.А., Малородов В.Г., Ольховский О.В. / Уголь Украины, №9, 1994 - С.15-16.