

Проектный расчёт надёжности определения основных физико-химических качеств хлебобулочных изделий на производстве

Ельков С.А., Астапов В.Н.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия (443100, Самара ул. Молодогвардейская, 244),
e-mail: sergei.elkov@gmail.com, asta-2009@mail.ru.

Аннотация

Одна из главных целей хлебопекарной промышленности — производство хлебобулочных изделий высокого качества, соответствующих требованиям действующих стандартов и ГОСТов. Чтобы получить такую продукцию, необходимо строго соблюдать все технологические процессы производства и оперативно устранять любые отклонения.

Чтобы контролировать качество хлебобулочных изделий, используют разные методы: органолептические, физико-химические и микробиологические. Это позволяет выпускать продукцию, которая соответствует требованиям технической документации.

Расчёт надёжности различных методов оценки качества хлебобулочных изделий является важной частью хлебобулочной промышленности. В статье рассматривается проектный расчёт надёжности определения основных физико-химических качеств хлебобулочных изделий на производстве.

В процессе исследования анализируется маркировка, органолептические и физико-химические показатели качества хлебных изделий. Полученные данные сравниваются с требованиями стандарта.

Результаты исследования позволяют сделать выводы о повышении надёжности определения основных физико-химических качеств хлебобулочных изделий и определить направления для улучшения производства.

Статья представляет собой глубокий анализ надёжности определения основных физико-химических качеств хлебных изделий, который может быть использован производителями и специалистами в области хлебопекарной промышленности для совершенствования технологий производства и повышения качества выпускаемой продукции.

Ключевые слова:

Расчёт надёжности, автоматизация, хлебобулочная промышленность, определение качества, методы определения качества.

Annotation

One of the main goals of the bakery industry is the production of high-quality bakery products that meet the requirements of current standards and GOSTs. To obtain such products, it is necessary to strictly adhere to all technological production processes and promptly eliminate any deviations.

To control the quality of bakery products, various methods are used: organoleptic, physicochemical and microbiological. This allows you to produce products that meet the requirements of technical documentation.

Calculating the reliability of various methods for assessing the quality of bakery products is an important part of the bakery industry. The article considers the design calculation of the reliability of determining the main physicochemical qualities of bakery products in production.

During the study, the labeling, organoleptic and physicochemical indicators of the quality of bakery products are analyzed. The data obtained are compared with the requirements of the standard.

The results of the study allow us to draw conclusions about increasing the reliability of determining the main physicochemical qualities of bakery products and identify areas for improving production. The article is a deep analysis of the reliability of determining the main physical and chemical qualities of bread products, which can be used by manufacturers and specialists in the baking industry to improve production technologies and increase the quality of manufactured products.

Keywords:

Reliability calculation, automation, bakery industry, quality determination, quality determination methods.

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы контролировать качество хлебобулочных изделий, используют разные методы: органолептические, физико-химические и микробиологические. Это позволяет выпускать продукцию, которая соответствует требованиям технической документации [1].

Расчёт надёжности имеет большое значение в различных отраслях промышленности, поскольку он позволяет обеспечить безопасность и эффективность работы оборудования, систем и персонала, в том числе в хлебобулочной промышленности [2].

Качество готовой продукции должно удовлетворять требованиям соответствующих нормативных и технических документов и положению о балловой оценке. По ГОСТ 5667-2022 хлебобулочные изделия принимают партиями [3, 4].

Для контроля органолептических показателей и физико-химических показателей составляют представительную выборку способом «россыпью», после чего производят из неё отбор образцов методом «вслепую» в соответствии с ГОСТ Р 50779.12-2021.

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Органолептические показатели определяют после остывания хлебобулочных изделий по ГОСТ 5667-2022, их контролируют посредством органов чувств (обоняния, осязания, зрения).

В соответствии с требованиями нормативных и технических документов основными физико-химическими показателями качества хлебобулочных изделий являются: влажность мякиша, кислотность, пористость, массовые доли жира и сахара, а для витаминизированных изделий – массовая доля витаминов В1, В2 и РР.

От показателя влажности хлебобулочного изделия зависит его физиологическая ценность и результаты технико-экономических показателей работы хлебопекарных предприятий. Определение влажности проводится по ГОСТ 21094-2022 [5, 6].

Показатель кислотности характеризует качество хлебобулочных изделий с вкусовой и гигиенической стороны. Определение кислотности хлебобулочных изделий проводится по ГОСТ 5670-96 [7, 8].

Под пористостью понимают отношение объема пор мякиша к общему объему хлебного мякиша, выраженное в процентах. Определение пористости проводят по ГОСТ 5669-96 [9].

Определение массовой доли сахара по ГОСТ 5672-2022 может осуществляться тремя методами: перманганатным, горячего титрования, ускоренным йодометрическим [10].

По ГОСТ 5668-2022 предусматривается три метода для определения массовой доли жира в хлебобулочных изделиях: экстракционный с предварительным гидролизом навески (арбитражный), бутирометрический (ускоренный), рефрактометрический (ускоренный) [11].

Количество поваренной соли, добавляемой при приготовлении хлебобулочных изделий, оказывает значительное влияние на технологический процесс, а также качество готовой продукции. Определение содержания соли в хлебобулочных изделиях по ГОСТ 5698-2022 производится двумя методами: аргентометрическим и меркурометрическим.

Определение массовой доли белковых веществ, углеводов, йода и сорбита в хлебобулочных изделиях осуществляют по ГОСТ 25832-89 [12].

2 РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ

Рассчитаем надёжность системы определения основных физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий, а именно: влажность мякиша, кислотность, пористость, массовая доля жира и массовая доля сахара [13].

Для этого составим логическую схему системы, представленную на Рисунке 1.

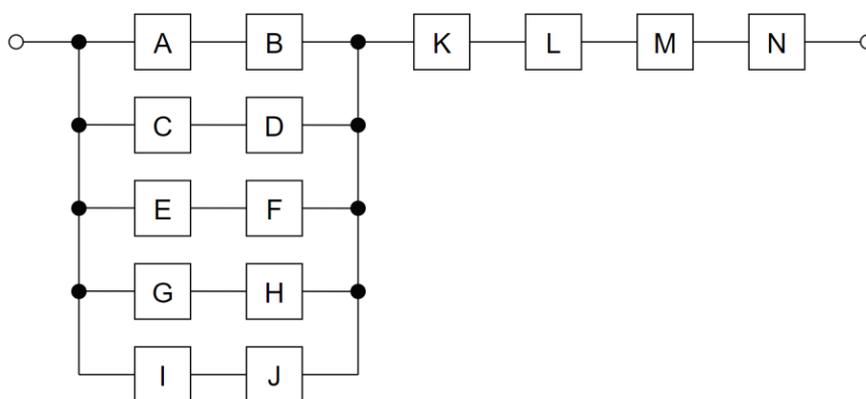


Рисунок 1 – Логическая схема системы автоматического регулирования

В схеме: А – этап определения влажности мякиша; В – линия связи 1; С – этап определения кислотности; D – линия связи 2; E – этап определения пористости; F – линия связи 3, G – этап определения массовой доли жира; H – линия связи 4; I – этап определения массовой доли сахара; J – линия связи 5; K – блок коммутатора; L – линия связи 6; M – контроллер; N – канал выдачи данных в систему формирования удостоверения качества и безопасности.

2.1 Расчёт показателей надёжности

В Таблице 1 приведены показатели интенсивности отказов элементов, входящих в состав системы.

Таблица 1 – Интенсивность отказов элементов

Обозначение	Элемент	Значение интенсивности отказов, ч ⁻¹
A	Этап определения влажности мякиша	1,92*10 ⁻⁶
C	Этап определения кислотности	0,21*10 ⁻⁶
E	Этап определения пористости	3,8*10 ⁻⁶
G	Этап определения массовой доли жира	4,1*10 ⁻⁶

I	Этап определения массовой доли сахара	$4,3 \cdot 10^{-6}$
K	Блок коммутатора	$7,6 \cdot 10^{-6}$
M	Контроллер	$0,61 \cdot 10^{-6}$
N	Канал выдачи данных в систему формирования удостоверения качества и безопасности	$0,23 \cdot 10^{-6}$
B, D, F, H, J, L	Линии связи 1-6	$1,7 \cdot 10^{-6}$

Примем следующие допущения при построении математической модели надежности системы:

1. Элементы прошли период приработки;
2. Справедлив экспоненциальный закон распределения;
3. Отказы элементов независимы.

Согласно составленной схеме, вероятность безотказной работы системы будет выражаться формулой:

$$P(t) = P_K(t) * P_L(t) * P_M(t) * P_N(t) * \left[1 - (1 - P_A(t) * P_B(t)) * (1 - P_C(t) * P_D(t)) * (1 - P_E(t) * P_F(t)) * (1 - P_G(t) * P_H(t)) * (1 - P_I(t) * P_J(t)) \right]. \quad (2)$$

Интенсивность отказов данной системы находится по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{-P'(t)}{P(t)} \quad (3)$$

Для вычислений воспользуемся программой «Matlab». На Рисунке 2 представлен код для вычисления интенсивности отказов и построения её графика.

```
Command Window
>> clear
t=[0:10:10^7];
A=1.92*10^-6; B=1.7*10^-6; C=0.21*10^-6; D=1.7*10^-6; E=3.8*10^-6; F=1.7*10^-6;
G=4.1*10^-6; H=1.7*10^-6; I=4.3*10^-6; J=1.7*10^-6; K=7.6*10^-6; L=1.7*10^-6;
M=0.61*10^-6; N=0.23*10^-6;
PA=exp(-A.*t); PB=exp(-B.*t); PC=exp(-C.*t); PD=exp(-D.*t); PE=exp(-E.*t); PF=exp(-F.*t);
PG=exp(-G.*t); PH=exp(-H.*t); PI=exp(-I.*t); PJ=exp(-J.*t); PK=exp(-K.*t); PL=exp(-L.*t);
PM=exp(-M.*t); PN=exp(-N.*t);
P=PK.*PL.*PM.*PN.*(1-(1-(PA.*PB)).*(1-(PC.*PD)).*(1-(PE.*PF)).*(1-(PG.*PH)).*(1-(PI.*PJ))));
P1=diff(P);
P1=[0,P1];
L=-P1./P;
plot(t,L);
grid ON;
fx >>
```

Рисунок 2 – Код вычислений в программе Matlab

На Рисунке 3 представлен график интенсивности отказов системы во времени.

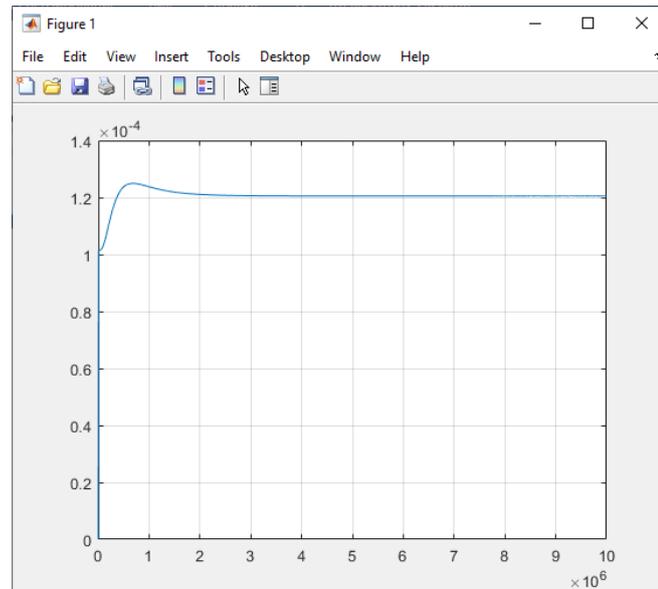


Рисунок 3 – График интенсивности отказов системы во времени

2.2 Повышение надежности системы

К способам повышения надежности систем относят:

1. Увеличение надежности отдельных элементов (замена приборов, линий связи, а также использование устройств с более высокими характеристиками надежности);
2. Упрощение системы при проектировании;
3. Резервирование элементов системы;
4. Систематический контроль и обслуживание системы;
5. Обучение персонала процессам на программах-тренажерах [14, 15].

Для рассматриваемой системы введем резервирование каждого элемента системы.

Схема системы с резервированием приведена на Рисунке 4.

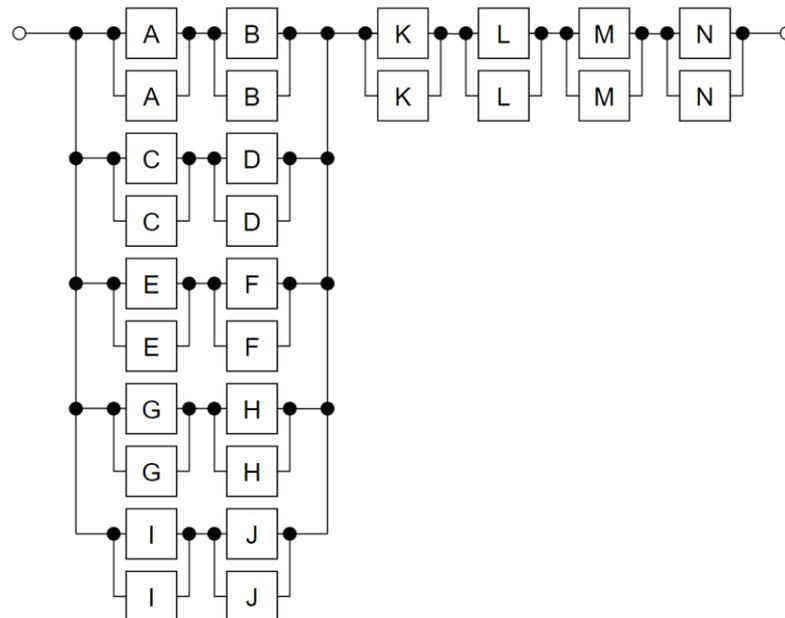


Рисунок 4 – Логическая схема системы с резервированием

Вероятность безотказной работы на каждом из участков будет равна:

$$P_{iRes}(t) = 1 - [(1 - \exp(-\lambda_i * t))^2], \quad (4)$$

где i – соответствующий участок.

Тогда вероятность безотказной работы зарезервированной системы будет находиться по формуле:

$$P(t) = P_{KRes}(t) * P_{LRes}(t) * P_{MRes}(t) * P_{NRes}(t) * \left[1 - (1 - P_{ARes}(t) * P_{BRes}(t)) * (1 - P_{CRes}(t) * P_{DRes}(t)) * (1 - P_{ERes}(t) * P_{FRes}(t)) * (1 - P_{GRes}(t) * P_{HRes}(t)) * (1 - P_{IRes}(t) * P_{JRes}(t)) \right]. \quad (5)$$

Интенсивность отказов данной системы находится по формуле:

$$\lambda_1(t) = \frac{-P_{res}'(t)}{P_{res}(t)}. \quad (6)$$

Код вычисления интенсивности отказов и построения её графика для системы с резервированием в программе Matlab представлен на Рисунке 5.

```
Command Window
>> clear
t=[0:10:5*10^4];
A=1.92*10^-6; B=1.7*10^-6; C=0.21*10^-6; D=1.7*10^-6; E=3.8*10^-6; F=1.7*10^-6; G=4.1*10^-6;
H=1.7*10^-6; I=4.3*10^-6; J=1.7*10^-6; K=7.6*10^-6; L=1.7*10^-6; M=0.61*10^-6; N=0.23*10^-6;
PA=exp(-A.*t); PB=exp(-B.*t); PC=exp(-C.*t); PD=exp(-D.*t); PE=exp(-E.*t); PF=exp(-F.*t); PG=exp(-G.*t);
PH=exp(-H.*t); PI=exp(-I.*t); PJ=exp(-J.*t); PK=exp(-K.*t); PL=exp(-L.*t); PM=exp(-M.*t); PN=exp(-N.*t);
P=PK.*PL.*PM.*PN.*(1-(1-PA.*PB).*(1-PC.*PD).*(1-PE.*PF).*(1-PG.*PH).*(1-PI.*PJ));
P1=diff(P);
P1=[0,P1];
L=-P1./P;
PAres=1-((1-exp(-A.*t)).^2); PBres=1-((1-exp(-B.*t)).^2); PCres=1-((1-exp(-C.*t)).^2); PDres=1-((1-exp(-D.*t)).^2);
PEres=1-((1-exp(-E.*t)).^2); PFres=1-((1-exp(-F.*t)).^2); PGres=1-((1-exp(-G.*t)).^2); PHres=1-((1-exp(-H.*t)).^2);
PIres=1-((1-exp(-I.*t)).^2); PJres=1-((1-exp(-J.*t)).^2); PKres=1-((1-exp(-K.*t)).^2); PLres=1-((1-exp(-L.*t)).^2);
PMres=1-((1-exp(-M.*t)).^2); PNres=1-((1-exp(-N.*t)).^2);
Pres=PKres.*PLres.*PMres.*PNres.*(1-(1-PAres.*PBres).*(1-PCres.*PDres).*(1-PEres.*PFres).*(1-PGres.*PHres).*(1-PIres.*PJres));
Pres1=diff(Pres);
Pres1=[0,Pres1];
L1=-Pres1./Pres;
plot(t,L1);
hold on;
plot(t,L);
grid on;
fx >>
```

Рисунок 5 – Код вычисления интенсивности отказов системы с резервированием

Графики интенсивности отказов системы с резервированием и без резервирования представлены на Рисунке 6.

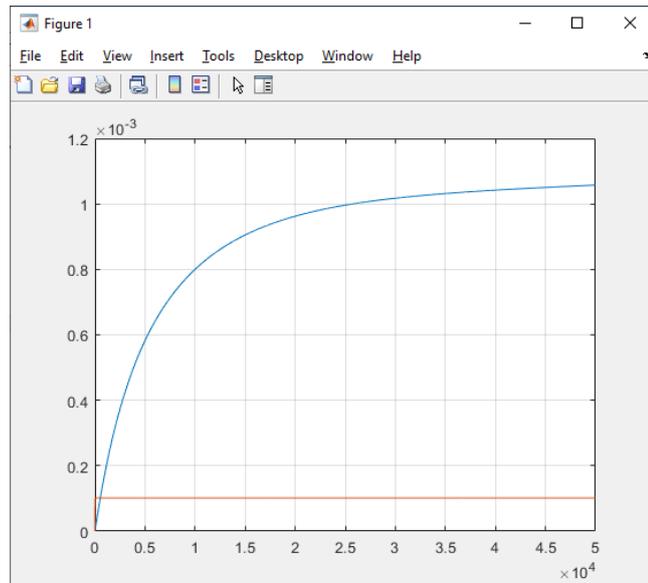


Рисунок 6 – Графики интенсивностей отказов системы с резервированием и без резервирования

Рассчитаем отношение интенсивности отказов системы до резервирования к интенсивности отказов системы после резервирования, результат представим в Таблице 2:

$$\sigma(t) = \frac{\lambda(t)}{\lambda_1(t)} \quad (7).$$

Таблица 2 – Отношение интенсивностей

$t, 10^4$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda(t), 10^{-4}$	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
$\lambda_1(t), 10^{-4}$	5,7	8,01	9,05	9,6	9,9	10,1	10,3	10,4	10,5	10,5
$\sigma(t)$	5,64	7,93	8,96	9,50	9,80	10,00	10,20	10,30	10,40	10,40

Таким образом, из данных Таблицы 2 видно, что интенсивность отказов повысилась, это связано с тем, что моделирование было произведено для системы, в которой и основные и резервные элементы работают совместно. Из-за сильно увеличенного числа работающих одновременно элементов по сравнению с нерезервированной системой, интенсивность отказов увеличилась. По Рисункам 3 и 6 можно наблюдать, что время выхода на установившийся режим у резервированной системы сильно уменьшилось по сравнению с нерезервированной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы был проведён проектный расчёт надёжности определения основных физико-химических качеств хлебобулочных изделий на производстве.

В ходе работы было установлено, что при резервировании из-за увеличения числа одновременно работающих элементов по сравнению с нерезервированной системой интенсивность отказов возросла. При этом время выхода на установившийся режим у

резервированной системы значительно сократилось по сравнению с системой без резервирования. Это может свидетельствовать о повышении надёжности производства за счёт использования резервированной системы.

При разработке реальной системы стоит оснастить каждый элемент системы средством контроля функционирования и запускать резервный элемент лишь при выходе из строя основного, это снизит количество одновременно работающих устройств, что не будет повышать интенсивность отказов всей системы, в то же время наличие резервных устройств обеспечит её высокую надёжность.

Таким образом, результаты исследования подтверждают важность проведения проектного расчёта надёжности при определении физико-химических качеств продукции на производстве. Использование резервированных систем может способствовать повышению эффективности и надёжности производственных процессов.

Дальнейшие исследования в этой области могут включать более глубокий анализ существующих методов, а также разработку новых подходов, которые будут учитывать специфику производства и требования к качеству продукции. Это позволит создать более надёжную систему контроля качества хлебобулочных изделий и обеспечить высокий уровень удовлетворённости потребителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические указания к выполнению лабораторной работы «Определение качества хлеба» по курсу «Общая технология пищевых производств» для студентов пищевых специальностей всех форм обучения / сост.: Е. И. Литвиненко, В. Н. Соловей, А. Г. Трошин и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2018. – 24 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616935, Рос. Федерация. Программа-тренажёр расчета надежности типовых одноконтурных систем автоматического регулирования температуры, давления, уровня и расхода вещества / С.А. Ельков (РФ), Н.А. Осмаков (РФ), Н.А. Сизова (РФ), В.Н. Якимов (РФ). – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.04.2023. Заявка № 2023615374, 23.03.2023.
3. ГОСТ 5667-2022 Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий. – Введ. 2023-07-01. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. 12 с.
4. Черных В.Я., Балуян Х.А., Печникова Ю.Ю., Сметанин Д.О. Анализ методов контроля показателей текстуры мякиша хлебобулочных изделий // Сборник статей IV Международной научно-практической конференции в рамках V Научно-практического форума, посвященного Дню Хлеба и соли. Пенза. 2023. С 172-179.

5. ГОСТ 21094-2022 Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности. – Введ. 2023-07-01. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. 12 с.
6. Арсланова И.Р. Методы контроля качества полуфабрикатов хлебопекарного производства // Материалы VI Международной молодежной научной конференции: в 4-х томах. Том 3. Санкт-Петербург. 2016. С. 161-164.
7. ГОСТ 5670-96 Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. – Введ. 1997-08-01. – М.: Стандартиформ, 2006. 6 с.
8. Дубровский Д.А., Воропаева Т.К. Определение кислотности различных сортов хлеба // Современные технологии и научно-технический прогресс. Ангарск. 2005. С. 26-27.
9. ГОСТ 5669-96 Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. – Введ. 1997-08-01. – М.: Стандартиформ, 2006. 5 с.
10. ГОСТ 5672-2022 Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли сахара. – Введ. 2023-07-01. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. 20 с.
11. ГОСТ 5668-2022 Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли жира. – Введ. 2023-07-01. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. 24 с.
12. ГОСТ 25832-89 Изделия хлебобулочные диетические. Технические условия. – Введ. 1990-07-01. – М.: Стандартиформ, 2009. 15 с.
13. А.Г. Щипицын Элементы прикладной теории надежности: учебное пособие / А.Г. Щипицын, А.А. Кошечев, Е.А. Алёшин и др. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. - 114 с.
14. Якимов В.Н., Сизова Н.А., Осмаков Н.А., Ельков С.А. Программа-тренажер разработки автоматизированных систем управления для нефте-технологических процессов // Актуальные проблемы науки и образования в современном вузе: Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Республика Башкортостан, г. Стерлитамак 26–28 сентября 2024 г. – Стерлитамак: Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий, 2024. – С. 460-465.
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024665792, Рос. Федерация. Программа-тренажер для обучения проектированию автоматизированных систем управления нефтетехнологическими процессами / Н.А. Сизова (РФ), В.Н. Якимов (РФ), Н.А. Осмаков (РФ), С.А. Ельков (РФ). – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 05.07.2024. Заявка № 2024664102, 19.06.2024.