

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ*

Ю.И. ПОДГОРНЫЙ, доктор техн. наук, профессор
Т.Г. МАРТЫНОВА, ассистент
В.Ю. СКИБА, доцент, канд. техн. наук
В.Н. ПУШНИН, аспирант
Н.В. ВАХРУШЕВ, магистрант
Д.Ю. КОРНЕВ, магистрант
Е.К. ЗАЙЦЕВ, магистрант
 (НГТУ, г. Новосибирск)

Поступила 4 июля 2013 года

Рецензирование 26 августа 2013 года

Принята к печати 5 сентября 2013 года

Скиба В.Ю. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
 Новосибирский государственный технический университет,
 e-mail: skeeba_vadim@mail.ru

Разработана методика проектирования смесителей непрерывного действия, позволяющая определять основные параметры технологических машин для перемешивания сыпучих материалов. Методика включает определение нагрузки на рабочие органы смесителей, нагрузки, приведенной к валу электродвигателя, мощности, необходимой для осуществления технологического процесса. В соответствии с данной методикой проведены расчеты основных технико-эксплуатационных параметров двухвального смесителя непрерывного действия для макаронного теста. По результатам расчетов построены графические зависимости приведенной нагрузки к валу электродвигателя, времени технологического процесса, производительности и мощности от частоты вращения рабочих органов. Методика позволяет на основе уточненных значений нагрузок на месильные лопадки от внешних механических воздействий модернизировать существующие смесители с возможностью увеличения их производительности до 60 % за счет повышения частоты вращения рабочих органов.

Ключевые слова: методика проектирования, лопастной смеситель, сыпучие материалы, технологическая нагрузка, рабочий орган.

Введение

На отечественных предприятиях в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства насчитывается множество наименований технологического оборудования, предназначенного для приготовления различных смесей. При этом наиболее часто применяются лопастные смесители, которые по сравнению с барабанными, шнековыми и прочими обладают в большей мере возможностью управления процессом смешивания, универсальностью, высокой производительностью, быстрой и несложной переналадкой для работы с различными сыпучими материалами [1, 2, 3]. Повышение производительности таких смесителей возможно при увеличении геометрических параметров рабочей камеры (длины, ширины), при повышении скорости движения исполнительных механизмов,

а также при сокращении времени простоев оборудования по технологическим и техническим причинам. Однако во время простоев перемешивающего оборудования смеси изменяют свои свойства, в результате нагрузка на рабочие органы со временем значительно увеличивается. Для снижения пусковых моментов перед повторным запуском смесителя возникает необходимость освободить рабочую камеру от находящейся в ней смеси, что связано с дополнительными затратами времени и возможными потерями сырья. Следует также отметить, что увеличение геометрических параметров и скоростных режимов рабочих валов предъявляет повышенные требования к их уравновешенности [4, 5].

В связи с вышеизложенным цель данной работы заключается в разработке методики проектирования лопастных смесителей для сыпучих материалов.

* Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А «Проектно-исследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин»).

Теория

Разработана методика проектирования смесителей для получения сыпучих материалов (макаронного теста) (рис. 1), включающая в себя определение нагрузок на рабочий орган от внешних механических воздействий, приведенных к ведущему валу; расчет времени разгона механизма в зависимости от изменения нагрузок за время простоев; уравнивание рабочего вала с учетом точности изготовления его элементов. В части определения нагрузок методика включает в себя три блока: 1 – задаваемые параметры; 2 – параметры, определяемые по известным методикам [6, 7]; 3 – параметры, определяемые по экспериментальным данным и уточняющие методику (предложение авторов).

Значения нагрузки от внешних механических воздействий на каждую лопатку получали с использованием аналитических зависимостей, описывающих графики на рис. 3–6.

Учитывая рассчитанное время перемешивания, выбирается скоростная характеристика рабочего органа. Сочетание этих двух параметров обеспечивает надлежащее качество теста и, следовательно, готовых изделий.

После того как были выбраны объем смеси, приходящейся на одну лопатку, углы установки лопаток, скорость движения рабочего органа, можно перейти ко второй части методики.

Для определения нагрузок от внешних механических воздействий, приведенных к ведущему валу, и потребной мощности необходимо выполнить следующие действия.

1. Составить расчетную схему (рис. 1) и определить исходные параметры, учитывая данные первой части методики.

2. Определить в соответствии с выбранными параметрами нагрузку на каждую лопатку [8, 9] по графикам или аналитическим зависимостям в соответствии с углом установки лопатки, количеством смеси, приходящейся на одну лопатку, и частотой вращения рабочего органа.

3. Определить суммарную нагрузку на каждый ряд лопаток на рабочем валу в соответствии с п. 2 данной методики и построить графики нагрузок на каждый ряд лопаток в зависимости от угла поворота рабочего вала.

4. Построить графики изменения суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла поворота вала.

5. Построить графики изменения суммарной нагрузки, приведенной к валу электродвигателя, в зависимости от угла поворота рабочего вала с учетом передаточного отношения привода.

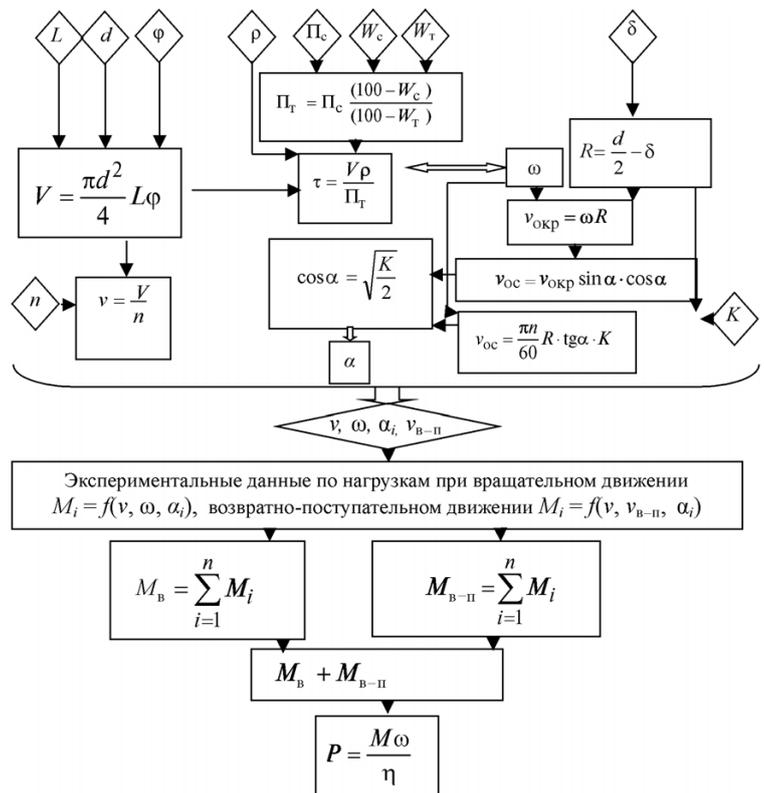


Рис. 1. Структурная схема методики проектирования смесителя:

ρ – плотность макаронного теста, кг/м³; W_c – влажность сухих изделий, %; W_t – влажность макаронного теста, %; L, d – длина и диаметр рабочей камеры, м; ϕ – коэффициент заполнения рабочей камеры; δ – величина зазора между стенкой рабочей камеры и концом месильной лопатки; n – количество месильных лопаток; V – объем смеси, одновременно находящейся в рабочей камере, м³; v – объем смеси, приходящейся на одну лопатку, м³; τ – время перемешивания смеси, мин; ω – угловая скорость рабочего вала, с⁻¹; R – расстояние от оси вращения рабочего вала до самой удаленной точки лопатки, м; $v_{окр}, v_{ос}$ – окружная и осевая скорости перемещения смеси, м/с; K – коэффициент объемной подачи смеси; n – частота вращения рабочего вала, мин⁻¹; α_i – угол разворота i -й лопатки, град; v_{B-II} – частота возвратно-поступательного движения рабочего вала, дв. ход./с; M_i – нагрузка на i -ю лопатку, Н·м; M_B – суммарная нагрузка на рабочие валы при их вращательном движении, Н·м; M_{B-II} – суммарная нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, Н·м; M – общая нагрузка на рабочие валы, Н·м; P – потребная мощность для осуществления процесса перемешивания, Вт; η – КПД передаточного механизма смесителя

6. Определить максимальную и минимальную нагрузки на вал электродвигателя с учетом КПД передаточного механизма, Н·м.

7. Определить в соответствии с выбранными параметрами нагрузку на одну лопатку по графикам или аналитическим зависимостям с учетом угла разворота лопатки, количества смеси, приходящейся на одну лопатку.

8. Определить суммарную нагрузку на каждый ряд лопаток на рабочем валу в соответствии с п. 6 данной методики и построить графики нагрузок на каждый ряд лопаток в зависимости от угла поворота рабочего вала.

9. Построить графики изменения суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота.

10. Построить графики изменения суммарной нагрузки, приведенной к валу электродвигателя, в за-

Углы разворота лопаток

- 70°
- 75°
- 80°
- 85°
- 90°
- 70°

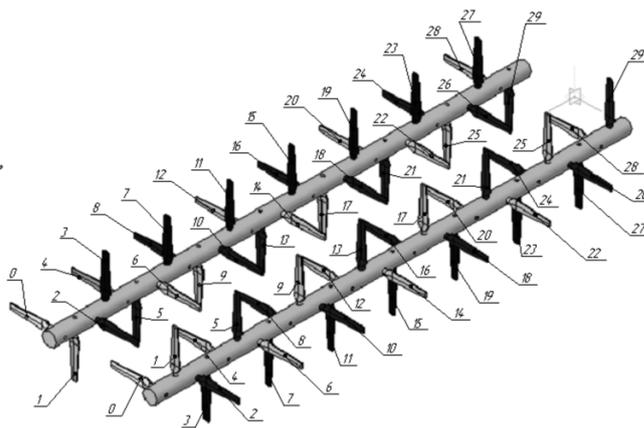


Рис. 2. Схема расположения месильных лопаток на рабочем валу тестомесителя (Braibanti)

висимости от угла поворота рабочего вала с учетом передаточного отношения.

11. Определить максимальную и минимальную нагрузки на вал электродвигателя с учетом КПД передаточного механизма, Н·м.

12. Определить общую нагрузку, приведенную к валу электродвигателя с максимально и минимально нагруженных валов, при вращательном и возвратно-поступательном движениях с учетом КПД передаточного механизма.

13. Рассчитать мощность, необходимую для осуществления технологического процесса при заданных режимах.

Результаты

В соответствии с предложенной методикой были проведены расчеты основных параметров двухвального смесителя непрерывного действия: нагрузок от внешних механических воздействий на рабочие органы смесителя, приведенных нагрузок к валу электродвигателя; мощности, необходимой для осуществления технологического процесса для планируемых режимов (при планируемом режиме I – частота вращения рабочего вала составит 90 мин^{-1} , при планируемом режиме II – 120 мин^{-1}).

На первом этапе расчеты проводились для вращательного движения рабочего органа смесителя. В соответствии с выбранными параметрами была определена нагрузка на одну лопатку при заданных углах установки α . В соответствии с нагрузками на одну лопатку были получены значения суммарных нагрузок на каждый ряд лопаток на рабочем валу (рис. 2).

На основании полученных данных были построены графики изменения суммарных нагрузок на каждый ряд лопаток в зависимости от угла поворота рабочего вала (рис. 3); графики изменения суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота (рис. 4).

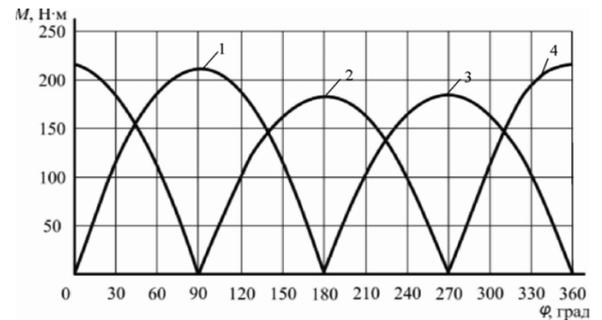


Рис. 3. Изменение нагрузок на ряды лопаток в зависимости от угла поворота рабочего вала при существующем режиме: 1, 2, 3, 4 – нагрузки на соответствующие ряды лопаток

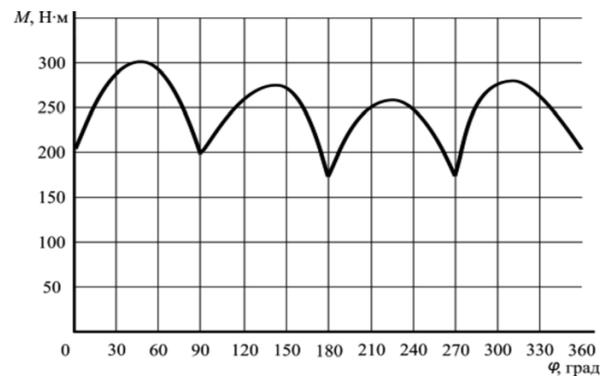


Рис. 4. Изменение нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота при существующих режимах

В заключение были построены графики приведенной к валу электродвигателя суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота (рис. 5).

На втором этапе расчеты проводились для возвратно-поступательного движения рабочего органа смесителя. В соответствии с выбранными параметрами были определены нагрузки на одну лопатку при заданном угле установки лопатки α . В процессе исследований выявлено, что частота возвратно-поступательного движения в исследуемом диапазоне

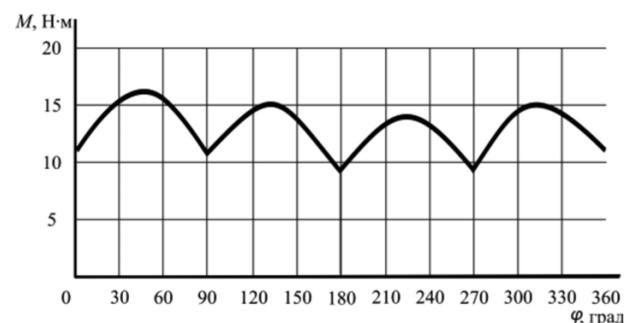


Рис. 5. График изменения суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота при существующих режимах

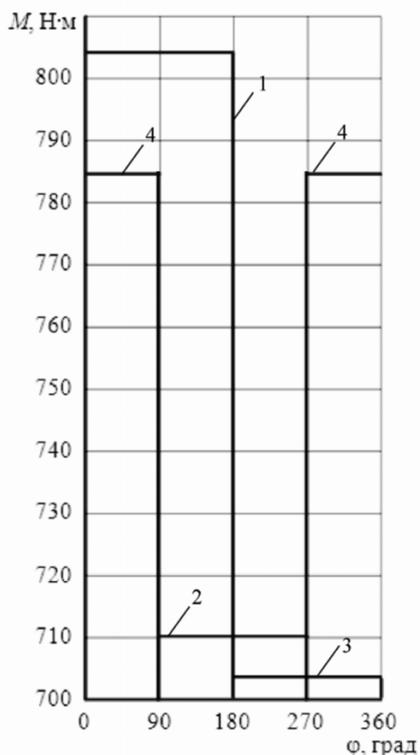


Рис. 6. Изменение нагрузки на ряды лопаток в зависимости от угла поворота рабочего вала: 1, 2, 3, 4 – нагрузки на соответствующие ряды лопаток

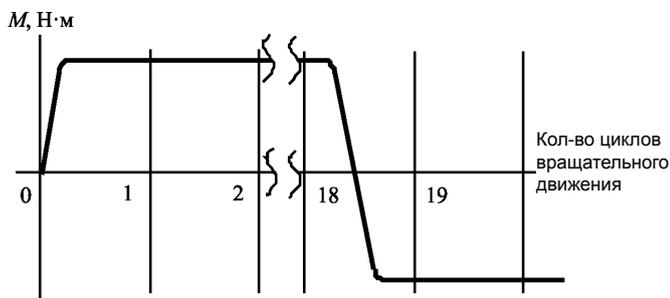


Рис. 7. Типовая картина изменения нагрузки на лопатку

не оказывает влияния на нагрузочные характеристики, а зависит только от углов их установки и объема смеси.

Используя нагрузки, приходящиеся на одну лопатку, были получены значения суммарных нагрузок на каждый ряд лопаток на рабочем валу, и построены графики суммарных нагрузок на каждый ряд лопаток в зависимости от угла поворота рабочего вала для существующего и планируемых режимов (рис. 6). Характер их изменения обусловлен тем, что за один двойной ход рабочего вала он может совершить более 36 циклов вращательного движения (1 цикл = 1 оборот = 360°), максимальная нагрузка на лопатку от внешних механических воздействий при возвратно-поступательном движении приходится на часть циклов (рис. 7, циклы 2–18). Таким образом,

для дальнейших расчетов принимаются постоянные значения нагрузок для каждого ряда лопаток. Далее были построены графики суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота (рис. 8). С учетом полученных значений были построены графики приведенной к валу электродвигателя суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота (рис. 9)

Следующий этап заключался в определении нагрузки, приведенной к валу электродвигателя, и мощности, необходимой для осуществления технологического процесса, при вращательном и возвратно-поступательном движении.

Суммарная нагрузка с двух валов, приведенная к валу электродвигателя, будет составлять 46,36 Н·м. Таким образом, мощность, необходимая для осуществления технологического процесса с учетом КПД передаточного механизма, составляет 7,04 кВт.

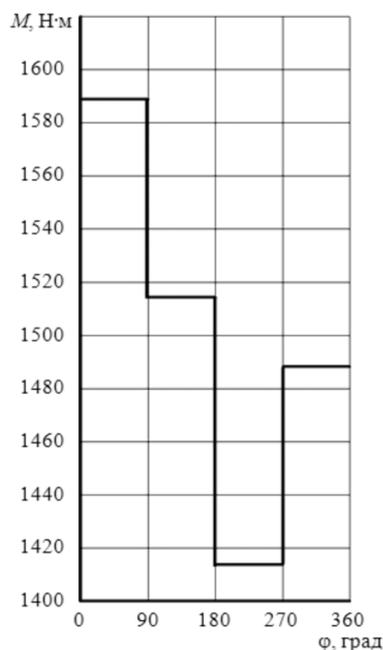


Рис. 8. Изменение нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота

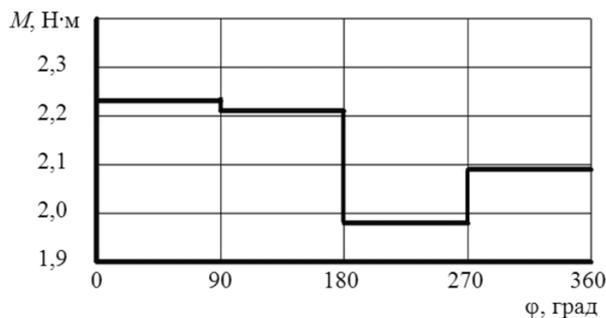


Рис. 9. График изменения суммарной нагрузки на рабочий вал, в зависимости от угла его поворота при существующем режиме

В результате проведенных расчетов основных параметров двухвального смесителя автоматической линии Braibanti, эксплуатируемой на Новосибирской макаронной фабрике [10], при существующих (частота вращения рабочих органов $74,6 \text{ мин}^{-1}$) и планируемых (частота вращения рабочих органов 70; 80; 90; 100; 110; 120 мин^{-1}) режимах получены графические зависимости, представленные на рис. 10.

Данные графики позволяют определять нагрузку, приведенную к валу электродвигателя, производительность, мощность электродвигателя и время замеса в зависимости от частоты вращения рабочих органов для двухвального смесителя при частоте вращения от 70 до 120 мин^{-1} , значения за пределами предложенного диапазона можно получить методом экстраполяции. Для смесителей с другими исходными параметрами необходимо проводить расчеты по данной методике.

Выводы

Разработана методика проектирования лопастных смесителей, позволяющая определять уточненные значения суммарных нагрузок на рабочие органы смесителя; нагрузки, приведенной к ведущему валу смесителя; мощности, необходимой для осуществления технологического процесса.

Установлено, что предложенная методика позволяет на основе уточненных значений нагрузок на месильные лопатки от внешних механических воздействий модернизировать существующие смесители с возможностью увеличения их производительности до 60 % за счет повышения частоты вращения рабочих органов.

Список литературы

1. Демин О.В. Анализ работы различных видов смесителей сыпучих материалов периодического действия [Текст] / О.В. Демин // Труды НГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов: Изд-во Тамбовский гос. техн. ун-та, 2001. – Вып. 8. – С. 109–114.
2. Першин В.Ф. Расчет одновального лопастного смесителя сыпучих материалов [Текст] / В.Ф. Першин, О.В. Демин // Научно-технический прогресс в инженерной сфере АПК России – проблемы развития машинных технологий и технических средств производства сельскохозяйственной продукции: Тез. докл. 11 междунар. науч.-практ. конф. – М.: ВИМ, 2002. – Т. 142, ч. 2. – С. 18–23.
3. Васильева М.А. Влияние физико-механических свойств сыпучих материалов на оптимальный выбор сме-

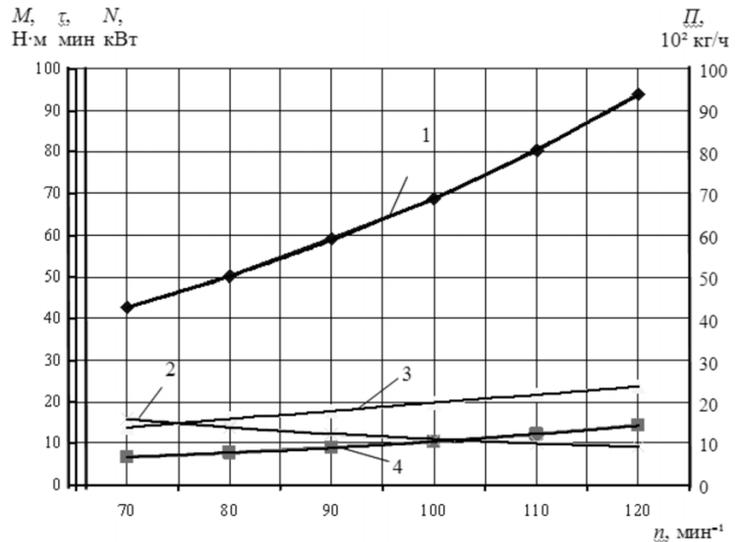


Рис. 10. Взаимосвязь технико-эксплуатационных параметров:

- 1 – нагрузка, приведенная к валу электродвигателя, Н·м; 2 – время технологического процесса, мин; 3 – производительность, 10^2 кг/ч ; 4 – мощность, необходимая для осуществления технологического процесса при заданных параметрах, кВт

сительного устройства [Текст] / М.А. Васильева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург, 2002. – 8 с.

4. ГОСТ 22061-76. Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки [Электронный ресурс]. – М., 1993. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/10/10030/>

5. Гусаров А.А. Балансировка роторов машин. В 2 кн. Кн. 1. [Текст] / А.А. Гусаров; отв. ред. С.М. Каплунов; Ин-т машиностроения им. А. А. Благоднарова. – М., 2004. – 267 с.

6. Чернов М.Е. Справочник по макаронному производству [Текст] / М.Е. Чернов, Г. М. Медведев, В.П. Негруб. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1984. – 304 с., ил.

7. Драгилев А.И. Технологическое оборудование: хлебопекарное, макаронное и кондитерское [Текст] / А.И. Драгилев, В.М. Хроменков, М.Е. Чернов. – М.: Академия, 2004. – 432 с.

8. Мартынова Т.Г. Экспериментальные исследования нагрузочных характеристик смесителя [Текст] / Т.Г. Мартынова, Ю.И. Подгорный, С. В. Птицын // Научный вестник НГТУ. – 2011. – № 2 (43). – С. 183–188.

9. Мартынова Т.Г. Исследование удельного сопротивления перемешиванию макаронного теста [Текст] / Т.Г. Мартынова, С. В. Птицын, А.В. Горбунов // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – № 3 (53). – С. 113–116.

10. Подгорный Ю.И. Исследование состояния автоматической линии по выборке макаронных изделий BRAIBANTI на ОАО «Новосибирская макаронная фабрика» [Текст] / Ю.И. Подгорный, С. В. Птицын, Т.Г. Мартынова // Сборник научных трудов НГТУ. – 2004. – № 1 (35). – С. 15–18.



Obrabotka metallov

N 3 (60), July–September 2013, Pages 68-73

Determination of the main parameters of the processing equipment

Yu.I. Podgornyj, T.G. Martynova, V.Yu. Skeebea, V.N. Pushnin, N.V. Vahrushev, D.Yu. Kornev, E.K. Zaycev

Novosibirsk State Technical University, Prospekt K. Marksa, 20,

Novosibirsk, 630073, Russia

E-mail: skeebee_vadim@mail.ru

Abstract

The design technique of the continuous mixers, allowing to define the basic parameters of production machines for mixing bulk solids is developed. The technique includes determining the load on the driven element mixers, the load given to the motor shaft, the power required to perform the process. In accordance with this technique the calculations of basic technical and operational parameters of a two-shaft continuous mixer for pasta are conducted. The calculations are constructed a graph of reduced load to the motor shaft, processing time, power and performance of the speed of working. The technique allows to upgrade existing mixer with the possibility of increasing their performance up to 60% by increasing the speed of driven element, using the revised values of the loads on the kneading blade from external mechanical influences.

Keywords: design technique, cut, paddle blade-type mixing machine, bulk solids, load, driven element

References

1. Demin O.V. *Analiz raboty razlichnyh vidov smesitelej sypuchih materialov periodicheskogo dejstvija* [The analysis of the various types of mixers bulk material batch]. *Sbornik nauchnyh statej molodyh uchenyh i studentov "Trudy TSTU"* [Collection of scientific papers of young scientists and students "Transaction of TSTU"]. Tambov, TSTU, 2001, Iss. 8, pp. 109–114.
2. Pershin V.F., Demin O.V. *Raschet odnoval'nogo lopastnogo smesitelja sypuchih materialov* [Calculation of single-shaft paddle mixer bulk materials]. *Tezisy dokladov 11 mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Nauchno-tehnicheskij progress v inzhenernoj sfere APK Rossii – problemy razvitiya mashinnyh tehnologij i tehniceskikh sredstv proizvodstva sel'skohozjajstvennoj produkcii"* [Theses of reports 11th International Scientific and Practical Conference "Scientific and technical progress in the field of agriculture engineering Russia - the problems of machine technologies and technical means of agricultural production"]. Moscow, VIM, 2002, Vol. 142, part. 2, pp. 18–23.
3. Vasil'eva M.A. *Vlijanie fiziko-mehaniceskikh svoystv sypuchih materialov na optimal'nyj vybor smesitel'nogo ustrojstva* (Influence of physico-mechanical properties of bulk materials for the optimal choice of mixing device). Orenburg, OSU, 2002. 8 p.
4. *GOST 22061-76. Mashiny i tehnologicheskoe oborudovanie. Sistema klassov tochnosti balansirovki* [State Standard 22061-76. Machines and technological equipment. Balance quality grade system], Moscow, Standartinform Publ., 1984. 136 p.
5. Gusarov A.A. *Balansirovka rotorov mashin* (Rotor balancing machines). Editor-in-chief. Kaplunov S.M. Moscow, Institute of Machines Science named after A.A. Blagonravov, 2004, In 2 books, Book 1. 267 p.
6. Chernov M.E., Medvedev G.M., Negrub V.P. *Spravochnik po makaronnomu proizvodstvu* (Handbook of pasta production). Moscow, Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1984. 304 s.
7. Dragilev A.I., Hromeenkov V.M., Chernov M.E. *Tehnologicheskoe oborudovanie: hlebopekarnoe, makaronnoe i konditerskoe* (Process equipment: baking, pasta and confectionery). Moscow, Akademija, 2004. 432 p.
8. Martynova T.G., Podgornyj Yu. I., Pticyn S.V. *Nauchnyj vestnik NSTU*, 2011, no. 2 (43), pp. 183–188.
9. Martynova T.G., Pticyn S.V., Gorbunov A.V. *Issledovanie udel'nogo soprotivlenija peremeshivaniju makaronnogo testa* (The study of resistivity mixing pasta dough). *Sbornik nauchnyh trudov NSTU*, 2008. no.3 (53), pp. 113–116.
10. Podgornyj Yu.I., Pticyn S.V., Martynova T.G. *Issledovanie sostojanija avtomaticheskoy linii po vyborke makaronnyh izdelij BRAIBANTI na OAO «Novosibirskaja makaronnaja fabrika»* (The study states the automatic line for a sample of pasta BRAIBANTI at JSC "Novosibirsk macaroni factory"). *Sbornik nauchnyh trudov NSTU*, 2004, no. 1 (35), pp. 15–18.