

К вопросу повышения качества измельчителей пищевых продуктов

О.В. Исламова, А.З. Токов, А.А. Жиляев, Р.М. Волкова, Н.Е. Арабов

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

Аннотация: В статье рассмотрен вопрос повышения качества измельчителя пищевых продуктов. Рассматриваются измельчители, как бытовые, так и промышленные. Предлагаются инженерные решения, которые позволят уменьшить эксплуатационные затраты потребителя и повысить энергоэффективность процесса измельчения. Приведенные рекомендации были апробированы на производстве и носят достоверный характер.

Ключевые слова: качество, измельчитель, энергоэффективность, лопасть, зазор, угол, нож, решетка, эксплуатация, производство.

Качество продукции машиностроения в значительной степени определяет эффективность всего народного хозяйства страны. Известно, что стоимость производства изделий машиностроения в разы меньше расходов на их содержание в период эксплуатации. Поэтому повышение качества изделий машиностроения должно быть заложено при проектировании и обеспечено при их изготовлении, так как это даст огромный народнохозяйственный эффект [1].

Вышесказанное в полной мере относится и к измельчителям пищевых продуктов, поскольку их качество, при прочих равных условиях, является важнейшим инструментом в конкурентной борьбе на рынке. Поэтому, естественно, цель всех моделей TQM («Всеобщее управление качеством») связана, в основном, с удовлетворением потребителя и постоянным улучшением [2]. Например, стандарт ГОСТ ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования базируется на двух методологических аспектах: 1) процессном подходе и ориентации на потребителя и 2) удовлетворении ожиданий потребителя. Внимание в данном стандарте сосредоточено на достижении постоянного улучшения, измеряемого степенью удовлетворенности потребителей. А как добиться производителям продукции не частичной, а полной удовлетворенности потребителей?

Каждый производитель продукции самостоятельно устанавливает приоритеты в достижении удовлетворенности своих потребителей. Пути достижения удовлетворенности потребителей могут быть разными. Наиболее эффективным и универсальным инструментом для решения проблемы полной удовлетворенности потребителя, на наш взгляд, является японская концепция по тотальному управлению качеством, базирующаяся на четырех соответствиях (или уровнях качества): 1) соответствие стандарту; 2) соответствие применению; 3) соответствие стоимости; 4) соответствие скрытым потребностям потребителей [3].

Заметим, что способы реализации этих соответствий мало интересуют потребителя. Ему важно приобрести изделие, соответствующие его ожиданиям по приемлемой цене.

А как реализуются эти соответствия производителями измельчителей пищевых продуктов? Рассмотрим их на примере измельчителя пищевых продуктов, произведенного широко известной фирмой. В инструкции сказано, что: «Захватыватель (по нашей терминологии - муфта предохранительная)» может сломаться (если положить, например, кости) и этим предохраняет прибор от поломок».

Опыт эксплуатации бытовых измельчителей свидетельствует о том, что муфта предохранительная ломается не из-за попадания костей в зону измельчения (и это не исключается), а из-за чрезмерно большого зазора между наружным диаметром шнекового вала и внутренним диаметром корпуса насадки. Измельчаемый продукт (мясо) попадает в этот зазор и шнековый вал стопорится. В этот момент предохранительная муфта ломается, и двигатель не получает повреждений.

А как отражается поломка предохранительной муфты на потребителе? Измельчитель в розничной торговой сети стоит 7000 руб., а

предохранительная муфта в сервисном центре – 400 руб. Если измельчитель используется в семье из 5-6 человек, то предохранительная муфта ломается примерно через каждые 1,5 - 2 месяца, а то и чаще. Другими словами, потребитель тратит в год только на предохранительные муфты около 3200-2400 р, не считая затраты на электроэнергию.

Проблема чрезмерно большого зазора не будет решена даже тогда, когда производитель найдет другое инженерное решение защиты электродвигателя от перезагрузки, так как процесс измельчения прекращается и необходимо извлечь застрявший кусок измельчаемого продукта (мяса) в зазоре. Кроме того, например, мясо, продавленное через зазор, перетирается и теряет сок. Измельчение должно происходить посредством резания, а не перетирания.

Фактический зазор (односторонний) между внутренним диаметром корпуса насадки и наружным диаметром шнекового вала составляет 3,0-3,5 мм для номинальных размеров от свыше 30 до 50 мм. И отечественные, и зарубежные производители эти детали получают, как правило, литьем из литейных алюминиевых сплавов и вышеуказанные поверхности не подвергаются механической обработке резанием.

Опыт показывает, если отверстие в корпусе насадки расточить, а шнековый вал по наружному диаметру обточить, то зазор между шнеком и корпусом будет оптимальным с точки зрения затрат (дополнительных для производителя и эксплуатационных для потребителя). При этом следует исходить из того, что зазор должен обеспечивать свободное вращение шнекового вала, компенсировать возможные температурные деформации, геометрические погрешности формы сопрягаемых деталей и т.д. Например, при $\varnothing 50_{q11}^{h11}$ минимальный гарантированный зазор составит 0,009 мм. Поскольку при механической обработке деталей настройку режущего

инструмента часто осуществляют на середину поля допуска на размер, то этот зазор (вероятно) может составить 0,139 мм. В таком зазоре измельчаемый продукт не будет застревать и не будут расти эксплуатационные затраты потребителя (пользователя).

Другой важной эксплуатационной характеристикой измельчителя пищевых продуктов является конструктивное оформление режущих лезвий ножей – неподвижной решетки с рабочим отверстием и подвижного крестообразного ножа, на лопастях которого расположены режущие кромки.

Заметим еще раз, что режущие элементы деталей измельчителей имеют режущие кромки и лезвия. Лезвие представляет собой клинообразный элемент ножа для проникновения в измельчаемый продукт, в частности, в мясо, и отделение слоя (кусочков мяса, оказавшихся в отверстиях решетки). В результате пересечения передних и задних поверхностей лопасти ножа образуется кромка в виде прямой или кривой линии.

Исследования, выполненные нами на мясоперерабатывающем комбинате, свидетельствует о том, что наиболее энергоэффективной формой лопастей подвижных ножей во всех поперечных сечениях является форма классического клина (не трапеции, параллелограмма и т.п.) с оптимальным углом β заострения [4].

Кроме того, режущее лезвие в рабочем отверстии решетки, образованное пересечением плоской и круглой цилиндрической поверхностями, имеет угол заострения $\beta=90^\circ$, что представляет собой, с технологической точки зрения, достаточно простое и наиболее распространенное явление. Если рассматривать лопасть ножа как объект, вращающийся с равномерной скоростью, то на нее действуют силы трения и давления, возникающие между измельчаемым продуктом и лопастью; силы трения между вращающейся лопастью и решеткой; силы резания,

приложенные к режущей кромке; сила, преодолевающая все силы сопротивления, препятствующие вращению лопасти с равномерной скоростью. Кроме того, на лопасть объективно действуют и реактивные силы.

Результаты анализа литературных данных и собственных исследований свидетельствуют о том, что, с точки зрения энергоэффективности, чем меньше угол заострения вершины режущего лезвия, тем потребная мощность на измельчение пищевого продукта, при прочих равных условиях, меньше [5]. Предлагается этот угол заострения делать в пределах $\beta = 6 \dots 8^\circ$. Однако в производственных условиях ножи с такими углами заострения, в некоторых случаях, создают дополнительные эксплуатационные трудности, связанные с необходимостью их периодической переточки, возникновением вибраций и т.д.

Мощность, непосредственно затрачиваемая на реализацию процесса измельчения исходного продукта, в технической литературе называется эффективной мощностью [6]. Если при измельчении исходного продукта направление действующей силы F , приложенной к режущей кромке режущего лезвия лопасти подвижного крестообразного ножа, и скорости V совпадают, то эффективную мощность измельчения можно определить по формуле:

$$N = \frac{F \cdot V}{60}, \quad (1)$$

где N – мощность, потребная на измельчение, кВт; F – суммарная сила, приложенная к режущим кромкам, кН; $V = 10^{-3} \pi D n$ – скорость вращения лопасти, м/мин; D – диаметр окружности, проходящей по периферийным точкам лопастей подвижного ножа, мм; n – частота вращения подвижного ножа, об/мин.

Для решения ряда теоретических и практических задач, например, для определения мощности, затрачиваемой на измельчение, крутящего момента, передаваемого зубчатыми колесами от электродвигателя до выходного вала, соединенного с шнековым валом через муфту или без него, определения упругих деформаций лопастей крестообразных подвижных ножей, требуется знание как значения силы, действующей на режущую кромку F , так и направления ее действия. Вычислять значения силы F по размерам контактных площадок на режущем лезвии и распределенному по режущей кромке неравномерному (или равномерному) давлению сложно и трудоемко.

Экспериментально с достаточной точностью можно определить мощность, потребную на измельчение любого пищевого продукта. При этом надо иметь в виду, что основными источниками препятствий рабочему движению лопастей являются:

- резание измельчаемого продукта на части;
- наличие сил трения между измельчаемым продуктом и контактными поверхностями деталей механизма измельчения;
- дополнительная информация отрезанных кусочков, связанная с временной потерей их формы.

Эффективная мощность измельчения, измеренная ваттметром и рассчитанная по формуле (1) складывается из:

- мощности, потребной для преодоления сил трения от электродвигателя до предохранительной муфты - № 1 (определяется ваттметром на холостом ходу без измельчительной насадки);
 - мощности, потребной на преодоление сил трения в механизме измельчения - № 2 (определяется на холостом ходу с измельчительным механизмом);
-

- мощности, потребной на резание измельчаемого продукта № 3 (определяется в процессе измельчения ваттметром и простых расчетов);

- мощность, потребной на преодоления сил трения между измельчаемым продуктом и контактными поверхностями деталей измельчительного механизма - № 4.

Определение № 4 представляет больше трудности. В первом приближении № 4 можно определить, пропуская повторно через измельчительную насадку уже измельченный продукт. В этом случае можно предположить, что не будет происходить дальнейшее измельчение продукта, т.е. режущие кромки ножей не будут испытывать нагрузку.

Выполненные исследования и расчеты показывают, что самой энергоэффективной формой лопасти подвижного ножа является форма классического клина во всех поперечных сечениях с углом заострения при вершине не более 6-8° [7]. При этом производственники опасаются, что упругие деформации лопастей подвижных ножей могут стать чрезмерными, возникнут проблемы с многократными переточками в процессе их эксплуатации.

Если предположить, что вся мощность, определенная по формулам $N_p = \frac{F_{рез} \cdot V}{60}$, тратится на измельчение (разрезание) продукта, легко определить $F_{рез}$.

Можно воспользоваться данными, приведёнными в работе [8], где усилия, отнесенные к длине режущей кромки, при измельчении следующие (н/см):

для моркови – 14-16; капусты – 10-12; лука – 17-18; парного мяса – 50-80; вареного – 27-50; мороженого – 230-300; сала – 100-150.

Не оспаривая достоверность приведенных данных, нам представляется, что усилия, отнесенные к длине режущей кромки при измельчении парного мяса, занижены (50...80 н/см). Кроме того, при определении удельной нагрузки на режущей кромке, важно знать, мясо какого животного измельчалось (кастрированного или не кастрированного быка, барана, козы, буйвола, коровы, теленка и т.д.). Если у перерабатывающего предприятия нет своей скотобойни, то оно не имеет возможности перерабатывать парное мясо, а размороженное мясо, при прочих равных условиях, характеризуется большими усилиями, потребными на разрезание (измельчение). Измельчение мяса некастрированного быка является наиболее энергозатратным, особенно в тех случаях, когда он содержался не на привязи [9].

Кстати, мясо такого быка обычно не продается через розничную торговую сеть, так как оно имеет плохой товарный вид и характеризуется низкими вкусовыми качествами. Поэтому такое мясо подвергается измельчению и используется при производстве низкосортных колбасных изделий со специями (соли, перца, чеснока и т.д.).

Выполненные исследования показали, что усилия, отнесенные к длине режущей кромки лопасти подвижного ножа при измельчении такого мяса, составили около 90 н/см. А какова будет величина упругой деформации лопасти подвижного ножа при такой нагрузке?

Величину упругой деформации (прогиба, отжатия) можно определить, если принять лопасть ножа за консольную балку, защемленную на одном конце, тогда:

$$f = \frac{F_{рез} \cdot l^3}{3EI}, \quad (2)$$

где f – величина прогиба лопасти, измерения на периферийной точке, м; $F_{рез}$ – результирующая сила, приложенная к периферийной точке лопасти,

H ; l – длина лопасти, м; $E = 2 \cdot 10^{11}$ – модуль упругости материала лопасти, Па;
 $I = \frac{h \cdot b^3}{48}$ – момент инерции, м⁴.

Поскольку мы полагаем, что лопасть во всех поперечных сечениях должна иметь форму классического клина, то это не что иное, как равнобедренный треугольник, тогда h – высота равнобедренного треугольника, м; b – основание равнобедренного треугольника, м.

Если диаметр окружности, проведенной через периферийные точки лопастей подвижного ножа, принять равной $\varnothing 45$ мм, то длина балки $l=22,5$ мм, длина режущей кромки $l_1=16$ мм (размеры лопастей подвижного ножа бытового измельчителя продуктов). При условиях, отнесенных к длине режущей кромки 80 н/см [10], результирующая сила $F_{рез}$, приложенная к периферийной точке лопасти соответствия 128 Н.

Если размеры лопасти, имеющего во всех поперечных сечениях форму равнобедренного треугольника (форму классического клина), то при $\beta=12^\circ$, $h=10$ мм и $b=2,102$ мм. Тогда упругая деформация лопасти будет определена как:

$$f = \frac{128 \cdot 0,0225^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} (0,01 \cdot 0,002102^3 / 48)} = 0,001255883 \text{ м} = 1,3 \text{ мм}$$

Такая деформация чрезмерная, поэтому следует изменить поперечные размеры лопасти, например, при $\beta=16^\circ$, $h=15$ мм и $b=4,215$ мм. В этом случае величина упругой деформации составит около 0,1 мм. Такая деформация находится в пределах допустимой величины.

Поскольку ножи за период своей эксплуатации подвергается нескольким переточкам, то у лопасти с такими размерами нет запаса слоя, удаляемого при переточке.

Поэтому, не увеличивая ширину лопастей и не предусматривая на них ребра жесткости, следует увеличивать угол заострения при вершине

режущего лезвия, например, $\beta=35^\circ$. Тогда, при $h = 15$ мм, основание равнобедренного треугольника будет $b = 9,651$ мм и упругие деформации в конце лопасти составят $f = 1,3$ мкм. При переточках слой металла, как правило, снимается с поверхности лопасти, обращенной к решетке. Если при каждой переточке удалять слой металла толщиной $0,1 \dots 0,3$ мм, то нож может перетачиваться несколько раз, практически сохраняя свою жесткость. Кроме того, в процессе измельчения пищевого продукта следует следить за остротой режущих лезвий ножей. Сначала происходит постепенное скругление (округление) режущей кромки, невидимое простым глазом, но заметное через микроскоп. Радиус скругления (округления) у вновь заточенных (переточенных) ножей (в зависимости от зернистости абразивного инструмента, используемого при заточке-переточке) находится в пределах $\rho=10 \dots 20$ мкм. Перед тем, как ножи должны быть переточены, радиус скругления на режущих лезвиях достигают $\rho=80 \dots 100$ мкм. Измельчение исходного пищевого продукта начинает (частично) происходить посредством перетирания, что отрицательно сказывается на качестве конечного продукта. Измельчение должно происходить посредством резания, а не перетирания (измельчаемый продукт не должен терять сок).

А какой критерий затупления режущих лезвий ножей следует принимать в производственных условиях? В производственной обстановке желательно иметь объективные и легко наблюдаемые показатели затупления, не требующие доведения ножей до полного износа. Принимать решение о необходимости переточки ножей по величине радиуса ρ скругления режущих лезвий сложно и неудобно. В некоторых случаях переточку ножей осуществляют между сменами, т.е. после непрерывной эксплуатации в течение нескольких смен.

Отправление ножей на переточку после двух-трех и более целочисленных смен непрерывной работы будет создавать определенные неудобства, так как различные материалы, используемые для изготовления ножей, обладают разной износостойкостью и «способностью держать режущую кромку». Например, высококачественная сталь марок У7А-У13А, отличается от качественной стали более низким содержанием серы, фосфора и марганца и большей чистотой по неметаллическим включениям, вследствие чего ножи из такой стали меньше выкрашиваются в тонкой режущей кромке при шлифовании и эксплуатации, а лучшим материалом, с точки зрения износоустойчивости, является сталь износоустойчивая ШХ15 (ГОСТ 801-78 Сталь подшипниковая. Технические условия) или сталь ШХ15СГ дополнительно легированная кремнием и марганцем.

Экспериментально подтверждено, что ножи следует перетачивать тогда, когда мощность, необходимая на измельчение пищевого продукта, станет больше на 10-15% по сравнению с мощностью, потребной вновь заточенным ножам. Такой критерий хорошо согласуется с результатами контроля качества измельчения пищевого продукта, выполненного технологами.

Литература

1. Лакирбая И.Д., Елисеева Т.П. Управление производственной программой крупного промышленного предприятия при инновационном развитии и технологической модернизации // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2356
2. Горбашко Е. А. Управление качеством. - М.: Юрайт, 2016. - 463 с.
3. Зеленцов Л.Б., Иванова Н.Н., Севян И.К. Управление качеством как фактор успеха предприятия в конкурентной борьбе // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2121

4. Исламова, О.В., Токов А.З., Атаева Ф.А. Энергоэффективность - важнейший показатель качества пищевых измельчителей // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2019. - Том 81, № 1. - С. 56-63.

5. Соловьёв О. В. Мясоперерабатывающее оборудование нового поколения. Справочник. - М.: ДеЛи принт, 2010. - 470 с.

6. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. - М.: Машиностроение, 1975.- 311 с.

7. Ataev, P.L., Islamova O.V., Tokov A.Z. Selection of the Optimum Grinding Angle for Knives for Meat Grinders by Computer Simulation of the Stress-Strain State // 2018 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS). - 2018. - P. 412-414.

8. Batyrov, U.D., Ataev, P.L., Islamova O.V., Tokov A.Z. Kardanov T.H. Upgraded Rotary Cross-shaped Food Shredder. // 2017 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and MQ and IS 2017. - 2017. - pp. 301-303.

9. Заяс Ю.Ф. Качество мяса и мясопродуктов. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. -480с.

10. Даурский А.Н., Мачихин Ю.А. Резание пищевых материалов. Теория процесса, машин, интенсификация. - М.: Пищевая промышленность, 1980.- 240 с.

References

1. Lakirbaya I.D., Eliseeva T.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2356

2. Gorbashko E. A. Upravleniye kachestvom [Quality Management]. M.: Yurayt, 2016. Pp. 463.
3. Zelentsov L.B., Ivanova N.N., Sevyan I.K. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2121
4. Islamova, O.V., Tokov A.Z., Ataeva F.A. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzheneryh tekhnologij. 2019. Tom 81, № 1. pp. 56-63.
5. Solov'ev O. V. Myasopererabatyvayushcheye oborudovaniye novogo pokoleniya.Spravochnik [Meat processing equipment of a new generation. Directory]. M.: DeLi print, 2010. P. 470.
6. Reznik N.Ye. Teoriya rezaniya lezviyem i osnovy rascheta rezhushchikh apparatov [The theory of cutting with a blade and the basics of calculating cutting devices]. M.: Mashinostroyeniye, 1975. P.311.
7. Ataev, P.L., Islamova O.V., Tokov A.Z. 2018 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS). 2018. pp. 412-414.
8. Batyrov, U.D., Ataev, P.L., Islamova O.V., Tokov A.Z. Kardanov T.H. 2017 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and MQ and IS 2017. 2017. pp. 301-303.
9. Zayas YU.F. Kachestvo myasa i myasoproduktov [The quality of meat and meat products]. M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1981. P.480.
10. Daurkiy A.N., Machikhin Y.A. Rezaniye pishchevykh materialov. Teoriya protsessa, mashin, intensivatsiya [Cutting food materials. Process theory, machines, intensification]. M.: Pishchevaya promyshlennost', 1980. P. 240.