

**М.К. Шаяхметова^{1*}, Б.А. Лобасенко², Г.Б. Абдилова¹, Н.К. Ибрагимов¹,
Ә.С. Шенгельбаев¹**

¹Шәкәрім университет,

071412, Республика Казахстан г. Семей, ул. Глинки, 20 А

²Кемеровский государственный университет,

650000, Кемерово, Россия, ул. Красная, 6

*e-mail: madina07sh@mail.ru

РАСЧЕТ ШНЕКА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Аннотация: В настоящее время в различных отраслях промышленности используют множество видов центробежного оборудования. В их числе: непрерывно действующие фильтровальные шнековые центрифуги, пульсирующие, инерционные, с вибрационной выгрузкой осадка и отстойно-шнековые центрифуги. Это – наиболее эффективное оборудование, используемое в пищевой и мясной промышленности и обеспечивающее высококачественное разделение жидких неоднородных систем [1].

Шнековые устройства, применяемые в пищевых отраслях делятся на шнеки: транспортирующие и прессующие.

Прессующие шнеки назначены для создания повышенного давления в продукте с целью изменения его физических свойств, формы и соотношения между твердой и жидкой фазами.

Особенностью прессующих шнеков является высокое давление: до 6-20 МПа и небольшая частота вращения: 5-30 об/мин.

Для перемещения продукта предназначаются транспортирующие шнеки. Они дополнительно могут выполнять функции дозирования, смешивания.

Они имеют более высокие частоты, вращения: от 50-400 об/мин и не должны создавать избыточные давления на продукт, а также не переизмельчать транспортируемый материал.

Как рабочий орган-шнек имеет следующие достоинства: простота конструкции, универсальность, компактность, и малая стоимость.

В исследовательских работах геометрические размеры рассматриваются обобщенно и берутся на основе закономерностей среднего значения. Это не может в полной мере дать точное описание протекающего процесса. Данные факты свидетельствуют о том, что процесс разделения жидких неоднородных систем в центробежном оборудовании все еще требует большого количества исследований.

Ключевые слова: центрифуга, шнек, процесс, технология, прочность, коэффициент трения, шнековое устройство.

Введение

В ходе процесса шнек-питатель в постоянном режиме подаёт исходное жировое сырьё в центрифугу, в которой непрерывно происходит разделение среды на шквару и фугат с одновременным фильтрованием шквары. Шквара подаётся шнеком вертикально вверх и через патрубок поступает в выгрузочный бункер [2].

Одновременно необходимо контролировать стабильность оптимальной частоты вращения ротора барабана центрифуги. В то же самое время требуется поддерживать стабильность подачи выгрузочного шнека в соответствии с расчётными данными и регулировкой

Таким образом, необходимым условием стабильной, синхронной работы установки является стабильная работа частотных регуляторов всех трёх электродвигателей приводов [2].

Наиболее простой способ – это применение электродвигателей постоянного тока с использованием выпрямителей для переменного тока.

С целью дальнейшего совершенствования синхронности и устойчивости работы установки все регуляторы должны быть встроены в АСУ ТП [2].

Работа основана на опыте отечественных и зарубежных учёных.

Большой вклад в разработку теории и совершенствование конструкций пищевых центрифуг, технико-экономической оптимизацией работы последних внесли отечественные учёные: Г.М. Знаменский, В.И. Соколов, Е.В. Томбаев, С.М. Гребенюк, А.И. Пелеев, С.Г. Либерман, В.Г. Жуков, В.И. Аснера, Г.И. Бремера, В.А. Гельперина, И.А. Рогов, А.В. Горбатов, А.Н. Мачихин, М.Б. Азаров, У.Ч. Чоманов, Д.Т. Жайлаубаев, С.Н. Туменов, Е.С. Спандияров, А.Б. Оспанов, С.В. Федотов, А.Е. Еренгалиев, А.К. Какимов, А.Л. Касенов.

Следует отметить авторов конструкций горизонтальных шнековых центрифуг для разделения жира: Г.Е. Лимонов, В.А. Деханов (линия Я8-ФОВ-М); фильтрующих центрифуг для извлечения жира из измельчённой кости М.Л. Файвишевский, С.Г. Либерман, К.Д. Синицын, В.П. Петровский (ФМД-802К-05 в линии Я8-ФЛК); М.Л. Файвишевский, Н.П. Кузьменко (интегральная обработка мякотного сырья на усовершенствованной машине Я8-ФИБ).

Материалы и методы исследования

При расчете вертикальных шнековых транспортеров неизвестными являются также геометрические и кинематические характеристики шнека.

Отличие от горизонтальных конвейеров заключается в том, что частота вращения винта вертикального винтового конвейера не может быть какой угодно.

Необходимо определить, при какой частоте вращения винта груз будет перемещаться вверх [71-81].

В качестве критической скорости винта $v_{кр}$ принимают такую линейную скорость точек наружной поверхности шнека, при которой частица не имеет движения вдоль оси; при этом сумма всех сил, спроектированных на направление, касательное к поверхности винта $p-p$, будет равна нулю.

Уравнение равновесия всех сил будет иметь вид:

$$f_{ж} \cdot \frac{m \cdot v_{кр}^2}{R} \cdot \cos \beta - mg \cdot \sin \beta - \frac{mv_{кр}^2}{R} \cdot f_{ж} \cdot f_B \cdot \sin \beta - f_B \cdot mg \cdot \cos \beta = 0 \quad (1)$$

где R – радиус винта, м;

m – масса шквары, кг;

$m \cdot v^2/R$ – центробежная сила, Н;

$f_{ж}$ – коэффициент трения массы о жёлоб;

f_B – коэффициент трения между частицами массы;

β – угол между осью t и направлением прижимающей силы.

$v_{кр}$ – критическая скорость движения массы, м/с.

2. Решаем данное уравнение относительно критической скорости $v_{кр}$

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{gR \cdot (\sin \beta + f_B \cdot \cos \beta)}{f_{ж} \cdot (\cos \beta - mg \cdot \sin \beta)}} = \sqrt{\frac{gR \cdot \operatorname{tg}(\beta + \alpha)}{f_{ж}}} \quad (2)$$

где α – угол между направлением p и n .

3. Из данного уравнения после элементарных преобразований получаем допустимое число оборотов винта вертикального шнека (рис. 1), n :

$$n_{кр} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g \cdot \operatorname{tg}(\beta + \alpha)}{D_B \cdot f_{ж}}} \quad (3)$$

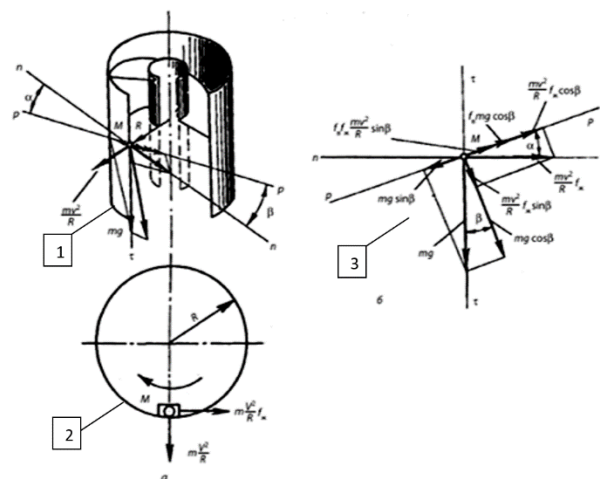


Рисунок 1 – Схема сил, действующих в вертикальном выгрузочном шнеке
1 – лопасть вертикального выгрузочного шнека; 2 – схема сил на виде сверху (в плане);
3 – схема сил на виде спереди (фронтально)

Условные обозначения:

$\frac{m \cdot v^2}{R}$ - центробежная сила, действующая на выгрузочную массу, Н;

$\frac{m \cdot v^2}{R} f$ - сила трения, действующая на выгрузочную массу, Н

mg - сила тяжести, действующая на выгрузочную массу, Н

R – рабочий радиус лопасти, м.

n – нормаль

p – касательная

t – вертикальная ось

α, β – углы между нормалью и касательной.

Сырье упруго-пластичная во время подачи центрифуги создает винт:

а) осевая непрерывная нагрузка с интенсивностью q , которая изменяется по длине винта в соответствии с линейным законом;

$$q_x = \frac{P_x}{l} \cdot \frac{R_2^2 - R_1^2}{2} \cdot \varphi$$

где: P – давление подачи в шнеке;

l – рабочая длина шнека, равная $3S$;

α – угол подъема винта шнека;

R_1 и R_2 – внутренний и наружный радиусы шнека;

$\varphi = 2\pi/S$, потому что, когда точка движется по спиральной линии, угловое смещение точки 2π , соответствует ее осевому смещению, равному шагу S , а угловое смещение под углом φ соответствует смещению вдоль оси, равному x .

Внешние нагрузки, действующие на сырье и опорное оборудование, вызывают следующие виды деформации корпуса винта:

а) кручение от концентрированного крутящего момента, который представляет собой момент реакции на опоре шнека со стороны питающего отверстия, и непрерывного равномерного увеличения крутящего момента с интенсивностью m_x ;

б) продольный-поперечный изгиб, при котором продольная нагрузка, действующая на шнек, состоит из концентрированной силы, которая является реакцией неподвижной опоры, и постоянной осевой нагрузки, которая изменяется в соответствии с линейным законом.

Эквивалентное напряжение:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_{\text{сж}}^2 + 4\tau^2}, \text{ МПа.}$$

Последний виток шнека следует рассчитать на прочность(рис. 2).

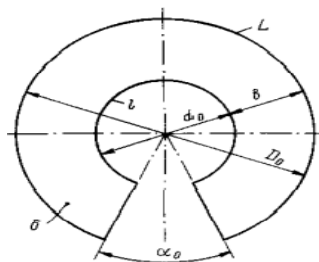


Рисунок 2 – Кольцо-заготовка витка шнека

В этом случае наибольший изгибающий момент на внутреннем контуре такой пластинки, выполненной из стали будет равен.

Величина изгибающего момента для любого сечения лопасти:

$$M_z = \frac{P\varphi_1 x^2}{6R_1} (3R_2 - x), H \cdot m$$

где: x – расстояние от вершины лопасти до сечения, в котором определяется напряжения;

b – толщина лопасти шнека.

Результаты и обсуждение

Принцип работы шнековых устройств заключается в том, что при вращении шнека проукт совершает сложное винтовое движение: вращение вокруг оси шнека и поступательное перемещение. Вращение обусловлено наличием трения между проуктом и витком. Продукт передвигается вдоль шнека по межвитковой спирали и его осевое перемещение сочетается с вращением.

Заключение

Разработана инженерная методика для технологического расчёта центрифуги, которая демонстрирует наибольшую эффективность при непрерывной работе. Выявлены ключевые факторы, а также рассчитана мощность шнекового питателя, который подает сырьё. Для достижения оптимальной синхронности и стабильности работы установки в непрерывном режиме необходимо обеспечить баланс производительности всех трёх компонентов блок-схемы. Стабильность и синхронность работы установки будут достигаться за счёт контроля равномерности загрузки жирового сырья, точности подачи шнека и стабилизации частоты вращения его привода.

Список литературы

1. Physical Modeling of the Process of Centrifugation of Crushed Bovine Bones to Separate Animal Fat and Meat–Bone Slurry / M. Shayakhmetova et al // – 2023. – № 13. – 11808 p. <https://doi.org/10.3390/app132111808>.
2. Пат. 35832 Республика Казахстан, Казахстан, МПК 51 B02C 18/36 (2006.01). Центрифуга для разделения жидких неоднородных систем // Шаяхметова М.К., Касенов А.Л., Ибрагимов Н.К. РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности». бюл. № 45 – 09.09.2022. – 4 с.
3. Центрифуга для разделения жидких неоднородных систем / М.К. Шаяхметова и др. // Международная научно-практическая конференция НАО «Университет имени Шакарима города Семей», 1.04.2022 г. – С. 261-262.
4. Howlett G.J. Analytical Ultracentrifugation for the Study of Protein Association and Assembly / G.J. Howlett, A.P. Minton, G. Rivas // Current Opinion in Chemical Biology. – 2006. – Vol. 10. – P. 430-436.
5. Records A. Decanter Centrifuge Handbook / A. Records, K. Sutherland // Elsevier Science. – 2001.
6. Wallace Woon-Fong Leung, Industrial Centrifugation Technology, McGraw-Hill Professional. – 1998.
7. Dr.-Ing. A. Karolis, Die Technologie der Vollmantel-Schneckenzenrifugen, Zentrifugen in der grosstechnischen Anwendung, 07-08/12/1999 Haus der Technik, Essen.

8. Sokolow J. Moderne Industriezentrifugen, VEB-Verlag Technik, Berlin, 1971
9. Product brochure, Decanter centrifuge technology, Alfa Laval Nils Schwarz, Selecting the right centrifuge – the jargon demystified.
10. Frank H. Stephenson, Centrifugation in Calculations for Molecular Biology and Biotechnology (Third Edition), 2016.
11. Frank H. Stephenson, Centrifugation in Calculations for Molecular Biology and Biotechnology (Second Edition), 2010.
12. Khalid Z. Masoodi, Rovidha Saba Rasool, Centrifugation in Advanced Methods in Molecular Biology and Biotechnology, 2021
13. Zhou J.L. Centrifugation in Comprehensive Sampling and Sample Preparation, 2012
14. E. Abraham, E. McAfee, Centrifugation in Mesenchymal Stromal Cells, 2017
15. T.G. Aw, S.H. Te, Centrifugation in Comprehensive Sampling and Sample Preparation, 2012.

References

1. Physical Modeling of the Process of Centrifugation of Crushed Bovine Bones to Separate Animal Fat and Meat–Bone Slurry / M. Shayakhmetova et al // – 2023. – № 13. – 11808 r. <https://doi.org/10.3390/app132111808>. (In English).
2. Pat. 35832 Respublika Kazakhstan, Kazakhstan, MPK 51 V02S 18/36 (2006.01). Tsentrifuga dlya razdeleniya zhidkikh neodnorodnykh sistem // Shayakhmetova M.K., Kasenov A.L., Ibragimov N.K. RGP «Natsional'nyi institut intellektual'noi sobstvennosti». byul. № 45 – 09.09.2022. – 4 c. (In Russian).
3. Tsentrifuga dlya razdeleniya zhidkikh neodnorodnykh sistem / M.K. Shayakhmetova i dr. // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya NAO «Universitet imeni Shakarima goroda Semel», 1.04.2022 g. – S. 261-262. (In Russian).
4. Howlett G.J. Analytical Ultracentrifugation for the Study of Protein Association and Assembly / G.J. Howlett, A.P. Minton, G. Rivas // Current Opinion in Chemical Biology. – 2006. – Vol. 10. – R. 430-436. (In English).
5. Records A. Decanter Centrifuge Handbook / A. Records, K. Sutherland // Elsevier Science. – 2001. (In English).
6. Wallace Woon-Fong Leung, Industrial Centrifugation Technology, McGraw-Hill Professional. – 1998. (In English).
7. Dr.-Ing. A. Karolis, Die Technologie der Vollmantel-Schnecken zentrifugen, Zentrifugen in der grosstechnischen Anwendung, 07-08/12/1999 Haus der Technik, Essen. (In English).
8. Sokolow J. Moderne Industriezentrifugen, VEB-Verlag Technik, Berlin, 1971. (In English).
9. Product brochure, Decanter centrifuge technology, Alfa Laval Nils Schwarz, Selecting the right centrifuge – the jargon demystified. (In English).
10. Frank H. Stephenson, Centrifugation in Calculations for Molecular Biology and Biotechnology (Third Edition), 2016. (In English).
11. Frank H. Stephenson, Centrifugation in Calculations for Molecular Biology and Biotechnology (Second Edition), 2010. (In English).
12. Khalid Z. Masoodi, Rovidha Saba Rasool, Centrifugation in Advanced Methods in Molecular Biology and Biotechnology, 2021. (In English).
13. Zhou J.L. Centrifugation in Comprehensive Sampling and Sample Preparation, 2012. (In English).
14. E. Abraham, E. McAfee, Centrifugation in Mesenchymal Stromal Cells, 2017. (In English).
15. T.G. Aw, S.H. Te, Centrifugation in Comprehensive Sampling and Sample Preparation, 2012. (In English).

М.К. Шаяхметова^{1*}, Б.А. Лобасенко², Г.Б. Абдилова¹, Н.К. Ибрагимов¹, Ә.С. Шенгельбаев¹

¹Шәкәрім университеті,

071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

²Кемерово мемлекеттік университеті, 650000, Кемерово, Ресей

*e-mail: madina07sh@mail.ru

ШНЕКТІ ЕСЕПТЕУ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ САЛАСЫ

Қазіргі уақытта әртүрлі салаларда ортадан тепкіш жабдықтардың көптеген түрлері қолданылады. Олардың ішінде: үздіксіз жұмыс істейтін шнекті сүзгіш центрифугалар, пульсациялық,

инерциялық, тұнбаны бірілдетіп түсіру және шнекті тұндырғыш центрифугалар. Бұл тамақ және ет өнеркәсібінде қолданылатын және сұйық біртекті жүйелердің жоғары сапалы бөлінуін қамтамасыз ететін ең тиімді жабдық болып табылады [1].

Тамақ өнеркәсібінде қолданылатын шнекті құрылғылар тасымалдау және пресстеу шнектеріне бөлінеді.

Пресстеу шнектері оның физикалық қасиеттерін, пішінін және қатты және сұйық фазалар арасындағы қатынасын өзгерту үшін өнімде жоғары қысым жасау үшін тағайындалады.

Пресстеу шнектерінің ерекшелігі - 6-20 МПа дейінгі жоғары қысым және 5-30 айн/мин төмен айналу жиілігі.

Өнімді жылжыту үшін тасымалдау шнектері бар. Олар қосымша мөлшерлеу, араластыру функцияларын орындай алады.

Олар 50-ден 400 айн/мин-ге дейінгі жоғары айналу жиіліктеріне ие және өнімге артық қысым жасамауы керек, сонымен қатар тасымалданатын материалды қайта ұнтақтамауы тиіс.

Шнектің жұмысшы органы ретінде келесі артықшылықтар бар: құрылмасының қарапайымдылығы, әмбебаптығы, шағын және құны төмен.

Зерттеу жұмыстарында геометриялық өлшемдер жалпыланған түрде қарастырылады және орташа заңдылықтар негізінде алынады. Бұл ағымдағы процестің толық сипаттамасын бере алмайды. Бұл фактілер ортадан тепкіш жабдықта сұйық біртекті жүйелерді бөлу процесі әлі де көп зерттеуді қажет ететінін көрсетеді.

Түйін сөздер: центрифуга, шнек, процесс, технология, беріктік, үйкеліс коэффициенті, шнек құрылғысы.

M. Shayakhmetova*, B. Lobasenko², G. Abdilova¹, N. Ibragimov¹, A. Shengelbaev¹

¹Shakarim University of Semey,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, st. Glinka, 20A

²Kemerovo State University,
650000, Kemerovo, Russia

*e-mail: madina07sh@mail.ru

AUGER CALCULATION AND SCOPE OF APPLICATION

Currently, many types of centrifugal equipment are used in various industries. Among them: continuously operating filter screw centrifuges, pulsating, inertial, vibrationally discharged sludge and settling screw centrifuges. It is the most efficient equipment used in the food and meat industry and provides high-quality separation of liquid heterogeneous systems [1].

Screw devices used in the food industry are divided into augers: conveying and pressing.

The pressing screws are designed to create increased pressure in the product in order to change its physical properties, shape and ratio between the solid and liquid phases.

The special feature of the pressing screws is high pressure: up to 6-20 MPa and low rotation speed: 5-30 rpm.

Transporting screws are provided to move the product. They can additionally perform the functions of dosing and mixing.

They have higher rotational speeds: from 50 to 400 rpm and should not create excessive pressure on the product, as well as not over-pump the transported material.

As a working body, the auger has the following advantages: simplicity of design, versatility, compactness, and low cost.

In research papers, geometric dimensions are considered generically and are taken based on the patterns of the average value. This cannot fully provide an accurate description of the ongoing process. These facts indicate that the separation of liquid heterogeneous systems in centrifugal equipment still requires a large amount of research.

Key words: centrifuge, auger, process, technology, strength, coefficient of friction, screw device.

Сведения об авторах

Мадина Канатовна Шаяметова* – PhD, НАО «Шәкәрім университет», г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: madina07sh@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5133-4348>.

Борис Анатольевич Лобасенко – доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленный дизайн», Кемеровский Государственный университет, Россия; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

Галия Бекеновна Абдилова – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой «Технологическое оборудование», Шәкәрім университет, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

Надир Кадырович Ибрагимов – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование», Шәкәрім университеті, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

Әди Сержанұлы Шенгельбаев – студент образовательной программы 6B07105 – «Технологические машины и оборудование», Шәкәрім университеті, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: shengelbaevadi.2004@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2652-9243>.

Авторлар туралы мәліметтер

Мадина Канатовна Шаяхметова* – PhD, Шәкәрім университеті, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: madina07sh@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5133-4348>.

Борис Анатольевич Лобасенко – техника ғылымдарының докторы, «Өнеркәсіптік дизайн» кафедрасының профессоры, Кемерово мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

Галия Бекеновна Абдилова – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының меңгерушісі, Шәкәрім университеті, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

Надир Кадырович Ибрагимов – техника ғылымдарының кандидаты, «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының аға оқытушысы, Шәкәрім университеті, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

Әди Сержанұлы Шенгельбаев – 6B07105 «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» білім беру бағдарламасының студенті, Шәкәрім университеті, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: shengelbaevadi.2004@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2652-9243>.

Information about the authors

Madina Shayakmetova* – PhD, Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: madina07sh@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5133-4348>.

Boris Lobasenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Industrial Design Department, Kemerovo State University, Russian Federation; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

Galiya Abdilova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Technological Equipment», Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

Nadir Ibragimov – candidate of Technical Sciences, senior lecturer «Technological Equipment», Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

Adi Shengelbaev – student of the educational program 6B07105 – «Technological machines and equipment», Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: shengelbaevadi.2004@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2652-9243>.

Поступила в редакцию 16.05.2025

Поступила после доработки 26.08.2025

Принята к публикации 29.08.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4\(20\)-30](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4(20)-30)

MPHTI: 55.38.29



Е.А. Толекенов*, Е.Я. Шаяхметов, Р.А. Советбаев, Г.М. Кудайбергенова

Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
*e-mail: yerassultol@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВЫ И КОНСТРУКТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ СЖАТОГО ВОЗДУХА (CAES)

Аннотация: Технология CAES сочетает механическую и термодинамическую формы хранения энергии. Она может быть масштабирована от локальных модульных установок до промышленных решений. Главные преимущества: большой объем хранения энергии, длительное время работы без подзарядки, возможность интеграции с солнечными и ветровыми электростанциями, потенциально низкая стоимость при массовом внедрении. В условиях роста