

Устинов Д.Б., Устинов Б.С.

## РАСЧЕТ ПРИРОСТА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ БИТУМНЫХ КРОВЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Совершенствование и повышение технико-экономических показателей дробильного оборудования, одного из основных видов технологического оборудования при производстве нерудных строительных материалов, ведется по пути развития и совершенствования традиционных конструктивных схем дробилок, так и по пути создания новых.

При реконструкции зданий и сооружений столкнулись с проблемой утилизации, в частности битумосодержащих кровельных отходов. В практике отечественного строительства неизвестны технологии переработки и вторичного применения отходов старого рубероидного ковра. Между тем, кровельные отходы являются прекрасным вторичным сырьем для получения порошкового битумного связующего. К общим принципам применения измельчителей относятся требования к исходным материалам. В данном случае необходимо измельчить в сухом виде отходы старых битумосодержащих рубероидных кровель из вязких и волокнистых материалов с размерами первичных частиц до 300×300мм. На известных дробилках такие кровельные отходы измельчению не поддаются, поскольку все энергообменные устройства в них не обеспечивают управляемость технологическим процессом измельчения крупноразмерных частиц битумного материала, армированного волокнистыми прослойками.

Разработанная авторами статьи новая машина-измельчитель ИСБ-1 (рисунок 1) позволяет в сухом виде дробить в порошок вязкие битумные отходы [1]. Многогранный барабан машины-измельчителя расположен наклонно к горизонтальной оси и имеет ножи-лопатки на внутренних стенках, наружный загрузочно-разгрузочный люк с крышкой и по торцам горизонтальные полые консольно-фланцевые валы, установленные в опорных подшипниках на стойках рамы, один из которых через редуктор и зубчатую передачу кинематически связан с электродвигателем. Внутри барабана установлен рабочий вал с ударно-режущими ножами. Концы рабочего вала установлены на подшипниках в полостях консольно-фланцевых валов барабана. Рабочий вал через ременную передачу кинематически связан с электродвигателем и вращается навстречу вращения барабана.



Рисунок 1 – Машина для измельчения битумосодержащих материалов (ИСБ-1).

С целью интенсификации процесса измельчения разработан многогранный барабан, наклонно расположенный к своей оси вращения, и обеспечивающий, таким образом, объемное деформирование измельчаемого материала с многократным (знакопеременным) сдвигом его внутри барабана. На внутренних стенках многогранного барабана закреплены по двухзаходной винтовой линии ножи-лопатки; при этом угол между каждым ножом-лопаткой и соответствующей боковой стенкой барабана составляет 60-70°, а свободный конец ножа-лопатки направлен в сторону вращения барабана. Ножи-лопатки выполняют роль энергообменного устройства, которые предотвращают образования застойных зон в емкости барабана и, воздействуя на нагрузку, обеспечивают постоянство угла отрыва измельчающих тел и контакт с ними по всей поверхности рабочего вала с ножами-ударниками. Угол наклона барабана относительно рабочего вала (оси вращения) составляет 12-15°, а сам барабан установлен с эксцентриситетом  $e$ , который равен 50 мм.

При вращении в барабане постоянно происходит изменение местоположения измельчаемой смеси; за один оборот (360°) обеспечивается 4-х кратный внутренний рецикл измельчаемого материала (рисунок 2). Причем частота этого рецикла зависит от скорости вращения барабана. При большей скорости вращения барабана интенсифицируется процесс измельчения: улучшается удельная поверхность (тонкость помола) готового продукта и сокращается время помола. Кинематика процесса измельчения материала на ИСБ-1 многоступенчатая с многократно изменяемым рециклом помола, положение которого мгновенно преобразуется разноскоростными вращающимися навстречу друг другу энергообменными системами.

Все исследования кинематики измельчения битумосодержащих кровельных отходов (далее материалов) проводились на опытном образце измельчителя ИСБ-1, изготовленного Березовской ПТФ «Теплоприбор». Причем, рассматривая факторы влияющие на кинематику измельчения, нами одновременно учитывались и геометрические характеристики измельчителя. Размещенные на внутренних стенках барабана по двухзаходной винтовой линии ножи-лопатки, при вращении их вместе с барабаном, описывают две конические поверхности, обращенные вершинами друг к другу (рисунок 3). В плоскости I-I, проходящей через точку касания смежных вершин этих конических поверхностей (центральная часть барабана) могут создаваться стесненные участки между ножами – лопатками и ударно – режущими ножами длиной  $R_n$ , которые размещены на быстроходном валу. Чем меньше будет рабочий зазор между концами ножей – лопаток и концами ударно – режущих ножей, тем тоньше будет помол измельчаемого материала, будет быстрее осуществляться и сам процесс дробления; в центральной части барабана сосредоточена зона максимального давления  $D$  измельчаемой массы. Исходя из этих соображений, в первоначальном варианте машины-измельчителя, пара ударно – режущих ножей была установлена на рабочем быстроходном валу непосредственно в плоскости I-I, т.е. в зоне с минимальными зазорами между энерго-

Устинов Дмитрий Борисович. Инженер.

Устинов Борис Сергеевич. К.т.н., доцент каф. архитектурного проектирования и рисунка Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.

Машиностроение, автоматизация, ЭВМ

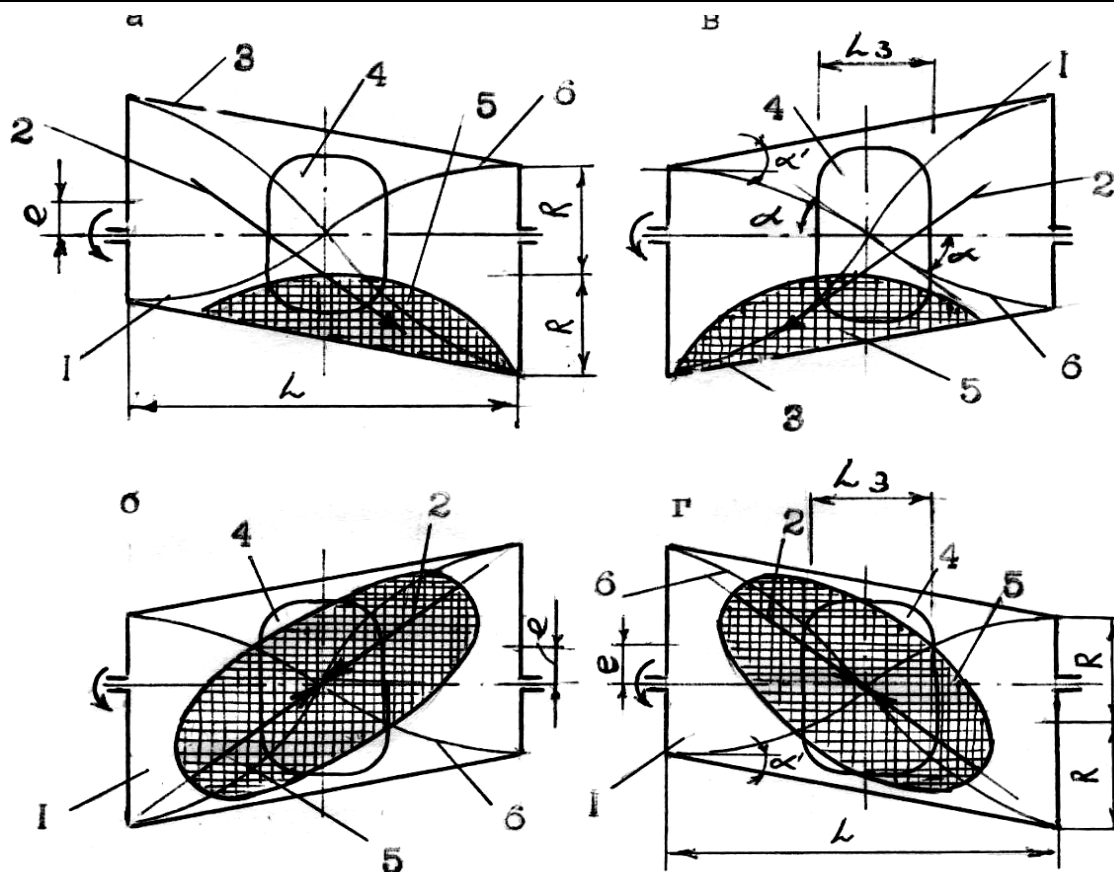


Рисунок 2 – Сменяемость внутреннего рецикла измельчаемого материала за полный оборот ( $360^{\circ}$ ) барабана: а- стадия загрузки  $0^{\circ}$ ; б – поворот барабана на  $90^{\circ}$ ; в – то же, на  $180^{\circ}$  (возможна стадия выгрузки); г- поворот барабана на  $270^{\circ}$ ; 1 – барабан; 2- смещение материала в динамике; 3- загрузочно–выгрузочный люк; 4 – зона  $D$  максимального давления измельчения; 5- измельчаемый материал; 6- энергообразующие лопастные ножи–лопатки (ЛЭН).

обменными элементами. Однако, сразу же в первой попытке измельчения битумосодержащих кровельных отходов эти ударно–режущие ножи сломались.

Анализируя причины поломки ударно – режущих ножей, было установлено, что в плоскости I-I возникают критические нагрузки (перегрузки), связанные с высокой концентрацией и плотностью потоков измельчаемых материалов. В момент запуска электродвигателя, быстроходный вал не успевает набрать необходимые обороты и ударно – режущие ножи, размещенные в центре этого вала, заклиниваются пригруженным измельчаемым материалом и ломаются. Аналогичные стесненные участки между ножами – лопатками и ударно – режущими ножами могут создаваться в процессе вращения барабана на центральном отрезке его продольной оси в симметричных плоскостях П-П (рисунок 3, вид А-А). Длина этого участка  $L_3$  зависит от угла наклона корпуса барабана  $\alpha'$  относительно его оси вращения и величины эксцентриситета  $e$ . Длина этого участка определяет границы зоны  $D$  максимального давления измельчения и она выявляется на основе геометрических параметров корпуса барабана машины–измельчителя. В рабочем режиме машины в зоне  $D$  максимального давления измельчения постоянно присутствуют смещаемые встречные потоки измельчаемой массы материала с частицами различной фракции, которые дополнительно разрушаются от механических ударов друг с другом. Интенсивность этих ударов может быть увеличена за счет установки ударно – режущих ножей на валу в зоне с меньшим давлением измельчения со смещением их относительно плоскости I-I на определенную величину (на рисунке 3 пара ударно

– режущих ножей в зоне  $D$  выделена). Поскольку машина – измельчитель предназначена для измельчения битумосодержащих и других строительных материалов (универсальный вариант), то возникают сложности по определению энергетических параметров этой установки. Различные физико-механические свойства измельчаемых строительных отходов в одном и том же мелющем объеме барабана сказывается не только на крутящие моменты, радиальную и осевую нагрузку на вкладыши подшипников, но и на мощность привода машины.

Известно, что законы измельчения не универсальны и их экспериментальная проверка затруднительна. Чаще всего аналитические расчеты, в том числе и прироста потребляемой мощности привода дробилки, выполняются на основе эмпирических законов. Например, в традиционных трубных цилиндрических мельницах, оснащенных лопастными сегментами, прирост потребляемой мощности привода выполняется в приближении мелющей загрузки в идеальной жидкости [2]. Но и в этом случае в расчетах принимаются упрощенные геометрические параметры конструкции барабана – измельчителя. В нашем же случае в машине – измельчителе ИСБ – 1 происходит постоянное изменение положения барабана в пространстве в процессе его вращения, зависящего от эксцентриситета  $e$ . Поэтому нами в расчетах при определении дополнительной мощности привода ИСБ – 1 учитывался этот эксцентриситет.

Увеличение энергонапряженности ИСБ – 1 за счет установки барабана относительно его оси вращения с эксцентриситетом  $e$ , а в самом барабане лопастных энергообменных ножей – лопаток ЛЭН обеспечивает прирост потребляемой

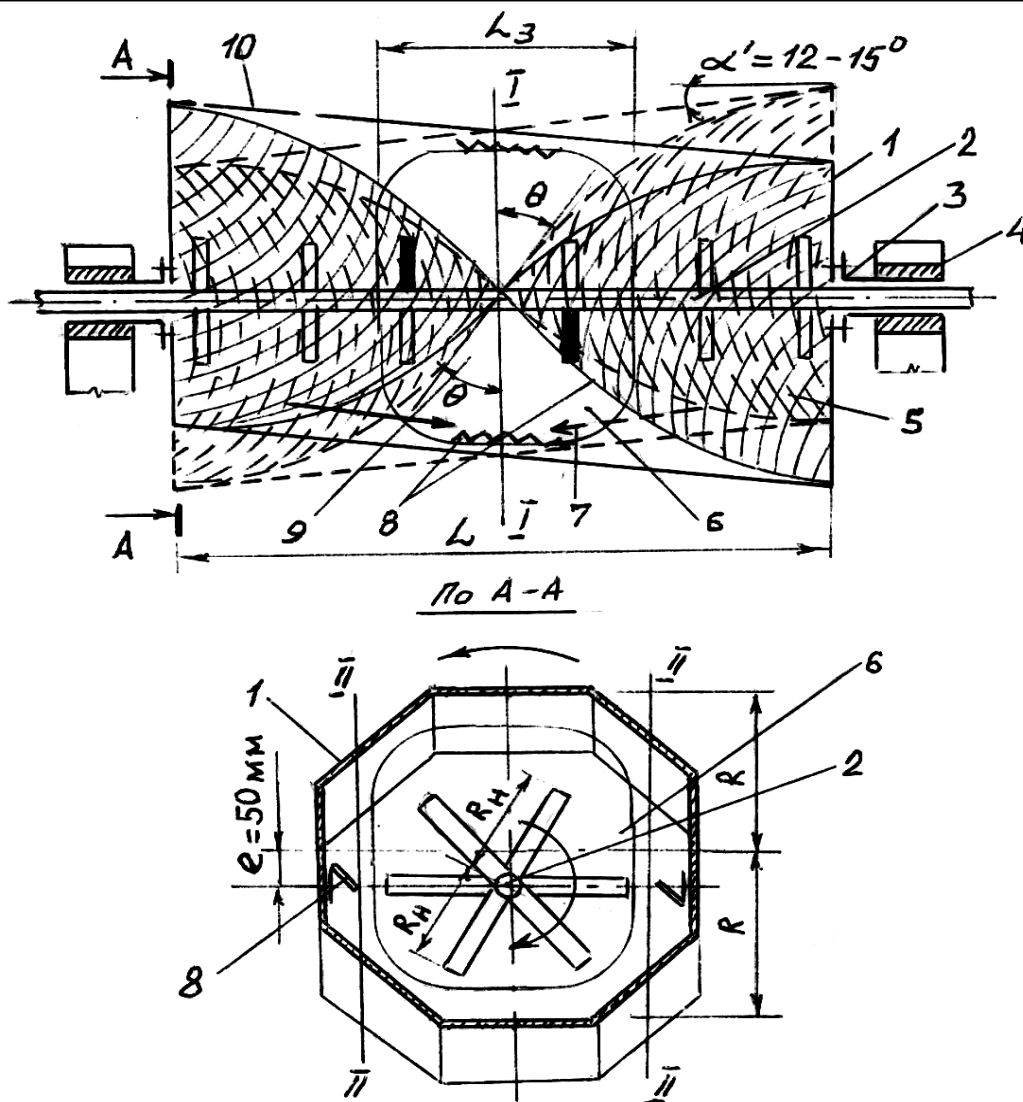


Рисунок 3 – Геометрия и кинематическая схема измельчителя ИСБ:

1- многогранный барабан; 2- вал с ударно-режущими ножами; 3- полые фланцевые цапфы; 4 – опорные подшипники; 5 – измельчаемый материал; 6 – зона  $D$  максимального давления измельчения; 7 – направление смещения измельчаемой массы материала; 8 – энергообразующие лопастные ножи-лопатки (ЛЭН); 9 – центральный угол нутации измельчаемой массы с подвижными осями твердых частичек материала; 10 – загрузочно-разгрузочный люк.

мощности  $N$  привода. Расчет этой мощности  $N$  выполняем в приближении мелющей загрузки к идеальной жидкости

$$N = N_1 + N_2, \quad (1)$$

где  $N_1$  - мощность, расходуемая на преодоление силы гидродинамического сопротивления при прохождении ЛЭН мелющей загрузки;  $N_2$  - мощность, расходуемая на преодоление силы трения при продольно – поперечном перемещении части загрузки, вытесняемой ЛЭН.

При прохождении ЛЭН мелющей загрузки изменяется их площадь контакта  $S$  ( $m^2$ ), а также угол между вектором скорости перемещения на ЛЭН  $v_1$  (м/с) и нормалью к поверхности ЛЭН. Тогда мощность  $N_1$  в изменяемых технологических параметрах машины

$$N_1 = 0.55 \rho \cdot S \cdot v_1^2, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность мелющей загрузки,  $kg/m^3$ ;  $S$  – среднее значение площади контакта ЛЭН с мелющей загрузкой

$$S = \frac{0.5\theta \cdot R \cdot \sin\theta}{(\pi + \theta)\sin\alpha}, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус барабана измельчителя, м. Центральный угол нутации  $\theta$  измельчаемой массы с подвижными осями твердых частичек материала связан с коэффициентом загрузки  $\varphi$  барабана ИСБ – 1 и определяется по формуле

$$\theta = \sin\theta + 2\pi\varphi. \quad (4)$$

Вектор скорости перемещения на ЛЭН  $v_1$  в измельчителе ИСБ – 1 с учетом эксцентриситета  $e$  меняется и может быть определен по формуле [3]

$$v_1 = \frac{1-e}{1+e} v, \quad (5)$$

где  $e$  – эксцентриситет оси вращения барабана измельчителя, м;  $v$  – среднее значение скорости (м/с) перемещения точек на ЛЭН

$$v = \omega \cdot R \cdot \cos^2(\theta/4), \quad (6)$$

где  $\omega$  – угловая скорость барабана измельчителя ИСБ – 1, рад/с.

Тогда первая составляющая мощности  $N_1$  примет вид

$$N_1 = \frac{0.275 \rho \cdot \theta \cdot R^3 \sin \theta (1-e)^2 \omega^2 \cos^4 (\theta/4)}{(\pi + \theta) \sin \alpha (1+e)^2} \quad (7)$$

где  $\alpha$  – угол наклона ЛЭН к продольной оси барабана измельчителя, град.

Вторая составляющая прироста потребляемой мощности  $N_2$  определяется с учетом геометрических параметров барабана измельчителя и массы мелющей загрузки в динамике

$$N_2 = \frac{k \cdot m \cdot g \cdot L}{\Delta t} \quad (8)$$

где  $m$  – масса мелющей загрузки, кг;  $k$  – коэффициент трения;  $g$  – ускорение силы тяжести м/с<sup>2</sup>;  $L$  – расстояние, на которое перемещается масса мелющих тел, м;  $\Delta t$  – время перемещения, с.

Тогда прирост потребляемой мощности  $N$  (кВт/с) с ЛЭН измельчителя ИСБ – 1 будет иметь вид

$$N = \frac{0.275 \rho \cdot \omega^2 \cdot \theta \cdot R^3 \sin \theta \cdot \cos^4 (\theta/4) (1-e)^2}{(\pi + \theta) \sin \alpha (1+e)^2} + \frac{k \cdot m \cdot g \cdot L}{\Delta t} \quad (9)$$

УДК 519.28:620.171

Еловой О.М.

## МЕТОДЫ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗНОСОУСТАЛОСТНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ В ДИСКРЕТНЫХ ТОЧКАХ

Известно немало методов измерения износа при испытаниях на трение при скольжении или качении [1-4] Методологическая основа всех таких методов едина контактным или бесконтактным способом измеряют толщину снятого в процессе испытаний слоя материала в заданные моменты времени. Оцениваемый таким образом износ можно назвать интегральным (суммарным).

В данной работе сообщается о разработанном методе измерения дискретного износа (при испытаниях на трение скольжения или фрикционно-механическую усталость (ФМУ)) и смещения осей пары трения (при испытаниях на трение качения или контактно-механическую усталость

Рассмотренные выше аналитические зависимости позволяют рассчитать значения дополнительной мощности привода любого аналогичного барабана измельчителя, имеющего заданные геометрические параметры лопастных энергообменных ножей. Конструктивные поисковые изменения, например, геометрических параметров ЛЭН обеспечат интенсификацию процесса дробления материалов в барабанных измельчителях и снижение расхода электроэнергии.

Данная методика расчета кинематических и энергомеханических параметров барабанного измельчителя с ЛЭН может быть использована и при разработке крупногабаритных установок для стационарного их режима работы в строительном производстве.

Приоритет технического решения измельчителя ИСБ (измельчитель – смеситель барабанный) защищен патентом Республики Беларусь.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Патент ВУ 2010 СИ, ВО2С 17/00, В 09В 3/00, В 28С 5/20. Барабанный измельчитель – смеситель/ Б.С. Устинов, Д.Б. Устинов//Офи. Бюл. РБ, №7 – 1997. – С. 24.
2. Ханин С.И. Расчет прироста потребляемой мощности трубной мельницы с лопастными энергообменными устройствами/ Тез.докл. Всесоюзной конференции «Машины и комплексы для новых экологически чистых производств строительных материалов, ч.3/ Белгород, 1991 – С.26-27.
3. Воронков И.М. Курс теоретической механики. Госиздат физико-математической литературы. – М. – 1961. – С.402-406.

(КМУ)) [5]. Ниже приводится описание метода и некоторые основные результаты испытаний силовой системы сталь 45 – сталь 45 на ФМУ (испытания проводились на машине СИ-01) и силовой системы сталь 45 – сталь 25 ХГТ на КМУ (испытания проводились на машине СИ-02) [6, 7].

Сущность метода состоит в том что в опасном сечении образца, где возбуждаются наибольшие циклические напряжения и одновременно реализуется процесс трения скольжения (при ФМУ) или трения качения (при КМУ) (рисунок 1), отмечаются по длине окружности (пути трения) 8 точек, в каждой из которых с высокой точностью измеряется дискретный износ в течение 1 оборота образца; естественно, что та-

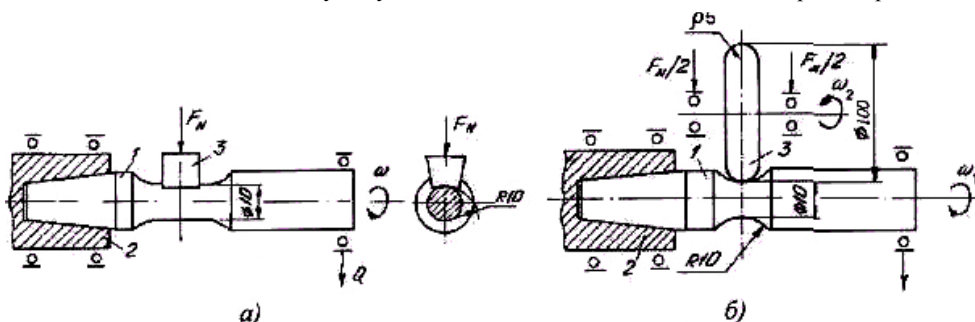


Рисунок 1 – Схема испытаний на фрикционно-механическую усталость (а) и контактно-механическую усталость (б) 1 – образец, 2 – шпindelь, 3 – контрообразец.