

УДК.621.929

**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

## **Инерционные пространственные смесители непрерывного действия**

### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Пространственные инерционные смесители используют сложное неравномерное движение емкости, в результате чего обрабатываемый материал (смешивание, поверхностная обработка деталей, мойка и очистка изделий и т.п.) получает дополнительное силовое инерционное воздействие к основному турбулентному движению, интенсифицируя тем самым процесс обработки с улучшением качества конечного продукта.

Однако в виду сложного пространственного движения емкости процесс обработки возможен только в периодическом режиме, т.е. в сменных контейнерах, что делает невозможным использование смесителей в поточных линиях непрерывного действия.

*Результаты.* Предложены варианты конструкций непрерывной работы в пространственных смесителях со сложным движением емкости на примере четырехзвенного механизма.

*Выводы.* Конструкции смесителей со сложным пространственным движением емкости в двух вариантах: с гибкими шлангами для ввода и вывода обрабатываемого материала и с трубчатыми кривошипами гарантированно обеспечивают непрерывное действие смесителей в поточных линиях разных технологических процессов, в том числе строительных.

**Ключевые слова:** инерционные пространственные смесители, трубчатые кривошипы, гибкие шланги, шарниры.

### **Введение**

Во многих технологических процессах используются механические барабанные смесители, которые имеют вращательное движение барабана с постоянной угловой скоростью. Их преимущество заключается в простоте конструкции, возможности смешения компонентов без истирания и разрушения формы частиц, перемешивание абразивных материалов. Их существенный недостаток: низкое качество приготовления смеси, продолжительность перемешивания во времени, большие энергетические затраты на единицу готовой смеси [1, 2].

Для интенсификации процесса стали использовать сложное движение емкости, которое обеспечивалось комбинацией простых движений, реализуемых отдельными источниками привода. Однако такие смесители не нашли широкого использования из-за сложности конструкции и ряда других недостатков.

Перспективно использование смесителей, у которых емкость совершает сложное пространственное неравномерное движение в пределах одного оборота и от одного источника привода [3, 4]. Интенсификация процесса обработки материала обеспечивается сложным активным движением частиц, соударениями между частицами и о стенки емкости с дополнительным инерционным воздействием на частицы материала.

Такой режим работы обеспечивает высокое качество обработки различных материалов во многих технологических процессах: перемешивание практически любых компонентов материалов, поверхностная обработка (галтовка, полирование, упрочнение) изделий, очистка от загрязнений деталей перед ремонтом, дробление, измельчение и т.п. [5, 6].

Так как емкость совершает сложное пространственное движение, то процесс обработки можно производить либо в сменных контейнерах, вставляемых в емкость и закрепляемых в ней, либо в самих емкостях (загрузка и выгрузка материала через крышки и люки и т.п.), т.е. используется периодическое перемешивание. Загрузка и выгрузка материала требует остановки устройства и ручного труда, что не всегда целесообразно.

В некоторых технологических процессах обработка должна осуществляться без остановки устройства на загрузку и выгрузку материала, т.е. при непрерывном действии.

Существующие смесители непрерывного процесса не всегда обеспечивают необходимое качество приготовления смеси, энерго- и металлоемки. Осуществление же непрерывного процесса в смесителях, емкость которых совершает сложное пространственное движение связано с определенными трудностями.

Пример тому попытка осуществления непрерывного процесса в швейцарском смесителе «Турбула», в промышленное производство смеситель не пошел. Других примеров, иллюстрирующих непрерывный процесс у смесителей с пространственным движением емкости, не обнаружено.

Цель исследования – разработать варианты осуществления непрерывного процесса в пространственных смесителях, которые можно реализовать и в других группах смесителей.

### Результаты исследований и их обсуждение

Для механических смесителей использование сложного пространственного движения с неравномерной угловой скоростью является перспективным и наиболее эффективным по многим показателям.

Большой частью такое движение обеспечивалось либо сложным многозвенным механизмом, звенья которого соединяются набором вращательных, цилиндрических и сферических шарниров, либо приводом от двух и более отдельных источников привода. Как в первом, так и во втором случаях устройство становится сложным, громоздким и энергоемким.

Нами для сообщения рабочим органам или корпусу сложного пространственного неравномерного движения применены пространственные механизмы, имеющие в своем составе только вращательные шарниры. Это дает ряд преимуществ перед аналогичными устройствами: используется только один источник привода и один передаточный механизм. Звенья механизма соединяются стандартными подшипниками качения или скольжения, которые легко монтируются, обслуживаются и изолируются от внешних воздействий пыли, грязи и т.п.

В качестве передаточно-преобразующих механизмов могут быть использованы четырех-, пяти и шестизвенные механизмы. Их можно применить в двух вариантах: в первом варианте одно из звеньев механизма заменяется емкостью, которое будет иметь сложное пространственное неравномерное движение; во втором варианте емкость крепится к пальцу, соединяющего два звена механизма, движение емкости также будет сложным с переменной скоростью.

В предложенных нами смесителях процесс осуществляется при объемно-взвешенном состоянии частиц материалов, которое образуется за счет сложного пространственного движения емкости с дополнительным регулируемым инерционным воздействием.

В качестве примера рассмотрим конструкцию смесителя, созданного на базе четырехзвенного механизма, одно из звеньев которого – шатун – выполнен в виде емкости. Это самая простая пространственная конструкция, которая вообще может быть создана в технике [7]. Пространственный смеситель (рис. 1) состоит из станины 1, двух кривошипов 2 и 3, емкости 4 с патрубками 5 и 6, гибких шлангов 7, приемного общего бункера 8 и выгрузного бункера 9, дозаторов 10 и 11, бункеров 12 и 13.

На валу ведущего кривошипа 2 жестко закреплен шкив 14 клиноременной передачи, посредством которой осуществляется привод смесителя (на схеме источник привода не показан).

Конструкция смесителя имеет особые угловые и линейные параметры, а именно: геометрические оси шарниров кривошипов расположены под углом  $\alpha$  и на расстоянии  $\ell_1$  (длина кривошипов). Валы вращения кривошипов расположены под прямым углом и отстоят на расстоянии  $\ell$ , при этом расстояния  $\ell$ ,  $\ell_1$  и угол  $\alpha$  связаны соотношением:

$$\ell = \ell_1 / \sin \alpha. \quad (1)$$

Степень неравномерности  $\delta$  вращения ведомого кривошипа определяется формулой:

$$\delta = 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

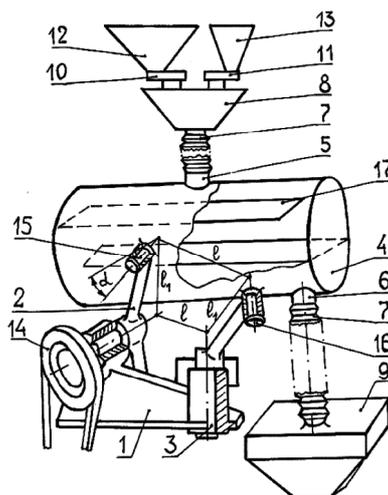


Рис. 1. Схема пространственного смесителя

Пальцы 15 и 16 емкости 4 расположены под прямым углом и отстоят на расстоянии  $\ell$ , т.е. так же, как расположены валы кривошипов 2 и 3.

Емкость 4 может быть снабжена перегородками 17, разделяющими объем емкости на секции, это необходимо при возможной регулировке времени контакта частиц при непрерывном автоматическом режиме работы.

Смеситель может работать как в периодическом режиме, так и в непрерывном. При непрерывном режиме компоненты подаются из бункеров 12 и 13 через дозаторы 10 и 11 в бункер 8. Отдозированные компоненты из бункера 8 через гибкий шланг 7 и патрубок 5 поступают в емкость 4.

От источника привода через клиноременную передачу движение передается ведущему кривошипу 2, емкости 4 и ведомому кривошипу 3. В результате того, что плоскости вращения кривошипов расположены под прямым углом, а оси шарниров кривошипов под углом  $\alpha$ , емкость имеет сложное пространственное движение. При этом ведущий кривошип 2 вращается с постоянной угловой скоростью, а ведомый кривошип 3 – с переменной на одном обороте угловой скоростью, определяемой выражениями:

- максимальное:

$$w_{\max} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin \alpha} \omega, \quad (3)$$

- минимальное:

$$w_{\min} = \frac{\cos \alpha}{1 + \sin \alpha} \omega, \quad (4)$$

где  $\omega$  – угловая скорость ведущего кривошипа.

Следовательно, и емкость будет иметь неравномерное значение угловой скорости. При этом параметрами кривошипов можно задать разный характер движения емкости (разный размах движения емкости и разную степень неравномерности движения).

Находящиеся в емкости компоненты будут находиться во взвешенном объемном движении, что самым благоприятным образом способствует активной обработке материала, который выводится через патрубок 6, шланг 7 в выгрузной бункер 9.

Проектируют смеситель исходя из заданной подачи, т/ч (термин производительность ошибочен) по формуле:

$$P = 2,83D^2 \gamma KV, \quad (5)$$

где  $D$  – диаметр емкости, м;

$\gamma$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$K$  – коэффициент заполнения емкости ( $K=0,6 \dots 0,7$  объема);

$V$  – скорость подачи материала в емкость, м/с.

При практическом расчете подача  $P$  задается потребителем,  $\gamma$  – плотность (насыпная масса), кг/м<sup>3</sup> (определяется типом и свойствами материалов, можно определять

непосредственно или брать из справочников), длина емкости  $L$  принимается конструктивно, можно ориентироваться по диаметру  $D$  емкости  $L=(1,35\dots 2,15)D$ .

Диаметр емкости можно принимать конструктивно или по выражению:

$$D = \sqrt{\frac{\pi \cdot t}{2,83 \cdot g \cdot L \cdot K}}, \quad (6)$$

где  $t$  – время цикла, зависит от наличия перегородок, типа загрузки и выгрузки (время цикла ориентировочно равно 90...120 с).

После принятия размеров емкости назначаются параметры станины: угол расположения геометрических осей валов кривошипов –  $90^\circ$  и расстояние  $\ell$  между ними, можно принимать  $\ell=(0,25\dots 0,40)L$ .

Далее определяют параметры кривошипов: расстояние  $\ell_1$  и угол  $\alpha$  расположения осей шарниров. Это возможно двумя вариантами. Либо назначают угол  $\alpha$  осей шарниров и определяют расстояние  $\ell_1$  из формулы (1)  $\ell_1 = \ell \sin \alpha$ .

Либо задаются степенью неравномерности  $\delta$  вращения ведомого кривошипа и определяют угол  $\alpha$  по формуле:

$$\alpha = \arctg(\delta/2). \quad (7)$$

Затем определяется расстояние  $\ell_1$  по формуле  $\ell_1 = \ell \sin \alpha$ .

Экспериментальные исследования на лабораторном смесителе (рис. 2) показали, что степень однородности двухкомпонентной смеси из речного песка и соли порядка 98...99 % достигалось за 100 с в емкости 10 л при частоте вращения кривошипов  $125 \text{ мин}^{-1}$ . Параметры смесителя: диаметр патрубков 40 мм, длина патрубков 600 мм, степень неравномерности вращения 0,75, угол осей шарниров кривошипов  $\alpha=20,55^\circ$ , длина  $\ell=200$  мм и длина кривошипов  $\ell_1=70,2$  мм, мощность электродвигателя  $N=0,75$  кВт.

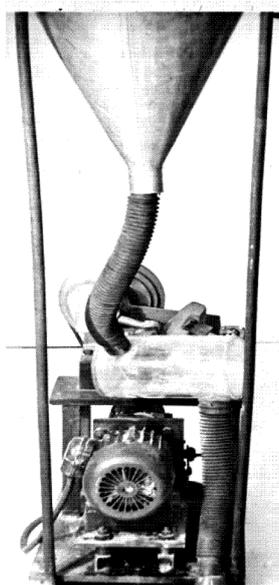


Рис. 2. Лабораторный смеситель

Другой вариант непрерывной работы в пространственном смесителе показан на следующей конструкции [8]. Смеситель (рис. 3) имеет емкость 1 (барaban), два кривошипа 2 и 3 и станину 4. Кривошипы 2 и 3 полые (трубчатые), с ведущим кривошипом 2 связан подающий патрубок 5, внутри которого установлена заслонка 6, с другим кривошипом 3 соединен приемный патрубок 7 с заслонкой 8.

На ведущем кривошипе 2 закреплен шкив 9 клиноремненной передачи, второй шкив 10 которой закреплен на валу источника привода 11 (мотор-редуктор или электродвигатель с редуктором).

Структурные параметры смесителя отличаются от параметров смесителя первого варианта.

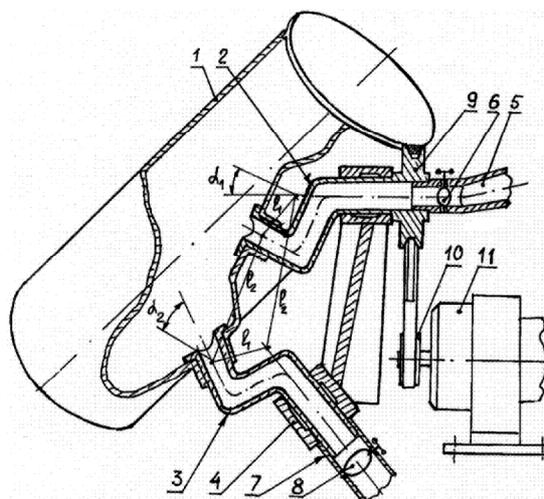


Рис. 3. Схема смесителя второго варианта

Так, углы  $\alpha_1$  расположения шарниров кривошипов равны и могут принимать значение в пределах  $10-55^\circ$ , либо  $125-170^\circ$ . Угол  $\alpha_2$  расположения геометрических осей валов кривошипов равен углу расположения осей шарниров емкости и может принимать значение в пределах  $30-75^\circ$ , либо в пределах  $10-55^\circ$ . Расстояния  $l_1$  между геометрическими осями шарниров кривошипов, расстояния  $l_2$  между осями шарниров емкости, соответственно между геометрическими осями валов вращения кривошипов и углы  $\alpha_1, \alpha_2$  связаны соотношением:

$$\sin \alpha_1 / l_1 = \sin \alpha_2 / l_2. \tag{8}$$

Перемешиваемые материалы подаются в емкость 1 смесителя через подающий патрубок 5 при открытой заслонке 6, открываемой и закрываемой автоматически реле временем, в это время заслонка 8 приемного патрубка 7 закрыта. Емкость заполняется перемешиваемым материалом на 0,6-0,7 объема, закрывается заслонка 6 и включается источник привода 11 в работу. Вращение через шкивы 10 и 9 клиноременной передачи передается ведущему кривошипу 2, емкости 1 и ведомому кривошипу 3, который вращается с переменной угловой скоростью, определяемой выражением,

$$w_3 = \frac{\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1}{1 - \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 - \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \varphi} w, \tag{9}$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – углы расположения осей шарниров кривошипов и валов их вращения;

$\varphi$  – угол вращения ведущего кривошипа;

$\omega$  – угловая скорость ведущего кривошипа.

Так как плоскости вращения кривошипов 2 и 3 расположены под углом  $\alpha_2$ , емкость 1 имеет сложное пространственное движение, траектория оси емкости показана на рис. 4.

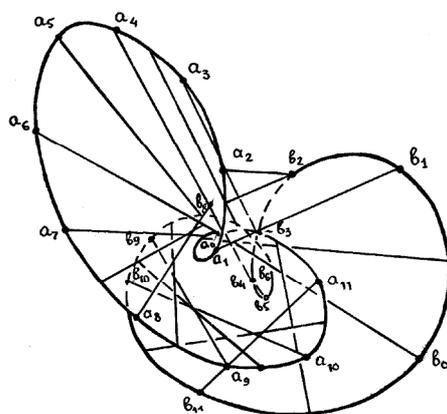


Рис. 4. Траектория оси емкости

Поскольку часть емкости со стороны ведущего кривошипа 2 вращается с постоянной угловой скоростью, а часть емкости со стороны ведомого кривошипа 3 с переменной угловой скоростью, определяемое выражение (9), то емкость в результате имеет сложное пространственное неравномерное движение с дополнительным регулируемым силовым инерционным воздействием на материал. При таком режиме работы существенно интенсифицируется процесс обработки находящихся в емкости компонентов, улучшается качество готового продукта, сокращается время процесса, снижаются энергозатраты.

После нескольких секунд работы открывается заслонка 8 приемного патрубка 7 и происходит выгрузка готовой смеси. Затем заслонка 8 закрывается и открывается заслонка 6 подающего патрубка 5 и процесс повторяется без остановки смесителя.

К зарубежным публикациям по базовому механизму, на основе которого созданы инерционные пространственные смесители непрерывного действия относятся [9, 10, 11].

### Выводы

1. Выявлено, что пространственные смесители только с вращательными шарнирами с одинаковым успехом обеспечивают смешение материалов с самыми разными физико-механическими свойствами без ограничений, а также другие технологические процессы: галтовку, мойку, дробление и измельчение, шлифование, обработку шкурки ценных пушных зверей без каких-либо переделок конструкции, т.е. обладают широкой многофункциональностью.

2. Показаны сложности осуществления непрерывной подачи и отвод компонентов в емкости, совершающей сложное неравномерное пространственное движение.

3. Приведены примеры разработок непрерывного режима работы в смесителях с тремя подвижными звеньями: емкости и двух кривошипов, представляющие две разновидности базового механизма Беннетта.

4. Непрерывная подача и отвод компонентов в инерционных смесителях осуществляется через полые кривошипы или гибкие шланги и патрубки.

5. Разработанные варианты практического обеспечения непрерывного процесса обработки материалов применимы и к пространственным смесителям с четырьмя, пятью и с шестью подвижными звеньями.

### Список библиографических ссылок

1. Першин В. Ф., Першина С. В., Однолько В. Г. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа. М. : Машиностроение, 2009. 220 с.
2. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М. : Машиностроение, 1973. 215 с.
3. Мудров А. Г. Использование пространственных механизмов в строительной технике // Механизация строительства. 2015. № 8. С. 27–29.
4. Мудров А. Г. Способы интенсификации процессов в строительных технологиях // Известия КГАСУ. 2016. № 2 (36). С. 233–240.
5. Мудров А. Г. Молотковая мельница // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (37). С. 238–243.
6. Мудров А. Г. Способ и устройство для приготовления цветного бетона // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 444–450.
7. Устройство для галтовки деталей: авт. св. № 753611 СССР № 2647479/25-08 ; заявл. 17.07.78 ; опубл. 30.07.80, Бюл. № 28, 3 с.
8. Устройство для промывки часовых механизмов и деталей: авт. св. № 1158969 СССР № 3681464/24-10 ; заявл. 22.11.83 ; опубл. 30.05.1985, Бюл. № 20, 4 с.
9. Nastase A., Vocioaca R. Utilizarea Programului AutoCAD Pentru Generarea Configuratiilor mecanismului Bennett, Simposionul national cu participare internationala PRoiectarea ASistata de Calculator, Brasov. 2002. С. 237–240.
10. Chen Y., Baker E. J. Using a Bennett linkage as a connector between other Bennett loops, Proc. IMechE. Vol. 219. 2004. P. 177–185.
11. Perez A., McCarthy J. M. Dimensional Synthesis of Bennett Linkages, Transactions of the ASME. Vol. 125. 2003. P. 98–104.

**Mudrov A.G.** – doctor of technical sciences, professor  
E-mail: [Alexmudrov42@rambler.ru](mailto:Alexmudrov42@rambler.ru)  
**Kazan State University of Architecture and Engineering**  
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### Inertial spatial continuous mixers

#### Abstract

*Problem statement.* Spatial inertial mixers employ complex irregular movement of capacity, resulting in the processed material (mixing, surface treatment parts, cleaning and washing products, etc.) receives an additional inertial force impact to the main turbulent motion, thereby intensifying the treatment process of improvement in the quality of the final product.

However, in view of the difficult spatial movement of the container machining process is possible only in periodic mode, i.e. in removable containers, which makes impossible the use of mixers in the production lines of continuous operation.

*Results.* The proposed options for construction of continuous operation in the spatial mixers with complex traffic capacity on the example of four-bar mechanism.

*Conclusions.* Design of mixers with the complex spatial movement of the container in two versions: with flexible hoses for input and output of the processed material and with tubular cranks are guaranteed to provide continuous operation of mixers in the production lines of various manufacturing processes, including construction.

**Keywords:** inertial spatial mixers, tubular joints, flexible hoses, swivels.

#### References

1. Pershin V. F., Pershina S. V., Odnolko V. G. Processing of granular materials in drum-type machines. M. : Mashinostroeniye, 2009. 220 p.
2. Makarov Y.I. Apparatus for mixing bulk materials. M. : Mashinostroeniye, 1973. 215 p.
3. Mudrov A. G. Use of spatial mechanisms in construction machinery // *Mechanizatsiya stroitelstva*. 2015. № 8. P. 27–29.
4. Mudrov A. G. Ways of intensification of processes of construction technologies // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 2 (36). P. 233–240.
5. Mudrov A. G. Hammer mill // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 3(37). P. 238–243.
6. Mudrov A. G. Method and device for the preparation of colored concrete // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 4 (38). P. 444–450.
7. Device for surface finishing of parts: patent № 753611 USSR № 2647479/25-08 ; decl. 17.07.78 ; publ. 30.07.80. Bull. in № 29. 3 p.
8. The device for washing of watch movements and parts: patent № 1158969 of the USSR № 3681464/24-10 ; decl. 22.11.83; publ. 30.05.85. Bull. in № 20. 4 p.
9. Nastase A., Bocioaca R. Utilizarea Programului AutoCAD Pentru Generarea Configuratiilor mecanismului Bennett, Simposionul national cu participare internationala PROiectarea ASistata de Calculator, Brasov. 2002. C. 237–240.
10. Chen Y., Baker E. J. Using a Bennett linkage as a connector between other Bennett loops, Proc. IMechE. Vol. 219. 2004. P. 177–185.
11. Perez A., McCarthy J. M. Dimensional Synthesis of Bennett Linkages, Transactions of the ASME. Vol. 125. 2003. P. 98–104.