

## ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ЗЕРНА С АКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИЛОСАХ БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ.

А.Б.Абубакиров<sup>1</sup>, А.А.Алламбергенов<sup>2</sup>

**Аннотация:** В данной статье представлена информация о том, что современный этап технического развития играет решающую роль в обработке зерна после уборки на предприятиях, так как улучшает качество семян и сохраняет пищевую ценность зерна. Обеспечение безопасности продовольственного зерна является одной из важнейших задач в нашей стране. Хлебоприёмные предприятия занимаются очисткой зерна, его сушкой и активным вентилированием. Ежегодно от 70% до 90% всего собранного зерна подвергается сушке и активному проветриванию на зерноперерабатывающих предприятиях. При этом использование металлических вентилируемых силосов считается экономичным, сроки их строительства в 2-3 раза быстрее, а капитальных затрат они требуют примерно на 15 % меньше капитальных затрат, чем железобетонные силосы.

**Ключевые слова:** Металлических силос, зерна, активного вентилирования, влажность, хранения, охлаждения.

### ВВЕДЕНИЕ

Качество питания сегодня рассматривается как фактор национальной безопасности, поэтому растущее с каждым годом производство продукции из зерна, увеличение его закупок и поступления в государственные ресурсы, требуют дальнейшего эффективного развития сети для приема и хранения огромных масс товарного зерна.

Большой вклад в изучение повышения качества пищевой продукции, процессов хранения и охлаждения зерна при активном вентилировании, продовольственной безопасности, энерго и ресурсосбережении в пищевой промышленности внесли исследования многих отечественных и зарубежных ученых: А.В.Лыков, В.А.Резчиков, Л.Г.Елисеева, А.А.Гажур, И.П.Гинзбург, Н.П.Козьмина, Г.А.Джорогян, Л.А.Трисвятский, В.Ф.Сорочинский, А.С.Цыплаков, В.Ф.Самочетов, В.П.Кирпичников, М.А.Беляева, А.Sugahara, U.Larsson, S.García-Ortega, M.Odriozola-Maritorena и других. Вместе с тем, исследования, направленные на разработку комплексной системы, позволяющей увеличить сроки и качество хранимой продукции в металлических силосах большой емкости (МСБЕ) практически не проводятся, в связи с чем данное направление является перспективным и инновационным.

Вопрос повышения эффективности процессов охлаждения зерна при активном вентилировании в металлических силосах большой ёмкости на сегодняшний день мало изучен, нет достоверных, научно обоснованных данных, относящихся к изменениям теплофизических параметров воздуха. Эффективное использование установок для активного вентилирования зерна, большое их разнообразие может быть достигнуто лишь на основе применения научно обоснованных режимов обработки зерна с учётом периодов безопасного хранения различных культур. Применяемая система активного вентилирования - это принудительное продувание

<sup>1</sup> Нукусский горный институт при Навоийского государственного горно-технологического университета, г. Нукус

<sup>2</sup> Каракалпакский институт сельского хозяйства и агротехнологий, г. Нукус



массы зерна воздухом [1]. В отличие от естественной вентиляции активное вентилирование позволяет создать и поддерживать равные оптимальные условия в больших объемах продукции и благодаря этому снизить потери сельскохозяйственной продукции при хранении и более эффективно использовать объем зернохранилищ. Этот способ обработки зерна позволяет предотвратить и ликвидировать самосогревание зерна, охладить его до температуры, обеспечивающей длительное хранение. Вентилирование насыпи теплым воздухом с низкой относительной влажностью позволяет подсушить зерно [2] и ускоряет процесс послеуборочного дозревания, повышая энергию прорастания, всхожесть и улучшая хлебопекарные свойства зерна. Охлаждение и подсушивание зерна создают в зерновой насыпи условия, неблагоприятные для развития вредителей и микроорганизмов. Являясь высокомеханизированным, а в некоторых случаях и автоматизированным процессом обработки неподвижных зерновых партий, активное вентилирование относят к числу производительных и эффективных способов обработки зерна, как в технологическом, так и экономическом отношениях.

### МЕТОДЫ И СПОСОБЫ.

Металлический силос большой емкости, вместимостью 10 000 тонн имеет диаметр 28,3 м, высоту вертикальной стенки 17,2 м при общей высоте 25,1 м.

Увеличение сроков хранения в МСБЕ невозможно без применения принудительного вентилирования зерна [11-14].

Для вентилирования зерна в силосе вместимостью 10 000 тонн используется четыре одинаковых вентилятора производства Соединенных Штатов Америки марки FAN, С, 10НЗР, 380V, 50Н, L/С. Каждый из вентиляторов подает воздух в отдельную систему воздухораспределительных каналов, расположенных в 1/4 части площади силоса, в соответствие с рисунком 1 [11].

Исследования аэродинамических характеристик зерна в силосе с таким расположением воздухораспределительных каналов позволяет определить нижнюю границу слоя зерна, в котором следует измерять перепад давления для определения расхода воздуха [12].

Норматив для определения объема нагнетаемого воздуха в зависимости от массы зерна не учитывает скорости прохождения воздуха [13]. Минимально допустимая подача воздуха в МСБЕ принимается равной  $10 \text{ м}^3/\text{ч} \times \text{т}$  [11].

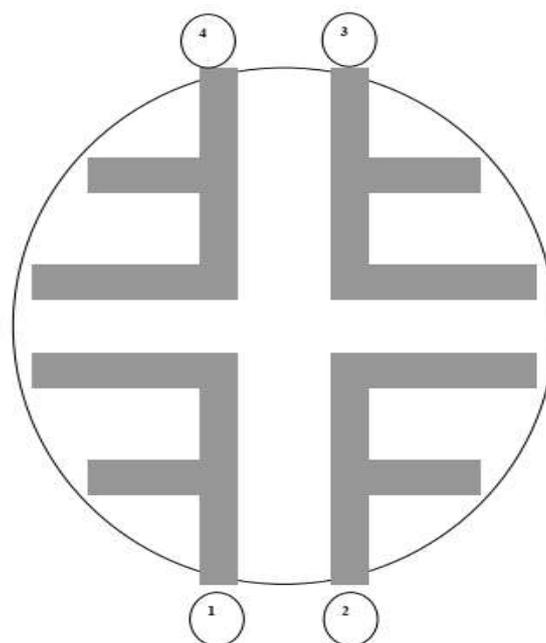


Рисунок 1 - Схема расположения воздухораспределительных каналов в силосе вместимостью 10 000 тонн



При проведении экспериментальных исследований были измерены следующие показатели: давление и перепад давления воздуха в зерновой массе и расходы воздуха, нагнетаемые вентиляторами. Перепады давления воздуха измеряли на разных уровнях по высоте МСБЕ в диаметрально противоположных направлениях. Расходы воздуха измеряли в воздуховодах, соединяющих вентиляторы с силосом [11].

Для измерения давления и перепада давления воздуха внутри силоса использовали дифманометр-напорометр ДНМП-100-М1-600Ра-2,5-УЗ. Предел измерения данного прибора 600 Па, диаметр циферблата 100 мм, класс точности – 2,5. Прибор устойчив к воздействию температуры окружающего воздуха от минус 50 до 60 °С и относительной влажности до 98 % при температуре 35 °С. Расход воздуха измеряли по общепринятой методике с использованием пневмометрической трубки Пито и цифрового дифманометра. Погрешность измерения составляет не более 5 % [11].

Места контрольного отбора давлений воздуха внутри силоса вместимостью 10 000 тонн осуществляли при помощи штуцеров, расположенных на трех уровнях по высоте (рисунок 2). На первом уровне – высота один метр от воздухораспределительной решетки; на втором уровне – два метра от воздухораспределительной решетки; на третьем уровне - четыре метра от воздухораспределительной решетки [11].

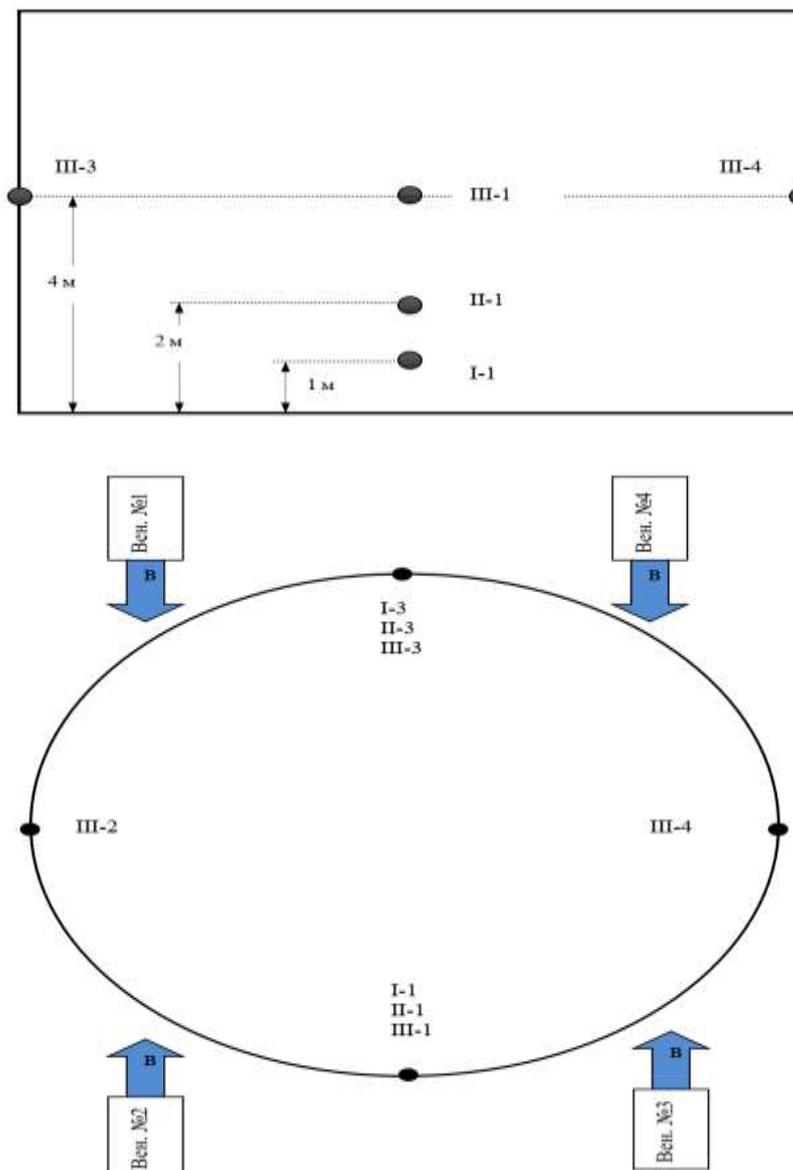


Рисунок 2 - Схема расположения точек замера на стенке силоса

На каждом из уровней было установлено по четыре штуцера на отметках  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$  и  $360^{\circ}$ .

Перепады давления измеряли между штуцерами первого и третьего уровней, в слое толщиной три метра, и между штуцерами второго и третьего уровней, в слое толщиной два метра. Эти измерения проводили одновременно при всех четырех, затем при трех, при двух и при одном включенном вентиляторе. Отключением вентиляторов изменялись режимы вентилирования и места подачи воздуха в зерновую массу [11].

В каждом режиме вентилирования в слое толщиной три или два метра было произведено восемь измерений перепадов давления воздуха. Те режимы, в которых разность между максимальным и минимальным значением перепада давления не превышает 15 Па, относили к режимам с равномерным распределением давления по сечению силоса. Ограничение в 15 Па принято исходя из класса точности измерительного прибора – цифрового дифференциального манометра ДМЦ – 010. Если расхождения значений менее 15 Па, то измеренные значения перепадов можно считать не отличающимися друг от друга. Для режимов с равномерным распределением давления вычисляли среднее значение перепада давления, которое использовали в дальнейших вычислениях скорости фильтрации воздуха через зерновой слой.

Для вычисления расхода воздуха, проходящего через зерновой слой внутри силоса, использовали известную формулу Рамзина [1-5].

Скорость фильтрации вычисляли по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{\Delta P \times A \times H}{9,81}}$$

Расход воздуха, проходящего через зерновой слой, вычисляли по формуле:

$$Q_3 = 3600 \times v \times F,$$

где  $Q_3$  – расход воздуха через зерновой слой,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

$F$  – площадь сечения силоса,  $\text{м}^2$ .

Утечки воздуха из силоса вычисляли как разность расходов воздуха, нагнетаемого вентиляторами и проходящего через зерновой слой [12].

$$\Delta Q = Q_v - Q_3,$$

где  $Q_v$  – расход воздуха, нагнетаемый вентиляторами в силос,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Удельные затраты энергии определяли по следующей формуле [12].

$$\Delta g = \frac{N}{M},$$

где  $N$  – мощность эл. двигателей вентиляторов, кВт;

$M$  – масса зерна вентилируемого в силосе, т [12].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

В металлическом силосе наиболее неблагоприятные условия хранения [5,6] складываются в верхней части зерновой насыпи. Инструкция рекомендует контролировать относительную влажность воздуха [5,6] в надзерновом пространстве силоса с помощью психрометра Ассмана. В случае превышения относительной влажности воздуха в силосе по сравнению с относительной влажностью наружного воздуха, рекомендуется обеспечить вентилирование надзернового пространства [5]. Выполнить это требование инструкции не представляется возможным, так как



не указана периодичность контроля, а люки для обслуживания в крышах силосов для длительного хранения зерна расположены, как правило, на высоте 20 м [6].

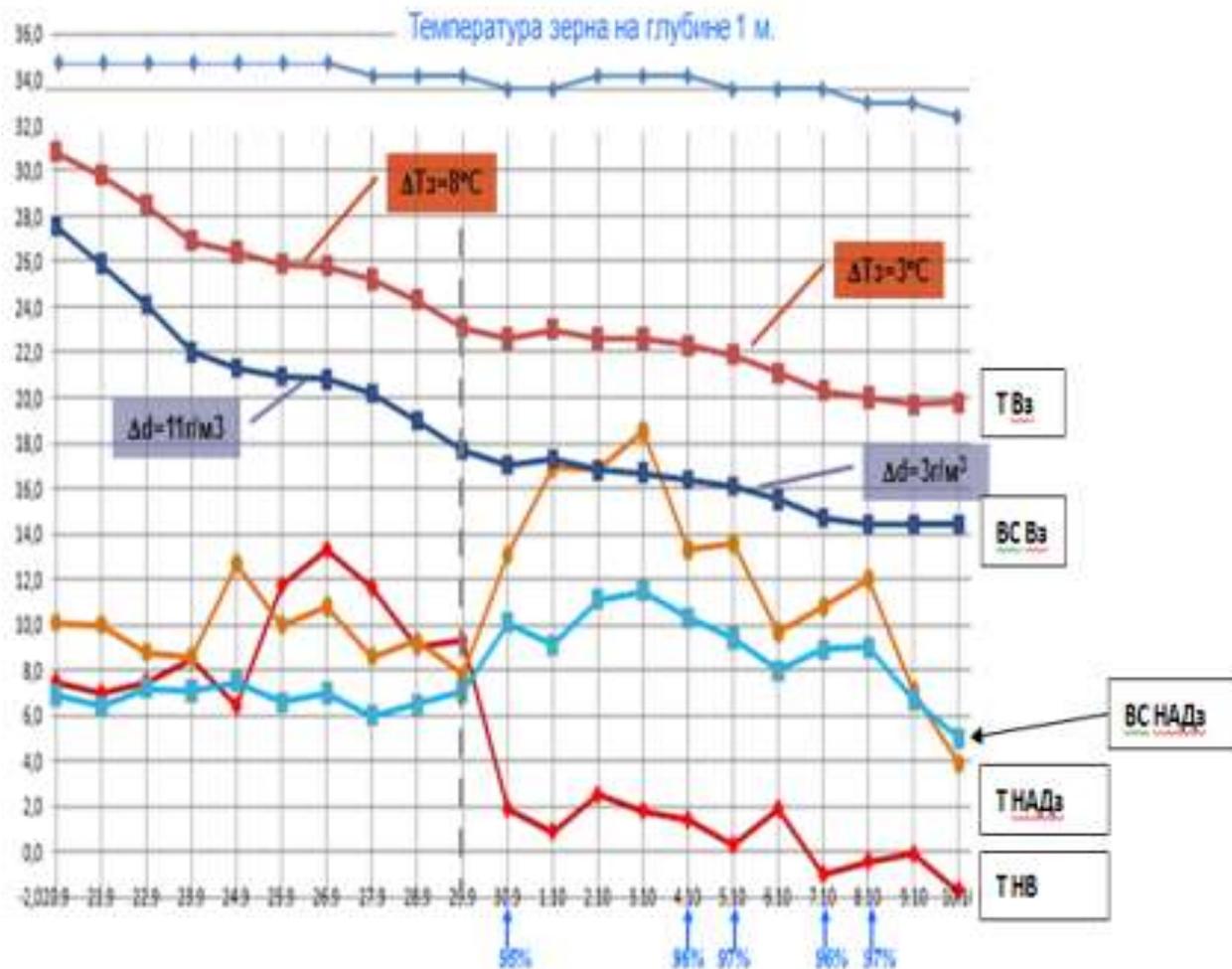
Для определения условий, при которых требуется вентиляция в верхней части силоса, нами были проведены замеры температуры и относительной влажности воздуха в верхнем слое зерна и в надзерновом пространстве в промышленном металлическом силосе. Измерения в верхнем слое проводили на глубине 0,07 м, а над зерном на расстоянии 0,06 м от поверхности зерновой массы. Одновременно, с измерениями параметров воздуха внутри силоса, измеряли температуру наружного воздуха [5].

Исследования проводили в металлическом силосе диаметром 12,5 метров, высотой вертикальной стенки 20 метров при общей высоте 26 метров, вместимостью 2 000 тонн, заполненного зерном пшеницы влажностью 12,5 %, массой 1 800 тонн.

Для измерения параметров воздуха использовали сертифицированные, серийно выпускаемые автономные регистраторы данных [5], имеющие следующие габариты [7]: 0,1×0,025×0,023 м. Эти регистраторы одновременно измеряют и записывают температуру и относительную влажность воздуха в месте своего расположения. Периодичность записи регулируется от [3] двух секунд до двадцати четырех часов, в наших исследованиях запись параметров воздуха производили каждые 30 минут, или в течение суток осуществляли 48 измерений. Погрешность измерения температуры в пределах от минус 40 до минус 70 °С составляет 2 °С, погрешность измерения относительной влажности воздуха в пределах от 10 до 95 % и составляет [7] 5 %. Периоды, в которых измеренное значение относительной влажности составляло 95 % и более, относили к нежелательным для хранения, учитывая возможность образования конденсата [3].

Из представленных на рисунке 3 данных следует, что в первые 9 суток хранения температура воздуха в надзерновом пространстве (под крышей силоса) соответствовала температуре наружного воздуха, изменявшейся в пределах от 6 до 13 °С. Влагосодержание практически не изменялось и составляло около 7 г/м<sup>3</sup>. В последующие сутки [4] резко понизилась температура наружного воздуха [4] до минус 2 °С, но температура над зерном повысилась, в отдельные сутки составляла свыше 18 °С. Также повысилось влагосодержание до 12 г/м<sup>3</sup>. Представленные данные свидетельствуют о наличии движения воздуха внутри силоса. Косвенно этот процесс подтверждают данные по уменьшению темпов охлаждения и сорбции влаги в верхнем слое, за счет подогрева из глубинных слоев зерна и выброса влаги в надзерновое пространство. При повышении температуры в верхней части силоса наблюдали периоды повышения относительной влажности до 95 % и более, при которых возможно образование конденсата [8].





ТВЗ – температура в зерне; ВС ВЗ – влагосодержание в зерне; ВС НАДЗ – влагосодержание над зерном; Т НАДЗ – температура воздуха над зерновой массой; Т НВ – температура наружного воздуха.

Рисунок 3 - Среднесуточное изменение параметров воздуха внутри силоса

При хранении зерна в металлическом силосе требуется принудительное вентилирование [9] надзернового пространства (под крышей) [9]. Вентилирование необходимо проводить при повышении температуры над зерном относительно температуры наружного воздуха более 10 °С [2]. Прекращают вентилирование при достижении равенства температур внутри и снаружи силоса.

### ВЫВОДЫ

Разработаны и апробированы в производственных условиях методики наладки установок для вентилирования зерна в МСБЕ с обеспечением подачи нормативного объема воздуха и установлена возможность прогнозирования продолжительности вентилирования зерновой массы.

Разработаны технические устройства, позволяющие оценить эффективность применения САВ в МСБЕ, предложена возможность оснащения силоса промышленными дифманометрами, с помощью которых возможно измерять перепад давления внутри силоса в слое зерна фиксируемой толщины. При этом перепад давления для данного слоя будет являться функцией одной переменной – скорости фильтрации.

Определена величина критической влажности для зерна пшеницы, соответствующая значению равновесной влажности.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорочинский В. Ф. Кинетика охлаждения зерна после сушки на станках активного вентилирования / В. Ф. Сорочинский // «Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе» - Курск, 2015. - С. 230-235.
2. Активное вентилирование зерновых масс // Читальный зал: электронный журнал. 2023. URL: <http://chitalky.ru/?p=1436>
3. Инструкция № 9-7-88 по хранению зерна, маслосемян, муки и крупы // Судебные и нормативные акты РФ: электронный журнал. 2019. URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-minkhleboproduktov-sssr-ot-24061988-n-185/instruktsiia-9-7-88-po-khraneniui/> .
4. Инструкция по хранению зерна в металлических зернохранилищах//Министерство хлебопродуктов СССР: электронный журнал. 1988. URL: <http://33.fsvps.ru/fsvps-org-docs/33/laws/ussr185.pdf> .
5. А.Б.Абубакиров, А.А.Алламбергенов, Ж.П.Садилов, Б.Д.Аллазаров. «Анализ Повышение Эффективности Процесса Охлаждения Зерна В Вихревом Поток» //Central asian journal of theoretical and applied sciences. Volume: 03 Issue: 08 | Aug 2022 ISSN: 2660-5317 <https://cajotas.centralasianstudies.org>
6. А.Б.Абубакиров, Т.А.Айтбаев, М.Аламинова, Б.Уразбаев. «Анализ Методов Проверки Качества Зерна Пшеницы» //Central asian journal of theoretical and applied sciences. Volume: 03 Issue: 09 | Sep 2022 ISSN: 2660-5317. <https://cajotas.centralasianstudies.org>
7. Повышение эффективности деятельности предприятий мукомольной промышленности на основе системы управления качеством продукции : монография / И. П. Богомолова, Б. П. Рукин, С. Н. Нечаева [и др.]. – Воронеж: Издательство «Истоки», 2007. – 204 с.
8. Дремучева, Г. Ф. Воздействие ферментного препарата Амилоризин нового поколения на хлебопекарные свойства пшеничной муки / Г. Ф. Дремучева, А. А. Невский, Н. В. Цурикова, // Хлебопродукты. – 2017. – № 12. – С. 46–48.
9. Куприянова, Л. М. Лаборатория современных практик / Л. М. Куприянова // Менеджмент. – 2015. – № 3. – С. 75–84.
10. Мизанбекова, С. К. Вопросы устойчивого развития зернопродуктового подкомплекса Казахстана / С. К. Мизанбекова, Б. Б. Калыкова, И. Т. Мизанбеков // Проблемы агрорынка. – 2018. – № 2. – С. 139–147.
11. I.Kh.Siddikov, P.D.Chelyshkov, A.B.Abubakirov, N.M.Nazhimatdinov, R.Zh.Tanatarov. Structure of control sensors of multi-phase reactive power currents in power supply systems // Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies» IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 839 (5), 052045. pp. 1-9. doi:10.1088/1755-1315/839/5/052045. (AGRITECH-V - 2021). Publication Year: 2021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/17551315/839/5/052045/pdf>
12. I.Siddikov, A.B.Abubakirov, R.Seytimbetov, Sh.Kuatova, Yu.Lezhnina. Analysis of current conversion primary sensors dynamic characteristics of a reactive power source with renewable energy sources into secondary voltage // Part 1. E3S Web of Conferences 281, 09028. CATPID-2021. Publication Year: 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128109028>.
13. I.Kh.Siddikov, M.A.Anarbaev, A.A.Abdumalikov, A.B.Abubakirov, M.T.Maxsudov, I.M.Xonturaev. «Modelling of transducers of nonsymmetrical signals of electrical nets» // International Conference On Information Science And Communications Technologies Applications, Trends And Opportunities // Publication Year: 2019, Page(s): 1–6. <http://WWW.ICISCT2019.Org>
14. Mizanbekova, S. Food supply security: the case of EAEU member states / S. Mizanbekova, M. Uspanova, D. Kunanbaeva // Journal of Entrepreneurship Education. – 2018. – Vol. 21, № 3. – P. 2– 15.
15. Priorities of Mixed Fodder Production Development in Emerging Countries: the Case of Kazakhstan / S. Mizanbekova, A. Umbetaliev, A. Aitzhanova [et al.] // Espacios. – 2017. – Vol. 38, № 42. – P. 29–41.

