

**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

УДК[658.5.012.1]

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПОМОЛА МУКИ:  
ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ****Егоров В.Б. <sup>1</sup>**<sup>1</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, ОдессаE-mail: [yegorov-victor@mail.ru](mailto:yegorov-victor@mail.ru)

ORCID: 0000-0003-4699-834X

Copyright © 2014 by author and the journal "Automation technological and business - processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DOI: 10.15673/

**Аннотация**

В результате проведенной идентификации каналов динамики с учетом параметров, полученных в результате оптимизации составлены математические модели каналов. Полученные математические модели позволят организовать имитационное моделирование соответствующих процессов в среде Simulink (Matlab). Детальный анализ случайных процессов изменения показателей качества сырья до очистки и обработки, случайных процессов изменения показателей качества готовой продукции (муки), а также каналов динамики их взаимосвязей необходим для комплексного анализа стабильности указанных процессов и возможности организации ее гарантирующего управления.

**Abstract**

As a result of the carried-out identification of channels of dynamics taking into account the parameters received as a result of optimization mathematical models of channels are made. The received mathematical models will allow to organize imitating modeling of the corresponding processes in the environment of Simulink (Matlab). The detailed analysis of casual processes of change of raw materials quality indicators before cleaning and processing, casual processes of change of indicators of quality of finished goods (flour), and also channels of dynamics of their interrelations is necessary for the complex analysis of stability of the specified processes and possibility of the organization of its guaranteeing management.

**Ключевые слова**

Идентификация, математическая модель, амплитудочастотная характеристика, фазочастотная характеристика, система гарантирующего управления, стабильность.

**1. Введение**

Формирование партий сырья на мукомольных предприятиях, как и на предприятиях пищевой промышленности, со строго одинаковыми характеристиками невозможно, т.к. характеристики сырья значительно варьируют из-за изменчивости химического состава, основой которого выступают биополимеры. Свойства сырья могут также существенно изменяться непосредственно в ходе процесса технологической переработки, а это означает воздействие на объект управления (ОУ) интенсивных возмущений по сырью. Возмущения по сырью, а также колебания показателей качества готовой продукции на действующем мукомольном предприятии были рассмотрены в работах [1,2] как случайные процессы, определены вероятностные характеристики, т.к. очевидным является, что если хотя бы одно из входных воздействий является случайным, то выходная переменная системы также будут представлять собой случайный процесс.



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО  
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Путем структурной и параметрической идентификации получены математические модели спектральных плотностей и автокорреляционных функций (как универсальных характеристик, описывающих случайных процесс [3]) следующих случайных процессов изменения показателей качества сырья до очистки и переработки и процессов изменения показателей качества готовой продукции: влажность зерна до очистки и переработки (%); натура зерна (удельная насыпная плотность) до очистки и переработки (г/л); процент содержания зерновых примесей (%) до очистки и переработки; содержание белка в зерне до очистки и переработки (%); влажность муки высшего сорта (%); содержание клейковины в муке высшего сорта (%); качество клейковины в муке высшего сорта (ед.); влажность муки второго класса (%); содержание клейковины в муке второго класса (%); качество клейковины в муке второго класса (ед.). Общая длина по каждому из 10-ти указанных случайных процессов составила 147 точек.

Для идентификации моделей динамики каналов «показатель качества сырья – показатель качества готовой продукции» использовалось специальное программное обеспечение, разработанное на кафедре Автоматизации производственных процессов Одесской национальной академии пищевых технологий. Так, для определения взаимосвязей и получения математических моделей динамики, были проанализированы следующие каналы: «влажность зерна до обработки и очистки  $W_1, \%$  – влажность муки высшего сорта  $W_2, \%$ », «влажность зерна до обработки и очистки  $W_1, \%$  – влажность муки второго сорта  $W_3, \%$ », «содержание белка обработки и очистки  $C, \%$  – качество клейковины в муке высшего сорта  $Kq_1, \%$ », «содержание белка обработки и очистки  $C, \%$  – качество клейковины в муке второго сорта  $Kq_2, \%$ », «Зерновая примесь до обработки и очистки  $A_3, \%$  – качество клейковины в муке высшего сорта  $Kq_1, \%$ », «Зерновая примесь до обработки и очистки  $A_3, \%$  – качество клейковины в муке второго сорта  $Kq_2, \%$ », «Натура сырья до обработки и очистки  $U, \text{г/л}$  – влажность муки высшего сорта  $W_2, \%$ », «Натура сырья до обработки и очистки  $U, \text{г/л}$  – влажность муки второго сорта  $W_3, \%$ ».

Как и на другие объекты управления в реальных условиях, на объект действуют возмущения, в том числе и неконтролируемые. Это приводит к тому, что в составе выходного сигнала останутся низкочастотная составляющая и шумы. Поскольку идентификация рассматриваемых каналов может вестись только на основе методов статистической идентификации, то оба сигнала для каждого из идентифицируемых каналов должны быть центрированы. Это предопределяет использование центрирующих фильтров. При этом свойства фильтров должны были бы быть одинаковыми, для взаимного компенсирования друг друга и нивелирования влияния на результаты идентификации соответствующего канала.

Однако, из-за недостаточной представительности выборки, а также разбросу данных во временном диапазоне на 2 месяца, проведение указанного центрирования оказалось нецелесообразным.

В инженерной практике более удобной для аналитических преобразований характеристик случайных процессов является частотная область. Поэтому идентификация каналов производилась в частотной области. Таким образом, в ходе идентификации проводилась идентификация амплитудочастотной и фазочастотной характеристик. Дополнительно обозначим, что амплитудочастотной характеристикой (АЧХ или  $A(\omega)$ ) системы называется отношение амплитуды выходного гармонического сигнала к амплитуде входного в функции его частоты  $\omega$  в установившемся режиме [4].

$$A(\omega) = \frac{y^{\max}(\omega)}{x^{\max}(\omega)}, \quad x(t) = x^{\max} \sin \omega t,$$

$$y(t) = y^{\max} \sin(\omega t + \varphi); \quad \omega \in (-\infty, \infty).$$

Фазочастотной характеристикой (ФЧХ или  $\varphi(\omega)$ ) системы называется разность фаз между выходным и входным сигналами в установившемся режиме [4].

$$\varphi(\omega) = \varphi_y(\omega) - \varphi_x; \quad \varphi_x = \text{const} \equiv 0; \quad \omega = \frac{2\pi}{T};$$

$$\varphi = \frac{2\pi \cdot \Delta t_{\varphi}}{T}; \quad \omega \in (-\infty, \infty).$$



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

**2. Анализ канала «Влажность зерна до обработки и очистки – влажность муки высшего сорта» в частотной области.** Далее приведены реализации случайных процессов изменения входной и выходной переменной (рис. 1) и идентификация соответствующего канала (рис. 2 – рис. 4)

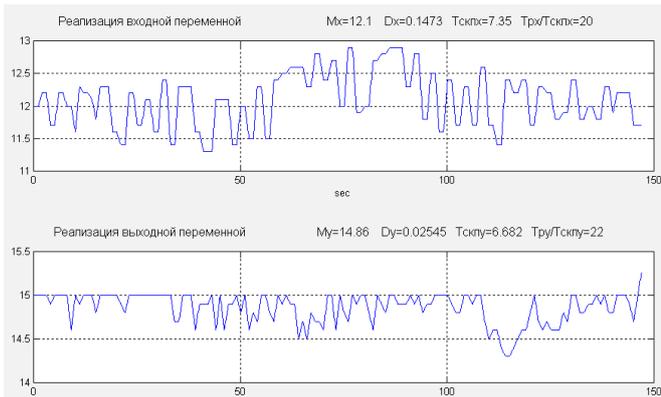


Рис. 1 Визуализация входной и выходной переменных

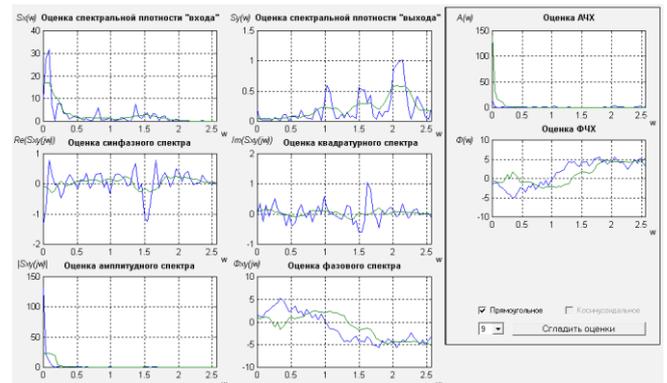


Рис. 2 Результаты оценивания спектральной плотности входной и выходной переменных и их взаимных спектров, АЧХ и ФЧХ идентифицируемого канала

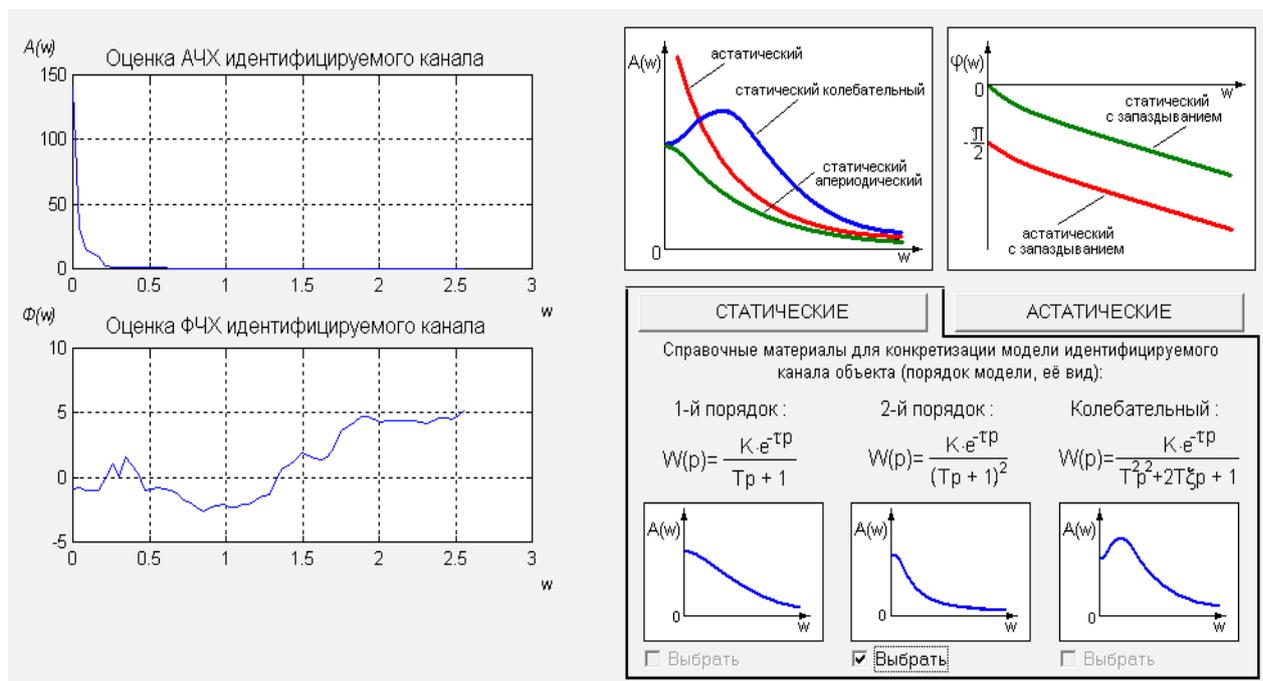


Рис. 3 Структурная идентификация канала



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

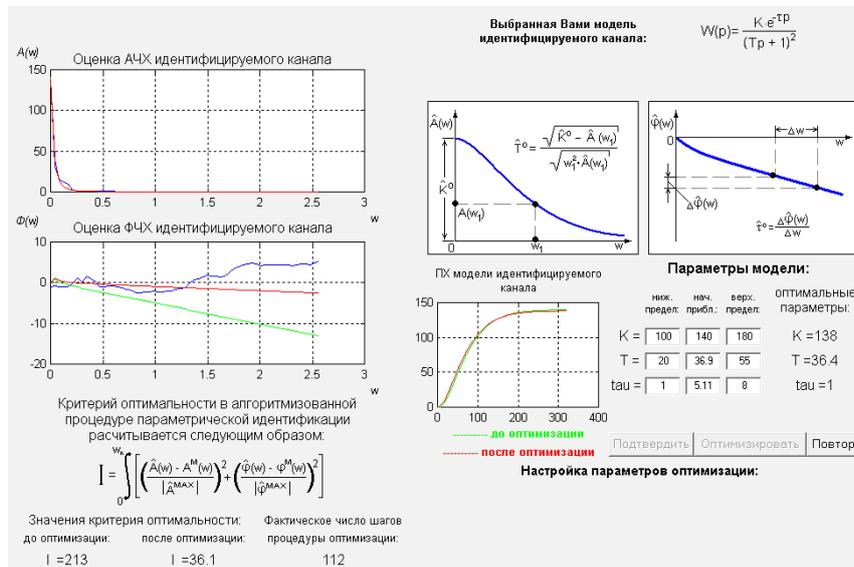


Рис. 4 Параметрическая идентификация канала

Далее приведена модель идентифицируемого канала «Влажность зерна до обработки и очистки – влажность муки высшего сорта» с учетом параметров, полученных в результате оптимизации:

$$W_1(p) \approx \frac{138e^{-p}}{(36.4p + 1)^2}; \quad (1.1)$$

Аналогично приведенному выше были проанализированы и другие каналы. Таким образом, исключительно в контексте рассмотренных каналов можно представить структурно – параметрическую схему технологического процесса помола муки как объекта управления в общем виде (Рис. 5)

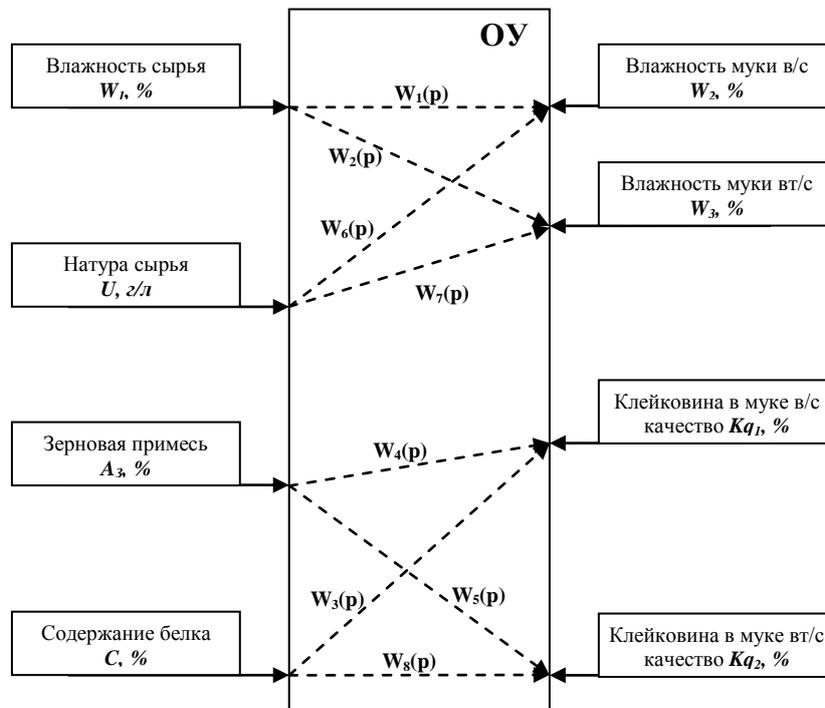


Рис. 5 Структурно – параметрическая схема технологического процесса помола муки



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО  
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

**Выводы:** В результате проведенной структурной и параметрической идентификации процессов изменения показателей качества сырья [1] и процессов изменения показателей качества готовой продукции как случайных процессов [2], были получены частотные характеристики, математические модели автокорреляционных функций и спектральных плотностей рассмотренных случайных процессов. Результаты идентификаций приведены в таблицах 1-4.

Таблица 1 Математические модели спектральных плотностей и автокорреляционных функций процессов изменения показателей качества сырья

Наименование процесса	Спектральная плотность	Автокорреляционная функция
Изменение влажности сырья до очистки и обработки (%)	$Sx(w) \approx \frac{0.1}{w^2 + 0.1}; (1.2)$	$R(\tau_K) \approx 0.2 \exp\{-0.2 \tau_K \}; (1.3)$
Изменение природы сырья до очистки и обработки (г/л)	$Sx(w) \approx \frac{17}{w^2 + 0.03}; (1.4)$	$R(\tau_K) \approx 46 \exp\{-0.2 \tau_K \}; (1.5)$
Изменение зерновой примеси в сырье до очистки и обработки (%)	$Sx(w) \approx \frac{w^2}{(w^2 + 0.4)^2}; (1.6)$	$R(\tau_K) \approx 0.4 \exp\{-0.7 \tau_K \} (1 - 0.7 \tau_K ) (1.7)$
Процесса изменения содержания белка в сырье до очистки и обработки (%)	$Sx(w) \approx \frac{1}{(w^2 - 2)^2 + w^2}; (1.8)$	$R(\tau_K) \approx 0.3 \exp\{-0.5 \tau_K \} (1.9)$ $(\cos(1.4 \tau_K ) + 0.3 \sin(1.4 \tau_K ));$

Таблица 2 Частотные характеристики исследованных процессов изменения свойств сырья

Наименование процесса	Mx	$\sigma$	Tскп, сутки
Изменение влажности сырья до очистки и обработки (%)	12.1	0.38	3
Изменение природы сырья до очистки и обработки (г/л)	774.2	6.82	4,8
Изменение зерновой примеси в сырье до очистки и обработки (%)	7.35	0.64	2,3
Процесса изменения содержания белка в сырье до очистки и обработки (%)	12.46	0.54	2,5



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО  
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Таблица 3 Математические модели спектральных плотностей и автокорреляционных функций процессов изменения показателей качества муки

Наименование процесса	Спектральная плотность	Автокорреляционная функция
Изменение влажности муки высшего сорта (%)	$Sx(w) \approx \frac{0.1}{w^2 + 0.1}; (1.10)$	$R(\tau_k) \approx 0.1 \exp\{-0.2 \tau_k \}; (1.11)$
Изменение количества клейковины в муке высшего сорта (%)	$Sx(w) \approx \frac{0.1}{w^2 + 0.1}; (1.12)$	$R(\tau_k) \approx 0.4 \exp\{-0.1 \tau_k \}; (1.13)$
Изменение качества клейковины в муке высшего сорта (ед.)	$Sx(w) \approx \frac{115}{(w^2 + 1.3)^2}; (1.14)$	$R(\tau_k) \approx 20 \exp\{-1.1 \tau_k \} (1.15)$ $(1 + 1.1 \tau_k );$
Изменение влажности муки второго сорта (%)	$Sx(w) \approx \frac{0.1}{w^2 + 0.1}; (1.16)$	$R(\tau_k) \approx 0.1 \exp\{-0.4 \tau_k \}; (1.17)$
Изменение количества клейковины в муке второго сорта (%)	$Sx(w) \approx \frac{w^2}{(w^2 - 0.4)^2 + 0.7w^2}; (1.18)$	$R(\tau_k) \approx 0.5 \exp\{-0.4 \tau_k \} (1.19)$ $(\cos(0.5 \tau_k ) -$ $-\sin(0.5 \tau_k ));$
Изменение качества клейковины в муке второго сорта (ед.)	$Sx(w) \approx \frac{11}{w^2 + 0.1}; (1.20)$	$R(\tau_k) \approx 18 \exp\{-0.3 \tau_k \}; (1.21)$

Таблица 4 Частотные характеристики исследованных процессов изменения свойств готовой продукции (муки)

Наименование процесса	Mx	$\sigma$	Tскп, суток
Изменение влажности муки высшего сорта (%)	14,86	0,16	2,7
Изменение количества клейковины в муке высшего сорта (%)	27,37	0,65	5,5
Изменение качества клейковины в муке высшего сорта (ед.)	74,2	4,52	3,4
Изменение влажности муки второго сорта (%)	14,02	0,32	2,2
Изменение количества клейковины в муке второго сорта (%)	25,18	0,73	2,6
Изменение качества клейковины в муке второго сорта (ед.)	92,18	4,28	3,5

В результате проведенной в данной работе идентификации каналов динамики с учетом параметров, полученных в результате оптимизации, получены следующие математические модели рассмотренных каналов:



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО  
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Таблица 5 Математические модели идентифицированных каналов динамики, ранее приведенные формулы (1.1) – (1.8)

Канал	Математическая модель
Влажность зерна до обработки и очистки – влажность муки высшего сорта	$W_1(p) \approx \frac{138e^{-p}}{(36.4p+1)^2}; (1.22)$
Влажность зерна до обработки и очистки – влажность муки второго сорта	$W_2(p) \approx \frac{0,4e^{-0,01p}}{0,1p^2 + 0,7p + 1}; (1.23)$
Содержание белка до обработки и очистки – качество клейковины в муке высшего сорта	$W_3(p) \approx \frac{1860e^{-1,3p}}{95.5p+1}; (1.24)$
Зерновая примесь до обработки и очистки – качество клейковины в муке высшего сорта	$W_4(p) \approx \frac{135e^{-2,6p}}{41p+1}; (1.25)$
Зерновая примесь до обработки и очистки – качество клейковины в муке второго сорта	$W_5(p) \approx \frac{220e^{-1,3p}}{79p+1}; (1.26)$
Натура сырья до обработки и очистки – влажность муки высшего сорта	$W_6(p) \approx \frac{0,6e^{-10p}}{239p+1}; (1.27)$
Натура сырья до обработки и очистки – влажность муки второго сорта	$W_7(p) \approx \frac{0,03e^{-3p}}{7,8p^2 + 0,8p + 1}; (1.28)$
Содержание белка до обработки и очистки – качество клейковины в муке второго сорта	$W_8(p) \approx \frac{123e^{-3,5p}}{63,2p+1}; (1.29)$

Полученные математические модели позволяют организовать имитационное моделирование соответствующих процессов в среде Simulink (Matlab). Детальный анализ случайных процессов изменения показателей качества сырья до очистки и обработки, случайных процессов изменения показателей качества готовой продукции (муки), а также каналов динамики их взаимосвязей необходим для комплексного анализа стабильности указанных процессов и возможности организации ее гарантирующего управления.

**Литература:**

1. Егоров В.Б., Управление процессом помола муки: анализ показателей качества сырья как случайных процессов. // Журнал «Автоматизация технологических и бизнес-процесов». – Одесса, 2014. – № 18;
2. Егоров В.Б., Управление процессом помола муки: анализ изменений показателей качества готовой продукции как случайных процессов. // Журнал «Зерновые продукты и комбикорма». – Одесса, 2014. – июнь;
3. Бесекерский В.А., Попов В.П. Теория систем автоматического управления. – изд. 4-е, перераб. и доп. - СПб.,–Профессия, 2007. – 752 с.;
4. Хобин В.А., Теория автоматического управления// Конспект лекций. – Одесса, 2012. – 185 с.;