

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СМЕСИТЕЛЯ «ТУРБУЛА»

Мудров А.Г.

**Реферат.** Одним из самых распространенных смесителей в мире является конструкция «Турбула» швейцарской фирмы Вилли А. Баховен. В смесителе использована структурная схема шестизвенного пространственного механизма с вращательными шарнирами, одно из звеньев которого является емкостью, совершающая сложное движение и который начал использоваться для перемешивания материалов с 1984 г. В нашей стране многие предприятия выпускают аналогичную конструкцию под названием лабораторный смеситель С 2 Турбула, например, фирма «Вибротехник». Однако за 35-летний срок использования конструкция смесителя ни за рубежом, ни у нас в стране не претерпела никаких серьезных усовершенствований, улучшающих эксплуатационные и производственные свойства смесителя. Данная статья посвящена разработкам конструкции в трех вариантах, значительно расширяющим и улучшающим функциональные возможности смесителя. Для устранения недостатков смесителя Турбула нами предложена конструктивная схема смесителя «Турбула-КСХА», в которой опора второй вилки сделана подвижной и регулируемой по высоте. Используя базу смесителя Турбула, нами разработаны три новых более совершенных конструкций смесителей «Турбула-КСХА» на базе семизвенного пространственного механизма с вращательными шарнирами, у которых из двух стоек - одна подвижная. Смесители могут иметь емкости различного объема, работать в непрерывном режиме, изготавливаться и проводить сборку с меньшей точностью, существенно интенсифицировать процесс перемешивания материалов как в сменных контейнерах, так и непрерывно. Можно надеяться, что это только начальный этап практического использования механизма в технике.

**Ключевые слова:** смеситель Турбула, сложное пространственное движение емкости, вращательные шарниры.

**Введение.** Пространственные механизмы используются в самых различных разделах техники: приборах, счетно-решающих устройствах, сельскохозяйственных машинах, автомобилях и др. В состав кинематических пар механизмов, как правило, входят различные их комбинации: вращательные, поступательные, шаровые (сферические), шаровые с пальцем и др. [1,2]. Однако наличие шаровых пар не только снижает силовые возможности передачи, усложняет технологию изготовления и конструктивное оформление механизмов, но и значительно сокращает срок службы и ограничивает сферу их применения. Предпочтительнее в пространственных механизмах использовать только вращательные шарниры, оформляемые стандартными подшипниками качения или скольжения, которые имеют высокий КПД и другие преимущества перед другими типами кинематических пар. Такие механизмы были известны в небольшом количестве и имеют сложную и трудную историю исследования и особенно практического применения в технике.

Первый механизм с вращательными шарнирами был описан еще древнеегипетским ученым Филоном в его «Механике», написанной приблизительно в 250 г. до новой эры, но не изготовил ни в модели, ни в металле [3].

Спустя 1800 лет (1550 г.) итальянский математик Джероламо Кардано применил этот механизм для подвеса морских компасов, еще через 150 лет английский ученый Роберт Гук применил этот механизм для передачи движения. Теперь этот механизм широко используется в технике.

Поскольку преимущества вращательных шарниров в пространственных механизмах не вызывали сомнения, ученые и практики мно-

гократно пытались образовать другие пространственные механизмы этого типа. Но, увы, обычной комбинацией звеньев никому создать другие механизмы не удавалось.

Удачнее получилось с использованием структурной схемы механизма Кардана-Гука в оригинальном устройстве, созданном швейцарскими конструкторами фирмы Вилли А. Баховен на базе этого механизма, известным во всем мире под названием смеситель Турбула [4]. Кинематическая схема смесителя показана на рисунке 1. Он включает источник привода 1, установленный на станине 2 и соединенный с валом 3. Вал 3 шарнирно соединен с вилкой 4, которая охватывает смесительную емкость 5. Другая вилка 6 охватывает емкость с другого конца и соединена шарнирно с валом 7, последний соединен со стойкой 2. Вилка 4, барабан 5 и вилка 6 имеют перпендикулярно расположенные на одинаковом расстоянии  $l$  оси шарниров, а валы 3 и 7 параллельны и отстоят друг от друга на расстоянии, равном произведению длин рычагов на корень из трех ( $l \sqrt{3}$ ).

В смесителе размеры вилок зависят от габаритов барабана, что сдерживает конструирование смесителей с большей по объему емкостью.

При включении источника привода 1, вращение передается валу 3, вилке 4, емкости 5, второй вилке 6 и валу 7. В результате емкость 5 имеет сложный пространственный характер движения, что способствует активному смешению компонентов, а также безразмерной обработке деталей, полировке поверхностей деталей и т.п.

Конструкция этого смесителя основана на базе шестизвенного пространственного механизма с одной избыточной связью и имеет ряд

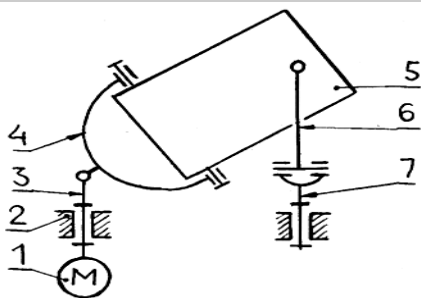


Рисунок 1—Схема смесителя

существенных недостатков. Смеситель требует высокой точности изготовления кратчайших расстояний  $l$  между осями шарниров звеньев и прямых углов, которые находятся в прямой зависимости от размера емкости, несоблюдение которых ведет к появлению «мертвых» положений, либо к заклиниванию, либо к затратам большой мощности на выход из «мертвых» положений.

Вместимость емкости ограничена объемом не более 2-3 дм<sup>3</sup>, поэтому он используется только в лабораторных исследованиях.

Закон движения емкости не регулируется, следовательно, не регулируется интенсивность процесса смешения или обработки поверхностей деталей.

За более чем 35-летний срок эксплуатации смесителя структурная схема осталась неизменной, усовершенствование касалось некоторых элементов смесителя. Так, одно из предложений касалось барабана, внутри которого были закреплены рамки с лопастями, жестко закрепленными на взаимно перпендикулярных полуосях [5]. Такое устройство незначительно интенсифицировало процесс перемешивания, поэтому в производство практически не использовалось. В другом техническом решении предлагалось придавать всему смесителю вращательное движение, что значительно усложняет конструкцию, не реально и нецелесообразно, без особого эффекта [6].

Так как емкость (барабан) совершает сложное пространственное движение в смесителе Турбула, предприняты попытки осуществить непрерывный процесс перемешивания, не оставив смеситель на замену сменных контейнеров. Для этого корпус емкости снабжен скользящим кольцом с патрубками, входящее и выходящее отверстия которых совмещаются с отверстиями в корпусе при его вращении [7]. Такое устройство достаточно сложное, работоспособность его вызывает сомнение.

Как видно из обзора, структурная схема шестизвенного механизма в смесителе Турбула была неизменной, некоторые изменения касались только косвенных элементов, которые не привели к устранению основных недостатков смесителя.

**Анализ и обсуждение результатов.** Для устранения недостатков смесителя Турбула нами предложена конструктивная схема смесителя «Турбула-КСХА», в котором опора второй вилки сделана подвижной и регулируемой по высоте [8]. Схема смесителя пред-

ставлена на рисунке 2. Он содержит станину 1 с опорой 2 и двумя стойками 3. В опоре 2 размещен вал 4, на концах которого закреплен шкив 5 клиноременной передачи и вилка 6.

Со стойками 3 шарнирно соединена посредством пальца 7 подвижная опора 8, в которой также установлен вал 9 с жестко закрепленной вилкой 10. Вилки 6 и 10 одинаковы и соединены с двумя другими вилками 11 и 12 посредством пальцев 13. Вилки 11 и 12 охватывают емкости 14 и связаны с ней шарнирно через пальцы 15 и 16 так, что геометрическая ось цапфы 15 перпендикулярна геометрической оси цапфы 16 и отстоят эти цапфы на расстоянии  $l_c$ .

Кроме этого, геометрические оси цапф 15 и 16 перпендикулярны соответственно геометрическим осям пальцев 13 обеих вилок 6 и 10 и расположены эти оси на расстоянии  $l_e$ . Высота  $l_c$  подвижной опоры 8 может назначаться произвольно, но необходимо учитывать, что она влияет на характер движения емкости 14.

Геометрическая ось вала 4 и ось пальца 7 параллельны между собой и отстоят на расстоянии  $l$ , определяемое выражением.

$$l = \sqrt{l_c^2 + 2l_e l_c + l_c^2} \quad (1)$$

Привод смесителя осуществляется через клиноременную передачу и шкив 5, затем вал 4 с вилкой 6, другой вилке 12, емкости 14, вилкам 11 и 10 и подвижной опоре 8. Емкость 14 в результате получает сложное пространственное движение, поворачиваясь в разные стороны вокруг цапф 15 и 16 и одновременно совершая качания относительно вилок 11 и 12. За счет подвижной опоры 8 (в «Турбуле» опора неподвижна) емкость 14 дополнительно получит встряхивающее движение при крайних ее положениях. Силу встряхивания можно регулировать высотой подвижной опоры 8, при большей высоте сила встряхивания емкости больше.

В смесителе «Турбула-КСХА» кроме возможности регулирования движения емкости, снижается требование к точности изготовления звеньев и к соблюдению строгой взаимозависимости размеров длины емкости с размерами звеньев.

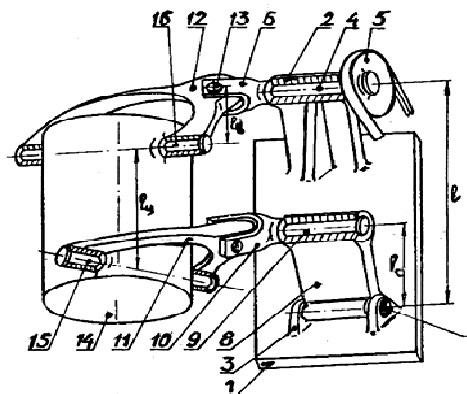


Рисунок 2 – Схема «Турбула-КСХА»

Фотография смесителя представлена на рисунке 3, вместимость его емкости 15 л.

Другое усовершенствование смесителя «Турбула» касается универсальности работы с различными по объему и размерами емкостями, а также снижение точности изготовления и сборки звеньев смесителя [9].

Смеситель «Турбула-КСХА» содержит станину 1 с подвижной опорой 3, причем эта опора 3 установлена шарнирно посредством пальца 4 и выполнена (рисунок 4) с возможностью возвратно-поступательного перемещения посредством стоек 5 и трубок 6. Фиксация положения опоры осуществляется, например, винтовым соединением 7.

Параллельно опоре 3 расположена неподвижная опора, в которых на подшипниках качения или скольжения размещены горизонтальные валы 8, которые шарнирно соединены с вилками 9 посредством пальцев 11. С пальцами 11 соединены диски 12, которые имеют центральные прямоугольные отверстия.

Смеситель имеет емкости 13 различного объема, которые с торцовых сторон имеют фиксаторы 14 со щеками 15, последние шарнирно соединены посредством осей 16 и подпружинены пружинами.

Фиксаторы 14 выполнены по форме прямоугольного отверстия в диске 12, свободно входят в отверстие и фиксируются там подпружиненными щеками 15. Для освобождения фиксаторов 14 емкости 13 необходимо надавить на щеки 15, утопить их и вывести из отверстия.

Для закрепления емкости 13 в смесителе достаточно вставить фиксатор 14 в отверстие диска 12 и подать его до защелкивания щек 15. После закрепления емкости включают в работу электропривод и производят перемешивание компонентов.

При постановке больших емкостей увеличивают высоту расположения подвижной опоры 3, для чего отворачивают винт 7, перемещают опору на необходимую высоту и фиксируют это положение винтом 7. Далее обычным образом закрепляют емкость в дисках и производят перемешивание материалов.

Привод смесителя осуществляется от электродвигателя 18 через клиноременную передачу 19 редуктора 20 и через муфту 21 на приводной вал 8, далее движение передается привод-

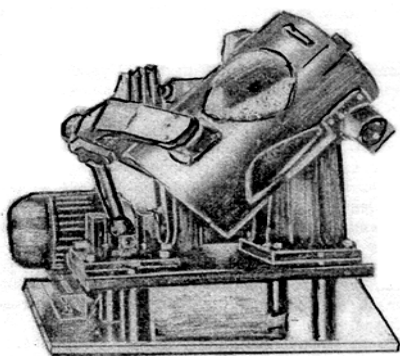


Рисунок 3 – Фото смесителя

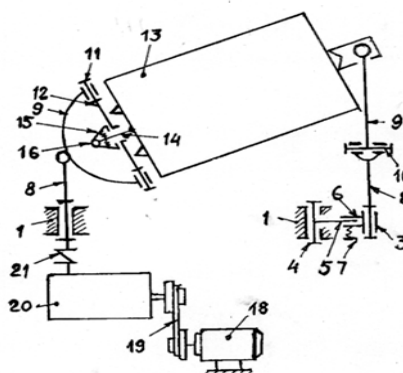


Рисунок 4 – Схема смесителя «Турбула-КСХА»

вилке 9 диску 12, емкости 13, ведомой вилке 9, ведомому валу 8, подвижной опоре 3.

Различные по объему емкости 13 получают сложное пространственное движение с дополнительным встряхивающим движением при крайних положениях подвижной опоры 3. Силу встряхивания регулируют высотой подвижной опоры 3 посредством возвратно-поступательного перемещения трубок 6 относительно стоек 5 и фиксации положения винтовым соединением 7.

Этот смеситель также позволяет с одинаковым успехом перемешивать в емкостях различного объема с регулируемой степенью интенсификации перемешивания и с меньшей точностью изготовления звеньев и их сборки.

Третья существенная модернизация смесителя «Турбула»-это снабжение его устройством, обеспечивающим непрерывный режим работы [10].

Смеситель содержит емкость 1 (рисунок 5), герметично закрытой и установленной на двух вилках 2 и 3, последние шарнирно соединены с двумя другими вилками 4,5. Вилка 4 размещена в неподвижной опоре 6, а вилка 5 – в подвижной опоре – стойке 7, которая через палец 8 соединена со станиной 9. Для ввода компонентов во внутрь емкости служит патрубок 10, соединенный с каналом 11, проходящим внутри вала 5, вилки 2 пальца 12. Вывод готовой смеси осуществляется через канал внутри второго пальца 13, канал 14 вилки 2 и выходной патрубок 15.

Смеситель с предложенной схемой непре-

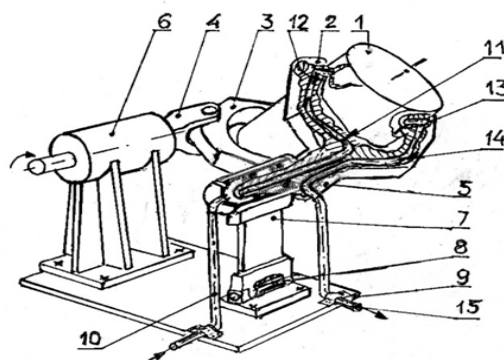


Рисунок 5 – Схема смесителя «Турбула-КСХА»

рывной подачи и вывода готовой смеси успешно внедрен на одной из птицефабрик Лаишевского района РТ в линии обогащения комбикорма как сыпучих, так и жирорастворимых витаминов.

Кроме использования механизма в качестве смесителя, шестизвенный пространственный механизм, с параллельно расположенными валами ведущего и ведомого звеньев, может быть применен в других устройствах различного назначения: тестомесильной машине, устройстве для развлечений, вращающемся фонтане, листоотгибающем устройстве, а также по своему прямому назначению – для передачи движения между параллельными валами.

**Выводы.** 1. Смеситель со сложным пространственным движением емкости, сконструированный фирмой Вилли А. Баховен (смеситель «Турбула») на базе механизма Кардана-Гука, успешно используется в мировой практике более 35 лет.

2. За такой большой срок работы в структуре его шестизвенного пространственного механизма с вращательными шарнирами существенных изменений не произошло.

3. Используя базу смесителя Турбула, нами разработаны три новых более совершенных конструкций смесителей «Турбула-КСХА» на базе семизвенного пространственного механизма с вращательными шарнирами, у которых из двух стоек - одна подвижная.

4. Смесители могут иметь емкости различного объема, работать в непрерывном режиме, изготавливаться и проводить сборку с меньшей точностью, существенно интенсифицировать процесс перемешивания материалов как в сменных контейнерах, так и непрерывно. Можно надеяться, что это только начальный этап практического использования механизма в технике.

#### Литература

1. Теория механизмов и машин: учеб. для вузов /К.В. Фролов и др.-М.: Высшая школа, 2005.-496 с.
2. Коровин Ю.В. Теория механизмов и машин. – Казань: Издательство Фэн, 2003. -396 с.
3. Шуваев Д.Н. История и методология механики.- Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. -59 с.
4. Вилли А. Баховен. Турбула - смеситель. Рекламный проспект, Швейцария, Базель, 1965.
5. Авт.св. СССР № 297797 Смеситель, М. кл. В 28 С 5/18, заявл. 17.11.1969, опубл. 15.01.1971, Бюл. № 5.
6. Авт. св. СССР № 505430 Смеситель, М. кл. В 01 F 11/00, В 28 С 5/04, заявл.01.06.72, опубл.05.03.76, Бюл. №9.
7. Авт. св. СССР № 341513 Смеситель, М. кл. В 01 F 11/00, заявл. 26.10.1970, опубл. 14.06.1972, Бюл. №19.
8. Авт. св. СССР № 795958 Смеситель, М. кл. В 28 С 5/18, заявл. 26.03.1979, опубл. 15.01.1981, Бюл. №2.
9. Авт. св. СССР № 1701556 Смеситель, М. кл. В 28 С 5/18, заявл. 18.05.1989, опубл. 30.12.1991, Бюл. №48.
10. Авт.св. СССР № 1611431 Смеситель М. кл. В 01 F 9/06, заявл. 18/03/1988, опубл. 07.12.1990, Бюл. №45.

#### Сведения об авторе:

Мудров Александр Григорьевич – доктор технических наук, e-mail:Alexmudrov42@rambler.ru  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Казань, Россия.

#### IMPROVEMENT OF “TURBULA” MIXER

Mudrov A.G.

**Abstract.** One of the most widespread mixer in the world is "Turbula" design of the Swiss company of Willy A.Bachoven. The mixer uses a block diagram of a six-link spatial mechanism with rotary joints, one of the links of which is a container that makes complex movement and which has been used to mix materials since 1984. In our country, many enterprises produce a similar design called a laboratory mixer C 2 Turbula, for example, "Vibrotekhnik" company. However, over the 35 year period of use, the design of the mixer, neither abroad, nor in our country, has undergone any major improvements that improve the operational and production properties of the mixer. This article is devoted to the development of designs in three versions, significantly expanding and improving the functionality of the mixer. To eliminate the disadvantages of the Turbula mixer, we proposed a design scheme for "Turbula-KShA" mixer, in which the support of the second fork is made movable and height-adjustable. Using the base of Turbula mixer, we have developed three new, more advanced designs of "Turbula-KShA" mixers based on a seven-link spatial mechanism with rotary joints, of which one of the two racks has one movable. Mixers can have containers of various volumes, operate continuously, fabricate and assemble with less accuracy, significantly intensify the process of mixing materials both in removable containers and continuously. We can hope that this is only the initial stage of the practical use of the mechanism in technology.

**Key words:** Turbula mixer, complex spatial movement of a container, rotary joints.

#### References

1. *Teoriya mekhanizmov i mashin: ucheb. dlya vuzov.* [Theory of mechanisms and machines: textbook. for universities]. / K.V. Frolov and others. - M.: Vysshaya shkola, 2005. – P. 496.
2. Korovin Yu.V. *Teoriya mekhanizmov i mashin.* [Theory of mechanisms and machines]. Kazan: Izdatelstvo Fen, 2003. – P. 396.
3. Shuvaev D.N. *Istoriya i metodologiya mekhaniki.* [History and methodology of mechanics]. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy gosuniversitet, 2017. – P 59.
4. Villi A. Bakhofen. *Turbula - smesitel. Reklamnyy prospekt.* [Turbula is a mixer. Flyer]. Shveysariya, Bazel, 1965.
5. Avt.sv. SSSR № 297797 *Smesitel.* [Mixer]. M. kl. V 28S 5/18, applied 17.11.1969, published 15.01.1971, Bul. №5.
6. Avt. sv. SSSR № 505430 *Smesitel.* [Mixer]. M. kl. V 01 F 11/00, V 28 S 5/04, applied 01.06.72, published 05.03.76, Bul. №9.
7. Avt. sv. SSSR № 341513 *Smesitel.* [Mixer]. M. kl. V 01 F 11/00, applied 26.10.1970, published 14.06.1972, Bul. №19.
8. Avt. sv. SSSR № 795958 *Smesitel.* [Mixer]. M. kl. V 28 S 5/18, applied 26.03.1979, published 15.01.1981, Bul. №2.
9. Avt. sv. SSSR № 1701556 *Smesitel.* [Mixer]. M. kl. V 28 S 5/18, applied 18.05.1989, published 30.12.1991, Bul. №48.
10. Avt.sv. SSSR № 1611431 *Smesitel.* [Mixer]. M. kl. V 01 F 9/06, applied 18/03/1988, published 07.12.1990, Bul. №45.

#### Author:

Mudrov Aleksandr Grigorevich - Doctor of Technical Sciences, e-mail: Alexmudrov42@rambler.ru  
Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russia.