

МРНТИ 65.13.13

С.С. Джингилбаев¹ – основной автор, | ©
В.А. Силин²



¹Д-р техн. наук, профессор, ²Магистрант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-1693-6682>, ²<https://orcid.org/0000-0001-6072-1019>



Алматинский технологический университет



г. Алматы, Республика Казахстан



¹d.seit@mail.ru, ²veniamin.silin.98@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/YKET2568>

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УГЛА НАКЛОНА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ШНЕКОВ ГОРИЗОНТАЛЬНО ШНЕКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ

Аннотация. Одним из главных процессов пищевой промышленности является смешивание разнородных дисперсных компонентов. Именно по этой причине к однородности смеси и энергоёмкости оборудования выдвигаются особые требования, которые современные аппараты не способны обеспечить.

В статье описана предложенная конструкция горизонтального смесителя с регулируемым углом наклона двух верхних шнеков. При проведении эксперимента частота вращения принята с варьированием от 50 мин⁻¹ до 150 мин⁻¹ и угол наклона верхних шнеков с варьированием от 0 до 14 градусов. Время смешивания во всех экспериментах было постоянным и равным 8 минутам. В результате экспериментов определены оптимальные параметры шнекового смесителя. Установлено, что наибольшая равномерность перемешивания при достаточно низкой энергоёмкости процесса достигается при числе оборотов в пределах от 100 до 110 мин⁻¹ и угле наклона верхних шнеков равном 8°.

Ключевые слова: шнек, смешивание, однородность, энергоёмкость, угол наклона, частота вращения.



Джингилбаев, С.С. Экспериментальное обоснование оптимальных значений угла наклона и частоты вращения шнеков горизонтально шнекового смесителя [Текст] / С.С. Джингилбаев, В.А. Силин // *Механика и технологии / Научный журнал*. – 2022. – №2(76). – С.66-72. <https://doi.org/10.55956/YKET2568>

Введение. Дисперсные смеси, состоящие из разнородных компонентов, получили широкое применение в технологических процессах различных отраслей промышленности, таких как пищевая, строительная, фармацевтическая, косметическая и др. Ежегодно повышаются требования к однородности смеси и энергоёмкости её производства. Обширная база исследований и проектных работ, направленных на решение данной проблемы, не способна удовлетворить требования, предъявляемые современными производствами [1].

В качестве изучаемого типа конструкции смесителя был выбран горизонтальный трёхвальный смеситель. Проанализировав конструкции существующих смесителей можно с уверенностью сказать, что не все

смесители способны производить смеси необходимой однородности с минимальными затратами энергии.

Проблемой горизонтальных шнековых смесителей являются высокие энергозатраты, связанные с процессом смешивания. По большей части энергозатраты возникают в результате транспортировки и постоянного выдавливания массы вверх нижним шнеком.

Для изучения данного вопроса и поиска решения по оптимизации параметров смесителя был спроектирован экспериментальный смеситель, оснащённый регулируемыми по углу наклона верхними шнеками и приводом с возможностью регулировки его числа оборотов.

В данном исследовании было выявлено влияние угла наклона шнеков и частоты вращения шнеков на однородность смешивания, а также энергоёмкость исследуемого процесса смешивания.

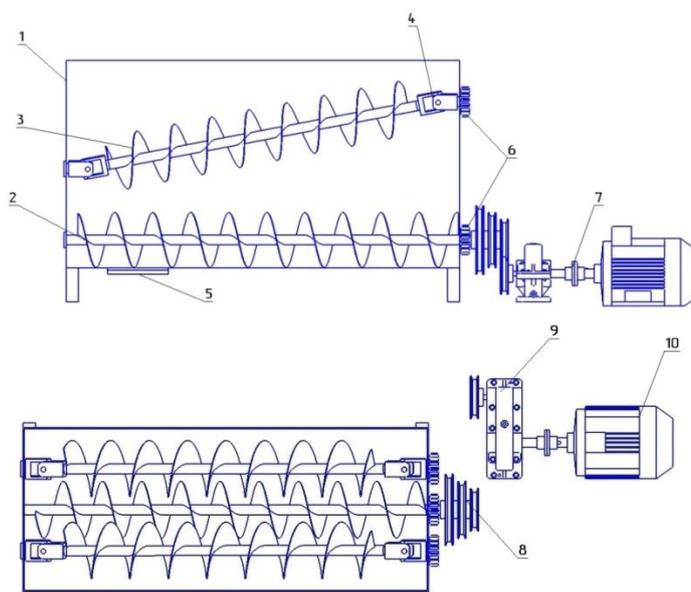
Условия и методы исследования. Этапы экспериментального исследования включали в себя:

- установление связи между энергоёмкостью процесса смешивания и его однородностью в зависимости от угла наклона и режима работы оборудования;

- проведение экспериментальных исследований, направленные на обоснование оптимальных режимов работы оборудования.

В качестве экспериментальной установки выступала специально спроектированная лабораторная установка.

На рисунке 1 представлена лабораторная установка, представляющая собой раму с закреплённым на ней бункером.



1 – бункер; 2 – нижний шнек; 3 – верхние шнеки; 4 – шарнирная передача; 5 – выгрузочный люк; 6 – цепная передача; 7 – муфта; 8 – клиноремённая передача; 9 – редуктор; 10 – электродвигатель.

Рис. 1. Схема лабораторной установки

Рабочими органами данной конструкции являются один нижний и два верхних шнека, угол наклона которых изменяется с помощью шарнирной

передачи. Привод осуществляется с помощью электродвигателя и редуктора через клиноременную передачу. Вращение верхних и нижнего шнеков осуществляется посредством цепной передачи от привода. В нижней части корпуса расположен выгрузочный люк, через который выгружается готовая смесь.

Одним из критериев определения режимов работы является частота вращения шнеков. Изменение данного параметра проводится при помощи замены шкивов.

В качестве продукта смешивания были выбраны многокомпонентные хлебопекарные мучные смеси.

В целях оценки качества процесса смешивания каждая мучная смесь была приведена к бинарному виду. Компонентом для оценки однородности смешивания является поваренная соль, что обуславливается малым процентным соотношением к мучной смеси. По формуле (1) определили однородность.

При получении комбинированных сыпучих продуктов расчетный показатель качества смешивания может быть определен по разным показателям.

Автор работы [2], рассматривавший смеси, состоящие из муки крупных культур, таких как ячмень, горох, соя и гречка, заявляет о том, что расчёт коэффициента неоднородности по показателю белизны является самым лёгким методом оценки однородности для многокомпонентных мучных смесей. Авторы труда [3] предлагают, для оценки качества смешивания многокомпонентных сыпучих материалов, использовать стохастический подход. В этой работе ими было рассмотрено использование данного подхода для моделирования, основываясь на кинематических уравнениях массопереноса, процесса смешивания многокомпонентных сухих смесей в непрерывно действующих смесителях. Показателем неоднородности был выбран коэффициент неоднородности V_c [2-4]

$$V_c = \frac{S}{C} \times 100\% \quad (1)$$

где: S – выборочное среднеквадратическое отклонение содержания поваренной соли в пробах мучной смеси; C - выборочное среднее значение содержания поваренной соли в пробах.

Для определения оптимальных параметров смесителя, изучаемыми критериями были приняты энергоёмкость процесса и однородность смеси.

В качестве параметров, при которых проводились исследования, были выбраны частота вращения n , варьируемая в диапазоне от 50 до 150 мин⁻¹, и угол наклона верхних шнеков α , варьируемый в диапазоне от 0 до 14 градусов.

Все эксперименты проводились при постоянном значении времени смешивания, равном 8 минутам.

Масса и состав смеси для всех экспериментов приняты постоянными. Опыты производились в трёхкратной повторности.

Результаты исследований. В таблице 1 представлены результаты проведённых экспериментов. В целях уменьшения размеров таблицы и упрощения изучения читателем полученных данных, в таблице указаны не все полученные значения. Для наглядности и полноты картины протекающих

зависимостей были выбраны параметры частоты вращения 50, 100 и 150 мин⁻¹ и угла наклона верхних шнеков 6, 8 и 10° соответственно.

Таблица 1

Экспериментальные данные

№	Угол наклона верхних шнеков, град.	Частота вращения, мин ⁻¹	Однородность смешивания, %	Энергоёмкость, кВт·ч/т
1	6	50	83,2	0,958
2	8	50	84,6	0,939
3	10	50	85,7	0,966
4	6	100	94,5	1,128
5	8	100	95,1	1,059
6	10	100	95,5	1,038
7	6	150	94,4	2,212
8	8	150	95,2	2,095
9	10	150	95,5	2,024

На основании полученных данных составлены графики зависимости (рис. 2-5), в полной мере отражающие протекающие в смесителе процессы.

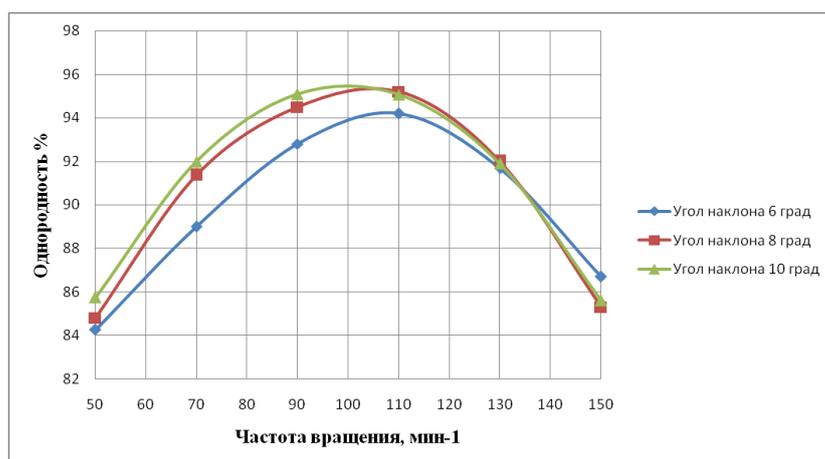


Рис. 2. График зависимости однородности смеси от частоты вращения шнеков

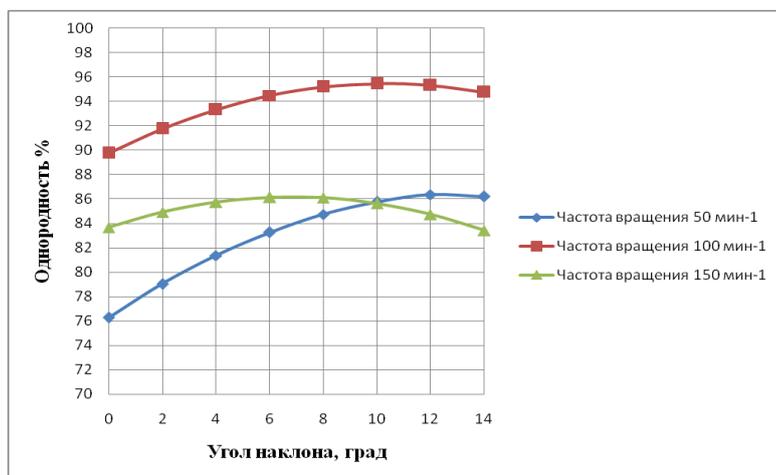


Рис. 3. График зависимости однородности смеси от угла наклона шнеков

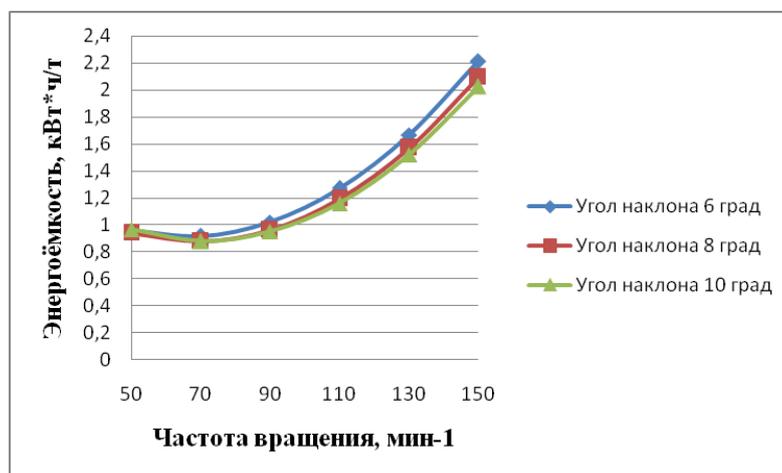


Рис. 4. График зависимости энергоёмкости смешивания от частоты вращения

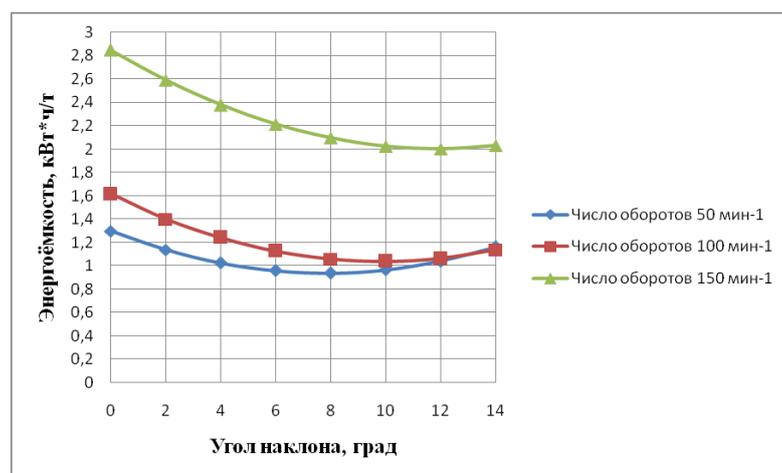


Рис. 5. График зависимости энергоёмкости смешивания от угла наклона

Обсуждение научных результатов. График зависимости (рис. 2) свидетельствует о том, что показатель однородности мучных хлебопекарных смесей повышается при увеличении числа оборотов рабочих органов. Однако, в случае достижения значения 110 и более оборотов в минуту равномерность перемешивания и интенсивность падают.

Было также выявлено влияние угла наклона на однородность конечной смеси. Согласно графику (рис. 3) равномерность смешивания растёт с увеличением наклона до 8-10 градусов. При $\alpha=8-10^\circ$ шнеки, расположенные под наклоном, вовремя подхватывают и отводят продукт от нижнего шнека, распределяя по всему объёму бункера. Это благоприятно влияет на качество смеси. С увеличением наклона более 10° происходит сводообразование смеси в верхней части корпуса, а также образование застойных зон, в связи с чем происходит ухудшение равномерности перемешивания.

Проанализировав график зависимости энергоёмкости процесса от частоты вращения шнеков (рис. 4) видим, что в случае, когда число оборотов шнека в минуту больше $n=70 \text{ мин}^{-1}$, резко возрастает значение энергоёмкости. Однако при оборотах ниже 70 мин^{-1} , равномерность перемешивания, согласно графику зависимости (рис. 2), получается низкой.

Увеличение или уменьшение угла наклона также влияет на энергоёмкость. Проанализировав график зависимости (рис. 5) мы пришли к выводу, что диапазон наклона $\alpha=8-12^\circ$ является оптимальным.

Заключение. В результате проведения лабораторного исследования выявлено влияние угла наклона верхних шнеков, а также частоты вращения шнеков на однородность смеси и энергоёмкость процесса смешивания. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что для достижения высокой равномерности перемешивания при достаточно низких показателях энергоёмкости процесса смешивания целесообразно принимать следующие параметры:

- угол наклона верхних шнеков смесителя $\alpha=8^\circ$;
- частота вращения рабочих органов $n=100-110 \text{ мин}^{-1}$.

Список литературы

1. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов [Текст] / Ю.И. Макаров. - М.: Машиностроение, 2013. – 216 с.
2. Бобков, В. Анализ однородности мучных комбинированных смесей по показателю белизны [Текст] / В. Бобков // Хлебопродукты. - 2009. - № 5. - С. 57-59.
3. Бакин, И.А. Стохастический подход к оценке качества смешивания сыпучих материалов в центробежных смесителях [Текст] / И.А. Бакин, Г.Н. Белоусов, А.З. Ядута // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2010. - № 7. - С. 58-61.
4. Мусина, О.Н. Системное моделирование многокомпонентных продуктов питания [Текст] / О.Н. Мусина, П.А. Лисин // Техника и технология пищевых производств. - 2012. - Т. 4. - № 27. - С. 32-37.

Материал поступил в редакцию 27.05. 22.

С.С. Джингилбаев, В.А. Силин

Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

**БҰРАНДАЛЫ АРАЛАСТЫРҒЫШТЫҢ КӨЛДЕНЕҢ БҰРАМАЛАРЫНЫҢ АЙНАЛУ
ЖЫЛДАМДЫҒЫ МЕН КӨЛБЕУ БҰРЫШЫНЫҢ ОҢТАЙЛЫ МӘНДЕРІН
ЭКСПЕРИМЕНТТІК НЕГІЗДЕУ**

Аңдатпа. Тамақ өнеркәсібінің негізгі үрдістерінің бірі – гетерогенді дисперсті компоненттерді араластыру. Дәл осы себепті қазіргі заманғы құрылғылар қамтамасыз ете алмайтын қоспаның біркелкілігі мен жабдықтың энергия сыйымдылығына ерекше талаптар қойылады.

Мақалада екі жоғарғы бұранданың реттелетін көлбеу бұрышы бар көлденең араластырғыштың дизайны ұсынылған. Эксперимент кезінде айналу жиілігі 50 мин⁻¹-ден 150 мин⁻¹-ге дейін және жоғарғы бұрандалардың көлбеу бұрышы 0-ден 14 градусқа дейін өзгереді. Барлық тәжірибелердегі араластыру уақыты тұрақты және 8 минутқа тең болды. Тәжірибелер нәтижесінде бұрандалы араластырғыштың оңтайлы параметрлері анықталды. Осылайша, үрдістің жеткілікті төмен энергия сыйымдылығы мен араластырудың ең үлкен біркелкілігіне 100-ден 110 мин⁻¹-ге дейінгі айналымдар саны және жоғарғы шнектердің көлбеу бұрышы 8 градусқа тең болған кезде қол жеткізілетіні анықталды.

Тірек сөздер: шнек, араластыру, біртектілік, энергия сыйымдылығы, көлбеу бұрышы, айналу жиілігі.

S.S. Dzhingilbayev, V.A. Silin

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE OPTIMAL VALUES OF THE ANGLE OF INCLINATION AND ROTATION FREQUENCY OF THE SCREWS OF A HORIZONTAL SCREW MIXER

Abstract. One of the main processes of the food industry is the mixing of heterogeneous dispersed components. It is for this reason that special requirements are put forward for the homogeneity of the mixture and the energy intensity of the equipment, which modern devices are not able to provide.

The article proposed the design of a horizontal mixer with an adjustable angle of inclination of the two upper screws. During the experiment, the rotation frequency with a variation from 50 min⁻¹ to 150 min⁻¹ and the angle of inclination of the upper screws with a variation from 0 to 14 degrees were adopted. The mixing time in all experiments was constant and equal to 8 minutes. As a result of the experiments carried out, the optimal parameters of the screw mixer were determined. Thus, the greatest uniformity of mixing with a sufficiently low energy intensity of the process is achieved with a number of revolutions ranging from 100 to 110 min⁻¹ and an angle of inclination of the upper screws equal to 8 degrees.

Keywords: auger, mixing, uniformity, energy intensity, tilt angle, rotation speed.

References

1. Makarov Yu.I. Apparaty dlya smesheniya sypuchih materialov [Devices for mixing bulk materials]. - Moscow: Mechanical engineering, 2013. – P. 216 [in Russian].
2. Bobkov V. Analiz odnorodnosti muchnyh kompozitnyh smesey po pokazatelyu belizny [Analysis of the homogeneity of flour composite mixtures in terms of whiteness] // Hleboprodukty [Bread products]. - 2009. – No.5. - P. 57-59. [in Russian].
3. Bakin I.A., Belousov G.N., Yaduta A.Z. Stohasticheskij podhod k ocenke kachestva smeshivaniya sypuchih materialov v centrobezhnyh smesitelyah [Stochastic approach to assessing the quality of mixing of bulk materials in centrifugal mixers] // Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya [Storage and processing of agricultural raw materials]. - 2010. – No. 7. - P. 58-61. [in Russian].
4. Musina O.N., Lisin P.A. Sistemnoe modelirovanie mnogokomponentnyh produktov pitaniya [System modeling of multicomponent food] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv [Equipment and technology of food production]. - 2012. - V. 4. – No. 27. - P. 32-37. [in Russian].