

УДК 621.8.028

Мудров А.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Alexmudrov42@rambler.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Способы интенсификации процессов в строительных технологиях

Аннотация

Приведены оригинальных примеры интенсификации в различных строительных технологиях, в частности, осуществляющих в механических устройствах перемешивание, например, в грохотах, классификаторах, гравимойках-сортировках. Предложено четыре группы воздействия на материал: однопериодная внутренняя, многопериодная внешняя, универсальная, импульсная. Интенсификация процессов достигается использованием инерционным регулируемым воздействием на обрабатываемый материал, осуществляемым пространственным модулем в трех модификациях: параллелограммном, промежуточном, антипараллелограммном исполнении. Группы воздействия используются как в известных, так и вновь проектируемых устройствах, имеют высокие технико-экономические показатели.

Ключевые слова. Однопериодная, многопериодная группы, пространственный модуль, импульсное устройство, пространственные механизмы.

Введение

В строительных технологиях режимы работы можно классифицировать на стационарные и нестационарные, например, процесс перемешивания материалов в смесителях (грохотах, классификаторах, гравимойках-сортировках).

При стационарном режиме работы эффективность процесса сравнительно низкая из-за наличия застойных зон в корпусе, где материал не перемещается, следовательно, не обрабатывается. Время процесса длительное, а качество выходного продукта неудовлетворительное, к тому же происходят большие затраты энергии [1, 2, 3].

Возникла необходимая потребность в изыскании новых прогрессивных решений, обеспечивающих существенное повышение технико-экономических показателей, как в известных, так и во вновь проектируемых устройствах, а также предусмотреть возможность использования решений в других процессах и технологиях.

В результате поиска решений удалось разработать следующие группы воздействия на обрабатываемый материал: однопериодная внутренняя, многопериодная внешняя, универсальная, импульсная.

Однопериодная группа воздействия на материал характеризуется тем, что рабочие лопасти в аппаратах с мешалкой или рабочий корпус-емкость смесителей приводят в действие нестационарным режимом работы [4]. Этот режим представлен графиком движения на рис. 1а.

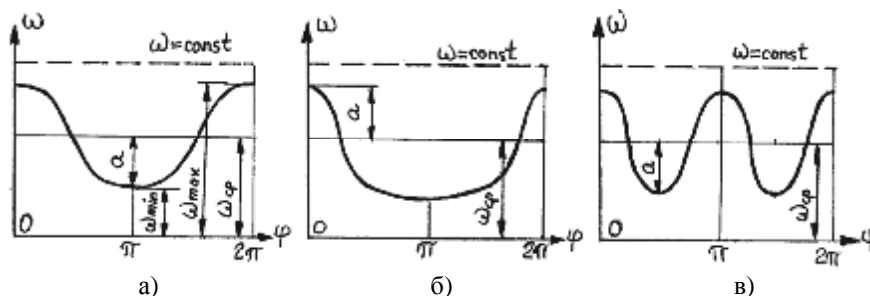


Рис. 1. Графики движения рабочих органов однопериодной группы воздействия

В качестве устройств, реализующих однопериодную внутреннюю группу воздействия, принят базовый модуль, который может быть в трех модификациях: по виду

параллелограмм, если углы лежат в разных квадрантах; антипараллелограмм, если углы лежат в одном квадранте; промежуточный, если угол $\alpha_2=90^\circ$.

Реализация нестационарного режима обеспечивается пространственным модулем параллелограммного исполнения. Модуль включает три подвижных звена и стойку (станину). Особенностью модуля является то, что подвижные звенья – два кривошипа, шатун, а также стойка имеют пространственное расположение осей шарниров, характеризующиеся углами α_1 , α_2 и длинами ℓ_1 , ℓ_2 между осями. Характер графика движения зависит от значения углов α_1 , α_2 и характеризуется максимальным ω_{\max} и минимальным ω_{\min} значением скорости и степенью неравномерности δ .

Максимальное значение ω_{\max} определяется выражением:

$$\omega_{\max} = \frac{\cos \alpha_1}{1 - \sin \alpha_1} \omega, \quad (1)$$

а минимальное ω_{\min} формулой:

$$\omega_{\min} = \frac{\cos \alpha_1}{1 + \sin \alpha_1} \omega, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость ведущего кривошипа (вала электродвигателя).

Степень неравномерности δ определяется формулой:

$$\delta = \pm 2 \frac{\sin \alpha_1 \sin \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1}. \quad (3)$$

В моменты, когда скорость вращения лопастей или корпуса смесителя принимает максимальное и минимальное значения максимальное и минимальное значение сил воздействия инерционных сил соответственно равны:

$$P_{\max} = mr \frac{\cos^2 \alpha_1}{(1 - \sin \alpha_1)^2} \omega^2, \quad P_{\min} = mr \frac{\cos^2 \alpha_1}{(1 + \sin \alpha_1)^2} \omega^2, \quad (4)$$

где m – масса материала на площади лопасти или масса материала в емкости, кг;

r – расстояние от оси вращения до центра масс материала, м.

С увеличением угла α_1 расположения осей шарниров кривошипов силы инерции возрастают в десятки и более раз.

На рис. 1б показан график, движение которого отличается от графика рис. 1а более изменчивыми показателями в большую сторону. Здесь будут больше значения максимальной и меньше значения минимальной скоростей, соответственно, и больше значения максимальной и меньше значения минимальной сил инерции, т.е. характер воздействия на материал имеет большую степень интенсификации.

Реализуется такой режим работы посредством пространственного модуля антипараллелограммного исполнения. Модули отличаются следующим.

У параллелограммного модуля углы α_1 и α_2 находятся в разных квадрантах (например, α_1 принимает значения в пределах $95-185^\circ$, а α_2 значения в пределах $5-85^\circ$, либо угол α_1 $5-185^\circ$, а угол α_2 в пределах $95-185^\circ$). Ведущий и ведомый кривошипы вращаются в одном направлении.

У антипараллелограммного модуля углы α_1 и α_2 находятся в одном квадранте, принимают значения либо в диапазоне $5-85^\circ$, либо в диапазоне $95-185^\circ$. В этом модуле кривошипы вращаются в разных направлениях.

В промежуточном типе модуля угол α_1 принимает значения в пределах $5-60^\circ$, а угол α_2 только значение 90° . По рабочим параметрам промежуточный модуль имеет средние показатели по отношению к показателям параллелограммного и антипараллелограммного модулей.

К однопериодному внутреннему режиму отнесено и воздействие на материал средними значениями максимальной и минимальной скоростей и сил инерции [5], а также движение рабочих элементов, изменяющихся по квазисинусоидальному закону [6].

Следующий вариант первой группы воздействия по дважды изменяющемуся закону представлен графиком, изображенным на рис. 1в [4]. Такое движение лопастей мешалки или корпуса смесителя способствует большей степени воздействия инерционных сил на обрабатываемый материал.

Однако реализовать этот вариант режима работы ни одним из трех типов модулей невозможно.

Для реализации данного варианта по заданному закону наиболее приемлемым будет один из шарнирно рычажных механизмов с особой структурой и имеющих только вращательные шарниры, поскольку они проще в изготовлении, надежнее и долговечнее других передаточно-преобразующих механизмов. В практическом использовании целесообразны модули с углами $\alpha_2=30, 45, 60$ и 90° , как наиболее технологичные в изготовлении, но при необходимости возможны модули и с другими углами [13, 14, 15].

Преобразующий механизм под дважды изменяющийся закон воздействия можно образовать объединением двух одинаковых модулей с равными звеньями. Соединяют два звена, две стойки и два шарнира в один, общие звенья отбрасывают, две стойки объединяют одним звеном. У механизма стало четыре подвижных звеньев-два кривошипа и два шатуна и неподвижное звено-стойка [12].

Многопериодная внешняя группа воздействия представлена несколькими вариантами исполнения. В основе вариантов этой группы положено последовательное увеличение частоты вращения лопастей или емкости смесителя, затем резкое уменьшение частоты до определенного значения [5].

Характер воздействия иллюстрируется графиками, где на рис. 2. представлен стационарный режим работы, а на рис. 3 – многопериодный внешний режим работы.

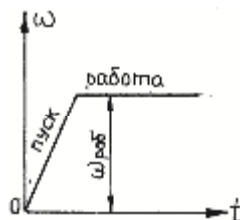


Рис. 2. График воздействия в известном режиме

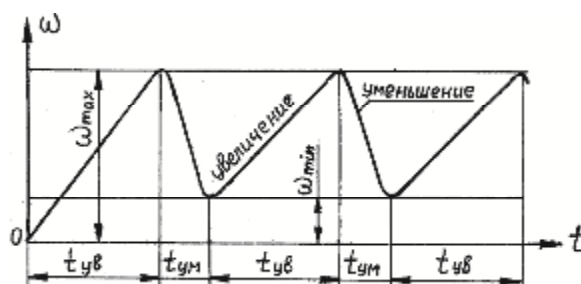


Рис. 3. График многопериодного внешнего режима работы

На графике рис. 2 видно, что воздействие, например, рабочих лопастей на перемешиваемые компоненты переменного только во время пуска устройства в работу, в этот период происходит активное смесеобразование, затем работа идет с постоянным воздействием и наступает ламинарный процесс, при котором в корпусе мешалки имеются зоны не участвующие в смесеобразовании. Процесс длится продолжительное время при неудовлетворительном качестве однородности смеси и повышенных энергозатратах. То же самое происходит и в емкости смесителей.

Многопериодный внешний режим работы (рис. 3) характеризуется тем, что вращение лопастей или емкости смесителей всегда переменное, при этом всегда происходит силовое переменное воздействие инерционных сил, которые обеспечивают турбулентный процесс смесеобразования. Однородность смеси достигается до требуемого значения за значительно меньшее время, уменьшаются и энергозатраты.

Как видно из графика, воздействие на материал идет по закону прямой линии до какого-то значения ω_{\max} . Продолжительность ($t_{ув}$) увеличения скорости до максимального значения зависит, например, от свойств перемешиваемой среды, объема емкости, типа и геометрии рабочего органа, типа емкости и наличия внутри перегородок, глубины воронки, энергозатрат и т.д. Для каждого конкретного случая ω_{\max} и $t_{ув}$ определяются экспериментально.

При таком режиме работы при увеличении скорости лопасти воздействуют на материал, а при снижении скорости перемешиваемый материал действует на лопасти и соседние слои потока и создает свое поле воздействия, причем это поле переменного направления.

В результате такого цикла взаимодействия рабочих органов и перемешиваемой средой всегда возникают переменные по величине и направлению инерционные силы, которые и создают хорошие условия для того или иного технологического процесса (перемешивание различных материалов, распределение взвешенных частиц в объеме жидкости или предотвращение их оседания, выравнивание температуры в объеме перемешиваемой среды, теплообмен, массообмен, мойка и очистка изделий и т.п.).

После увеличения-уменьшения скорости лопастей или емкости смесителей воздействие производят до достижения необходимого уровня готового продукта. Количество циклов определяется экспериментальным путем в каждом конкретном случае.

По другому варианту многопериодного внешнего режима работы вращения доводят до критической величины [8]. Под критической частотой вращения понимается такая частота, выше которой проводить процесс перемешивания нецелесообразно. Например, в аппаратах с мешалкой образуется воронка, глубина которой может достигнуть ступицы и самих лопастей, при этом перемешиваемая среда вытесняется к стенкам емкости и при открытой крышке она может выплескиваться из корпуса.

Значение $n_{кр}$ находят методом последовательных приближений, добиваясь такого положения, чтобы удовлетворялось условие $h_b < h_c$, здесь h_b – глубина воронки, h_c – высота уровня среды в спокойном состоянии до плоскости вращения мешалки.

После достижения критической частоты вращения лопастей производят снижение частоты до минимальной величины за меньшее в четыре раза времени увеличения. Воздействие в таком режиме проводят до готовности продукта по всем показателям качества.

Следующий вариант многопериодного внешнего режима заключается в том, что воздействие рабочих органов производят до частоты вращения выше критической, а затем уменьшают частоту за время в пять раз меньшее времени увеличения [9]. Такое соотношение времени цикла способствует более резкому проявлению инерционных составляющих как в направлении от источника воздействия к среде, так и обратное воздействие от среды к источнику, в этом случае увеличивается и общее движение среды во всех направлениях. Такое исполнение воздействия рабочих органов способствует интенсификации процесса смесеобразования, отвечающего всем требованиям конечного продукта.

Следует отметить, что в многопериодном внешнем режиме работы возможны различные варианты воздействия на обрабатываемый материал.

Суть четвертого варианта воздействия заключается в том, что вращение, например, лопастей проводят в два приема, увеличение вращения до критической частоты, замедление до 10-20 %, увеличение до критической, замедление до 40-50 % от критической частоты и далее цикл повторяется [10].

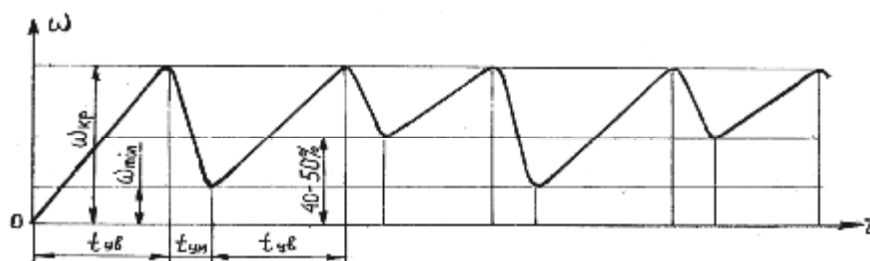


Рис. 4. График изменения частоты вращения четвертого варианта многопериодного режима

Сущность способа поясняется графиком рис. 4, где показаны изменения частоты вращения лопастей мешалки.

В отмеченных вариантах многопериодного внешнего режима работы регулирование частоты вращения лопастей или корпуса смесителей осуществляется известными способами.

У электродвигателей постоянного тока регулируют частоту, например, сопротивлением в цепи якоря или в цепи обмотки возбуждения.

У электродвигателей переменного тока регулируют автотрансформатором, двойной роторной обмоткой (двуклеточные), двигатели с глубоким пазом, переключением со звезды на треугольник.

Удобный способ регулирования частоты вращения вала электродвигателей постоянного и переменного токов посредством частотных преобразователей. Широко распространен, например, малогабаритный частотный преобразователь типа Prostar PR6100.

Третья группа воздействия на обрабатываемый материал – универсальная. Эта группа образуется объединением однопериодного внутреннего воздействия с многопериодным внешним воздействием.

Сущность этой группы воздействия иллюстрируется графиком рис. 5 изменения частоты вращения рабочих органов.

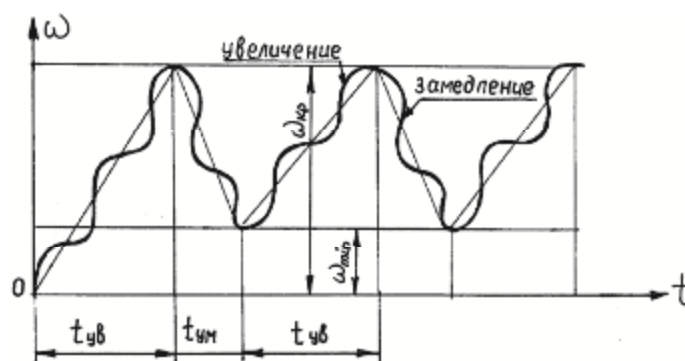


Рис. 5. Характер скорости универсального воздействия

Из графика рисунка видно, что частота вращения изменяется по условию однопериодного внутреннего воздействия и одновременно по условию многопериодного внешнего воздействия на обрабатываемый материал. Так, сначала частота вращения увеличивается до критического значения, затем идет уменьшение многопериодной частоты до минимального значения, затем цикл повторяется.

Следует отметить, что однопериодное изменение частоты как при увеличении, так и при уменьшении внешней скорости остается одинаковым на каждом из оборотов, т. е. для данного случая амплитуда однопериодного изменения постоянна на каждом обороте. При универсальных способах инерционные силовые импульсы от однопериодного изменения будут складываться с потоками перемешиваемой среды от многопериодного изменения, вовлекая тем самым в активное движение весь объем среды корпуса емкости и увеличивая тем самым интенсивность процесса. Реализация универсальных способов не составляет особой трудности. Для этого электропривод соединяется с исполнительным органом через передаточный пространственный механизм, обеспечивающий однопериодное изменение, а многопериодное изменение достигается регулированием частоты вращения электродвигателя известным способом.

Варианты объединения двух групп воздействия осуществляются в самых разных сочетаниях, всего можно образовать шестнадцать различных комбинаций, т.е. шестнадцать вариантов способов.

При перемешивании однопериодным внутренним, многопериодным внешним и универсальными способами воздействие на перемешиваемый материал осуществляется механическими устройствами, создающими силовое поле определенной величины. Однако такое поле охватывает весь объем корпуса емкости не сразу, а в течении какого-то времени. Сначала создается поток от непосредственного контакта рабочего органа со средой, затем последовательно слой за слоем приходят в движение остальные объемы среды, т.е. на смесеобразование требуется какое-то время.

Предложенный ниже способ перемешивания, импульсный может обеспечить процесс за очень малый промежуток времени [11].

Суть способа заключается в том, что перемешиваемый материал, помещенный в замкнутую емкость, подвергается импульсному силовому воздействию от любого источника, например, микровзрыва. В результате перемешиваемый материал в доли секунды приводится в объемное активное турбулентное движение, в корпусе при этом полностью отсутствуют застойные зоны.

Реализовать способ можно посредством замкнутой емкости, например, в виде полый оболочки 1 (рис. 6).

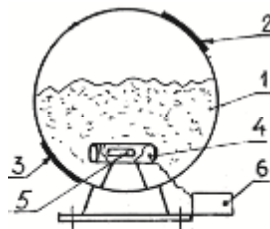


Рис. 6. Схема устройства

Внутри оболочки установлен импульсный силовой источник 4 с зарядным механизмом 5. Оболочка имеет люк 2 для загрузки материала и люк 3 для его выгрузки. Для осуществления управлением рабочим процессом установлено пусковое устройство 6.

При действии импульсного источника, например, микровзрыва происходит объемное движение компонентов, за счет шаровой формы внутренней поверхности оболочки происходят дополнительные многочисленные отражения частиц материала и их активное перемешивание.

Для реализации однопериодного внутреннего и многопериодного внешнего изменений частоты вращения по заданному закону подходят для наших целей шарнирно-рычажные механизмы, содержащие только вращательные шарниры, поскольку они проще в изготовлении, надежнее и долговечнее других передаточно-преобразующих механизмов [13, 14, 15].

При анализе способов однопериодного и многопериодного перемешивания материалов в аппаратах с мешалкой и смесителях выявлено эффективное применение их и в других разделах техники и технологий. Кратко отметим наиболее интересные случаи использования основ разработанных способов в других целях.

Использование способа для передвижения объекта – инерционный двигатель, для механизма привода крыла орнитоптера, в землеройной машине, в устройстве для погружения свай, в устройствах для тренировки вестибулярного аппарата, гребном устройстве, в устройстве для уплотнения грунта, в устройстве для плавсредств.

Выводы

1. Установлено, что существующий способ перемешивания материалов, осуществляемый в перемешивающих устройствах при постоянной угловой скорости рабочего органа не удовлетворяет требований многих технологических процессов, так как он длителен во времени, энергоемок и не обеспечивает высокой однородности смеси.

2. Разработано несколько оригинальных способов воздействия на материал, которые классифицированы по четырем группам: однопериодное внутреннее, многопериодное внешнее, универсальное и импульсное, защищенные девятью авторскими свидетельствами на изобретения.

3. Разработанные способы перемешивания основаны на использовании переменной частоты вращения рабочего органа и дополнительного инерционного воздействия на материал, применимы как в существующих устройствах, так и во вновь проектируемых.

4. Для реализации способов воздействия использованы новые пространственные механизмы с вращательными шарнирами с модулем в трех модификациях: параллелограммном, антипараллелограммном, промежуточном исполнениях.

5. Выявлена универсальность и широта использования новых групп воздействия в других разделах техники и технологий: мочных машинах, устройствах с направленным силовым воздействием (транспортные средства, устройства для уплотнения грунта,

устройствах для вытаскивания свай), устройствах для тренировки вестибулярного аппарата, смесителях-галтователях и т.д.

6. Предложенные способы интенсификации представляют собой широкий набор средств, для практической реализации во многих технологических строительных процессах.

Список библиографических ссылок

1. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах. – Л.: Химия, 1984. – 331 с.
2. Баранов Д.А., Вязьмин А.В., Гухман А.А. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Логос, 2000. – 478 с.
3. Процессы и аппараты химической технологии: Учеб. Пособие для вузов. / Под ред. А.А. Захаровой. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 528 с.
4. А.с. № 950216 (СССР). Способ протравливания и устройство для осуществления способа // Мудров П.Г., Мудров А.Г., Галиуллин Ш.Р. Оpubл. в Б.И. № 30, 1982.
5. А.с. № 898228 (СССР). Способ сушки сыпучих материалов // Мудров П.Г., Мудров А.Г., Галиуллин Ш.Р., Марданов Р.Ш. Оpubл. в Б.И. № 2, 1982.
6. А.с. № 1292832 (СССР). Способ механической обработки материалов // Мудров П.Г., Мудров А.Г., Гетманский А.П. Оpubл. в Б.И. № 8, 1987.
7. А.с. № 1590144 (СССР). Способ обработки изделий // Мудров П.Г., Мудров А.Г. Б.И. № 33, 1990.
8. А.с. № 1655353 (СССР). Способ протравливания зерна // Мудров А.Г., Мудров П.Г. Оpubл. в Б.И. № 22, 1991.
9. А.с. № 1706840 (СССР). Способ обработки поверхностей деталей // Мудров А.Г., Мудров П.Г. Оpubл. в Б.И. № 3, 1992.
10. А.с. № 1668343 (СССР). Способ перемешивания материалов // Мудров А.Г., Мудров П.Г., Буздаев В.В. Оpubл. в Б.И. № 29, 1991.
11. А.с. № 1658859 (СССР). Способ протравливания семян и устройство для его осуществления // Мудров А.Г., Мудров П.Г. Оpubл. в Б.И. № 24, 1991.
12. А.с. № 617058 (СССР). Устройство для перемешивания жидкостей // Мудров П.Г., Мудров А.Г. Оpubл. в Б.И. № 23, 1978.
13. Мудров А.Г. Механизм Беннетта и использование его в технике. – Казань: КГСХА, 1999. – 80 с.
14. Мудров А.Г. Пространственные механизмы с особой структурой (Исследование). – Казань: РИЦ «Школа», 2004. – 180 с.
15. Мудров А.Г. Пространственные механизмы с особой структурой. – Казань: РИЦ «Школа», 2003. – 300 с.

Mudrov A.G. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: Alexmudrov42@rambler.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The ways of intensification of processes of construction technologies

Resume

Given original examples of intensification in a variety of construction techniques, in particular, engaged in mechanical mixing devices, e.g., screens, classifiers, gravamina-sorts. The proposed four groups of exposure to material: the inner one-period, multi-periodic external, universal, impulse. Intensification is achieved by using an adjustable inertial effect on the treated material, the spatial module implemented in three versions: parallelogram, intermediate, antiparallel performance. In the analysis of single-period and multi-period methods of mixing materials in the apparatus with stirrer and mixers revealed the effective application of them in the other sections of engineering and technology. Briefly note the most interesting cases of the use of basic methods developed for other purposes. The use of the method for moving object –

inertia motor, the drive mechanism of the wing of the ornithopter, in the digging machine, the device for piling in devices for training of the vestibular apparatus, the rowing device, the device for compacting soil, the device for boats. Group exposure used in known or newly designed devices has high technical and economic indicators.

Keywords: single-period, multi-period group, the spatial module, a switching device, the spatial mechanisms.

Reference list

1. Braginsky L.N., Bogachev V.I., Barabash V.M. Mixing in liquid media. – L.: Khimiya, 1984. – 331 p.
2. Baranov D.A., Vyazmin A.V., Guhman A.A. Processes and apparatuses of chemical technology. – M.: Logos, 2000. – 478 p.
3. The processes and apparatuses of chemical technology: Textbook. Manual for schools. Ed. by A.A. Zakharova. – M.: Publishing center «Akademiya», 2006. – 528 p.
4. A.S. № 950216 (USSR). Etching method and a device for implementing the method // Mudrov P.G., Mudrov A.G., Galiullin R.S., Publ. in B.I. № 30, 1982.
5. A.S. № 898228 (USSR). The method of drying bulk materials // Mudrov P.G., Mudrov A.G., Galiullin R.Sh., Mardanov R.Sh., Publ. in B.I. № 2, 1982.
6. A.S. № 1292832 (USSR). The method of mechanical processing of materials // Mudrov, P.G., Mudrov A.G., Hetman A.P., Publ. in B.I. № 8, 1987.
7. A.S. № 1590144 (USSR). Method treatment products // Mudrov P.G., Mudrov A.G. B. I. № 33, 1990.
8. A.S. № 1655353 (USSR). Method of etching of grain // A.G. Mudrov, P.G. Mudrov, Publ. in B.I. № 22, 1991.
9. A.S. № 1706840 (USSR). Method of processing of surfaces of details // A.G. Mudrov, P.G. Mudrov, Publ. in B.I. № 3, 1992.
10. A.S. № 1668343 (USSR). Method of mixing materials // A.G. Mudrov, P.G. Mudrov, Budaev V.V. Publ. in B.I. № 29, 1991.
11. A.S. № 1658859 (USSR). Method treatment of seeds and device for its implementation // A.G. Mudrov, P.G. Mudrov, Publ. in B.I. № 24, 1991.
12. A.S. № 617058 (USSR). Device for mixing liquids // P.G. Mudrov, A.G. Mudrov, Publ. in B.I. № 23, 1978.
13. Mudrov A.G. Bennett Mechanism and its use in engineering / A.G. Mudrov. – Kazan: KGSKHA, 1999. – 80 p.
14. Mudrov A.G. Spatial mechanisms with special structure (Study) / G.A. Mudrov. – Kazan: RIC «School», 2004. – 180 p.
15. Mudrov A.G. Spatial mechanisms with special structure / A.G. Mudrov. – Kazan: RIC «School», 2003. – 300 p.