

6. Выбор конкретного варианта использования препаратов ПНЖК должен осуществляться с учетом вида мясного продукта.

7. Использование разработанных добавок, наряду с улучшением технологических показателей

мясного сырья, позволяет придать готовой продукции функциональные свойства.

**Список литературы:**

1. Adzitey F., Nurul H. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences // International Food Research Journal – 2011. – v.18 – p.11-20.
2. Bjerregaard P., Dyeberg J. Mortality from ischemic heart disease and cerebrovascular disease in Greenland // Int. J. Epidemiol. – 1988. – v.17. – p.514-520.
3. Denaburski J., Bak T., Matusевич P. Relationships between the turnover before slaughter, welfare and the occurrence of defective DFD type meat in cattle // Pol. J. Vet. Sci. – 2004. – v.7. – N.1. – p.67-73.
4. Gill C.O., Newton K.G. Spoilage of vacuum-packaged dark, firm, dry meat at chill temperatures // Appl. Environ. Microbiol. – 1979. – v.37. – N.3. – p.362-364.
5. Hooper-Kinder C.A., Davidson P.M., Duckett S.K. Growth of Escherichia coli O157:H7, Salmonella typhimurium DT104, and Listeria monocytogenes in dark cutting beef at 10 or 22 degrees C // J. Food Prot. – 2002. – v.65. – N.1. – p.196-198.
6. Viljoen H.F., de Kock H.L., Webb E.C. Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks // Meat Sci. – 2002. – v.61. – N.2. – p.181-185.
7. Zhang L., Barbut S. Effects of regular and modified starches on cooked pale, soft, and exudative; normal; and dry, firm, and dark breast meat batters // Poult. Sci. – 2005. – v.84. – N.5. – p.789-796.
8. Шипулин В.И. Качество мясного сырья и проблемы его переработки // Вестник СевКавГТУ – 2006. – т.5. – №1. – с.14-17.

Отримано редакцією .06.2013 р.

УДК 664.72.004:504

**ПЕТУШЕНКО С.Н., ассистент**

Одесский технический колледж Одесской национальной академии пищевых технологий

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ  
МЕЛКОСЕМЕННЫХ КУЛЬТУР**

Приведены результаты экспериментальных исследований процессов теплообмена при продувании зерна холодным воздухом. Получены обобщающие уравнения для рапса.

**Ключевые слова:** теплообмен, рапс, обобщающие уравнение.

The results of experimental studies of heat exchange by blowing grains to cold air. Obtained by generalizing the equation for rape.

**Keywords:** heat transfer, rape, generalizing equation.

Цель исследований – установить, какие режимы тепловой и холодильной обработки семян мелкосеменных культур обеспечат экологически чистые способы их хранения, а также позволят создать энерго- и ресурсосберегающее оборудование.

Для решения этих задач проводились исследования на специально изготовленной лабораторной установке. Объектом исследований было выбрано зерно рапса [1]:

Общий вид установки представлен на рис 1. Принципиальная схема лабораторной установки изображена на рис.2.

Установка состоит из прямоугольного теплоизолированного ( $\delta_{из} = 30\text{мм}$ ) корпуса 1 (1900 x 500мм) высотой 570 мм, разделенного на два отделения перегородкой. Воздуховоды 2, соединяющие два отделения, выполнены из пластмассовых труб в виде конструкции «труба в трубе» межтрубное пространство заполнено пенополиуретаном. В одном отделении происходит термообработка воздуха перед подачей на охлаждение зерна. В другом отделении расположена экспериментальная ячейка 3, представляющая собой цилиндрический бункер высотой 370 мм внутрен-

ний диаметр которого составляет 104 мм, теплоизолированный снаружи. В нижней части закреплена мелкая металлическая сетка 4 в виде сита, а верхняя открыта. Для визуализации уровня обрабатываемого мелкосеменного зерна в бункере сделано прозрачное окошко по высоте с мерной шкалой 5.



**Рис.1. Общий вид установки**



мерной шкалой на прозрачном окошке соответственно 100 мм, 200 мм и 275 мм.

Взвешивалась масса самой ячейки, а затем вместе с зерном на электронных весах. Температура зерна определялась с помощью термометров сопротивления с цифровым выходом на электронный блок.

Ячейка устанавливалась в камеру, причем конструкция соединения ячейки с воздухопроводом обеспечивало герметичное быстроразъемное соединение, не допускающее боковых перетечек воздуха при продувке зерна.

Скорость и расход воздуха измерялся на выходе экспериментальной ячейки. Для определения скорости и расхода воздуха использовался микроанометр типа ММН и дифференциальная трубка Пито. Время отслеживалось по секундомеру. Через каждые 60 с ячейка снималась и взвешивалась на электронных лабораторных весах, а также измерялась температура зерна в верхней части (на расстоянии 10 мм от края насыпи) и в средней части насыпи. После этого экспериментальная ячейка помещалась в камеру охлаждения и эксперимент продолжался.

В ходе проведения эксперимента также измерялась температура воздуха поступающего на охлаждение зерна и уходящего после термообработки.

Опыты проводились с одним и тем же сортом зерна, которое имело одинаковую начальную температуру и влажность. Скорость, расход и температура охлаждающего воздуха также были одинаковы во всех опытах. Каждый опыт заканчивался при достижении одинаковой температуры зерна вверху насыпи независимо от высоты слоя. Начальная и конечная влажность зерна определялась в лабораторных условиях на приборе СЕШ-3М.

Получены кривые изменения температур воздуха на входе и выходе из слоя и температуры зерна в слое высотой 100 мм, 200 мм и 275 мм (рис. 36).

Также были получены графики изменения скорости охлаждения зерна во времени изменения и влагосодержания зерна в зависимости от снижения температуры (рис. 7-8).

Анализ уравнений описывающих процесс теплообмена между фильтрующимся газом и поверхностью частиц может быть описан в виде следующих критериальных уравнений [2]:

$$Nu = a \cdot Re_s^b \cdot Pr^{0.33}$$

где  $a, b$  – эмпирические коэффициенты, определяемые экспериментально;

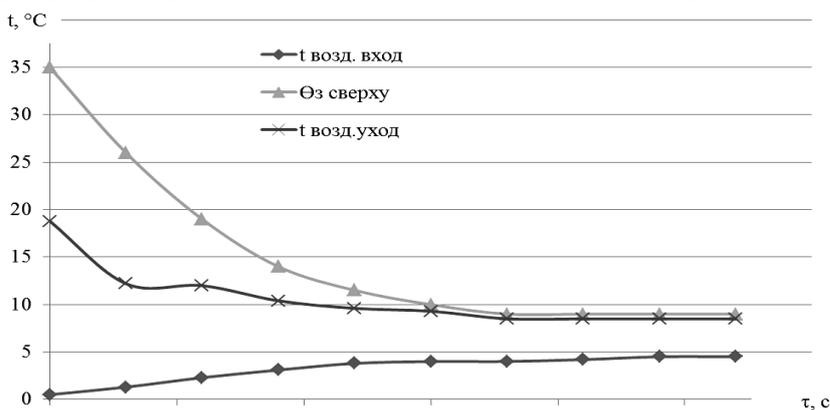


Рис. 3. Изменение температур воздуха на входе и выходе из слоя и температуры зерна в слое высотой 100 мм

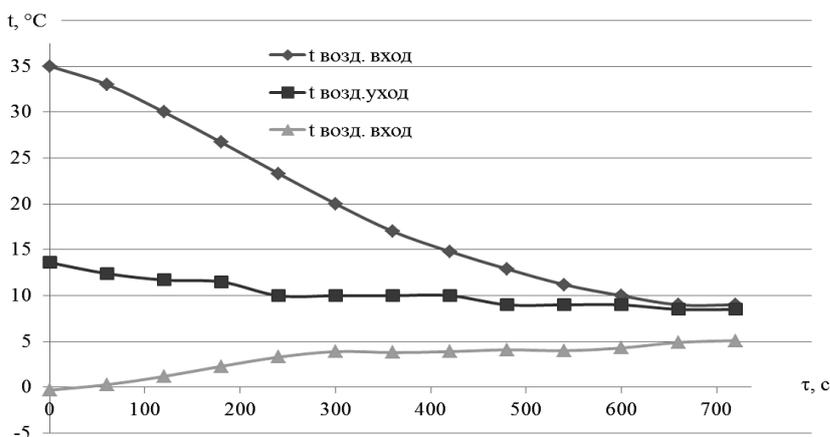


Рис. 4. Изменение температур воздуха на входе и выходе из слоя и температуры зерна в слое высотой 200 мм

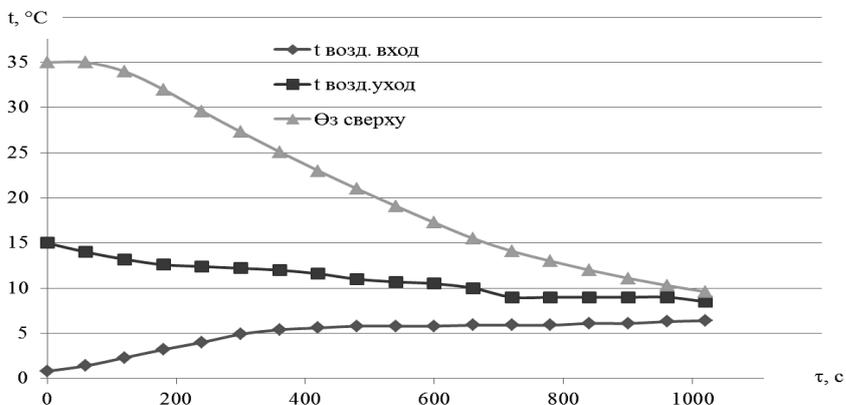


Рис. 5. Изменение температур воздуха на входе и выходе из слоя и температуры зерна в слое высотой 275 мм

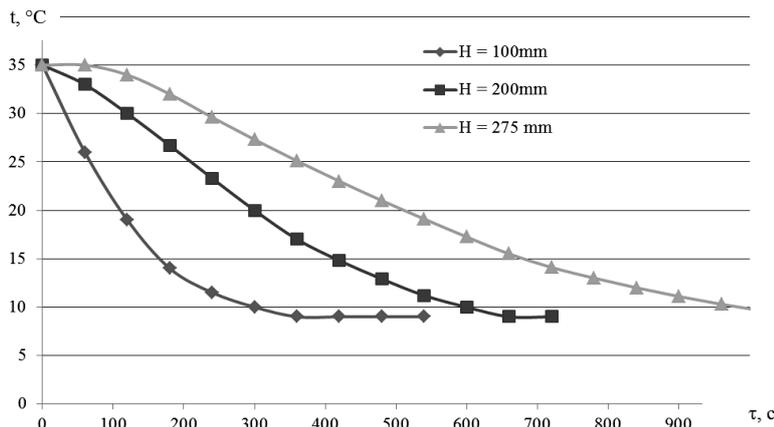


Рис. 6. Изменение температуры зерна в зависимости от наполнения (загрузки) во времени

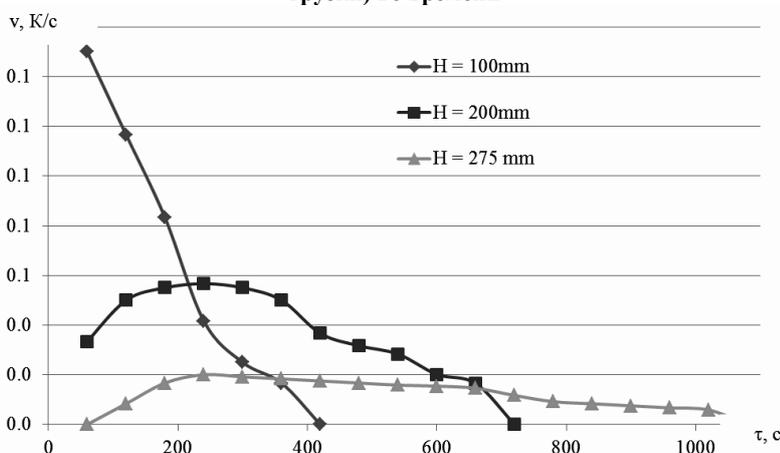


Рис. 7. График изменения скорости охлаждения зерна во времени

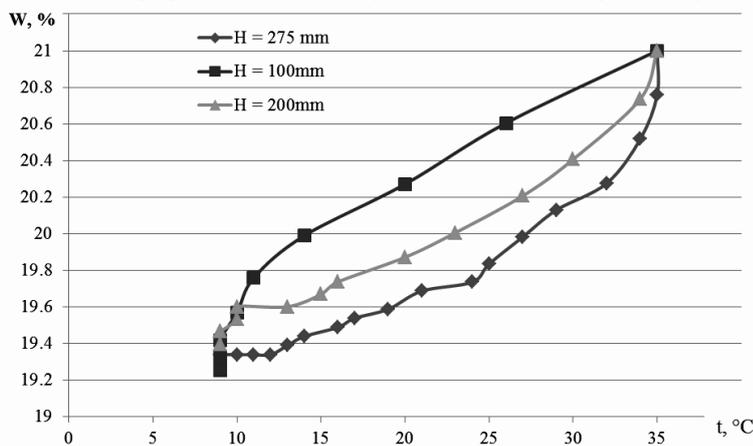


Рис. 8. График изменения влагосодержания зерна в зависимости от снижения температуры

$$Re_s = \frac{4\Phi Re}{6(1-\varepsilon)}; Re_s = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}, v - \text{истинная скорость газа, м/с;}$$

$$\Phi = \frac{\pi d_q^2}{4S} - \text{коэффициент сферичности час-$$

тиц объемом  $V = \frac{\pi d_q^3}{6}$  и миделевым сечением  $S$ .

Для расчета теплоотдачи зернистого материала применяется уравнение

$$Nu = 2(1 + 0.276 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3})$$

В приведенных выше уравнениях не учитывается влияние высоты слоя зерна на условия теплообмена при движении воздуха. Поэтому, целью работы было изучение влияния высоты слоя на процесс охлаждения зерна.

Критериальное уравнение предлагается дополнить симплексом  $\frac{d}{h}$ , который учитывает высоту загрузки ( $h$ ) и диаметр слоя ( $d$ ).

Общий вид уравнения описывающего процесс охлаждения зерна шаровидной формы, к которому

относится и исследуемое зерно рапса, можно представить в виде:

$$Nu = 2 + a \cdot Re_s^{0.5} \cdot Pr^{0.33} \cdot \left(\frac{d}{h}\right)^b \quad (1)$$

где  $Nu$  – критерий Нуссельта,

$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$ ;  $Pr$  – критерий

Прандтля,  $Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}$ .

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от движущегося воздуха к зерну, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);

$\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

$c$  – теплоемкость воздуха, Дж/кг·К;

$d$  – диаметр трубы, м.

$a, b$  – эмпирические коэффициенты, которые необходимо

определить экспериментально.

Для определения неизвестных коэффициентов в уравнении (1) необходимо разработать соответствующую методику.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 1

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  определяется из уравнения:

$$Q_{охл} = \alpha \cdot F \cdot (t_H - t_K),$$

где F – площадь поверхности зерна, м<sup>2</sup>;

Таблица 1  
Исходные данные для расчета

Показатель	Единицы измерения	Значение
Внутренний диаметр установки	м	0,104
Высота слоя зерна	м	0,1; 0,2; 0,375
Масса слоя зерна, M	кг	0,601; 1,206; 1,650
Начальная температура зерна, t <sub>H</sub>	°C	35
Конечная температура зерна, t <sub>K</sub>	°C	9
Диаметр семян рапса, dv	мм	1,5...2,5
Теплоемкость рапса, c <sub>3</sub>	Дж/(кг·K)	2200
Коэффициент теплопроводности рапса	Вт/(м·K)	0,35
Насыпная плотность слоя	кг/м <sup>3</sup>	708
Плотность твердой фазы	кг/м <sup>3</sup>	1150
Масса 1000 шт зерна рапса, m <sub>1000</sub>	гр	5
Скорость движения воздуха, v	м/с	0,8
Свойства воздуха		
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1,293
Теплоемкость	Дж/кг·K	1006
Коэффициент теплопроводности	Вт/(м·K)	0,024
Коэффициент динамической вязкости	Па·с	1,742·10 <sup>-5</sup>
Температура воздуха	°C	3,8
Температура воздуха по мокрому термометру	°C	1,1
Относительная влажность воздуха	%	82
Влагосодержание	гр/кг	4,1
Энтальпия воздуха на входе	Дж/к	14,1

$$F = \frac{1}{m_{1000}} \cdot S_1 \cdot M;$$

S<sub>1</sub> - площадь одной зерновки, м<sup>2</sup>;

M - масса зерна;

$$S_1 = \pi \cdot dv^2;$$

dv - средний диаметр семян рапса, м.

Количество теплоты необходимое для охлаждения зерна определяется из уравнения:

$$Q_{охл} = M \cdot c_3 \cdot (t_H - t_K)$$

где c<sub>3</sub> – теплоемкость зерна рапса, Дж/кг·K;

t<sub>H</sub> – начальная температура зерна, °C;

t<sub>K</sub> – конечная температура зерна, °C;

Общее количество теплоты состоит из теплоты на охлаждение зерна (Q<sub>охл</sub>) и потерь в окружающую среду, которые принимаются на уровне 5 % от Q<sub>охл</sub> :

$$Q_{общ} = (1 + 0.05) Q_{охл}$$

Эффективный коэффициент теплообмена

$$\alpha_3 = \frac{Q_{общ}}{F \cdot (t_H - t_K)}$$

Расчетные значения параметров, входящих в уравнение (1) приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Значения параметров входящих в уравнение (1)

Параметр	Высота слоя, м		
	0,1	0,2	0,275
Эффективный коэффициент теплообмена	2,188	1,277	0,851
Критерий Нуссельта, Nu	9,328	5,441	3,627
Критерий Рейнольдса, Re	1671	1671	1671
Критерий Прандтля, Pr	0,718	0,718	0,718
Симплекс, d/l	1,04	0,52	0,38

Для определения неизвестных коэффициентов a и b преобразуем уравнение (1) к следующему виду:

$$\frac{Nu - 2}{Re_3^{0.5} \cdot Pr^{0.33}} = a \cdot \left(\frac{d}{h}\right)^b$$

Выполняем построение в логарифмических координатах зависимости комплекса входящего в левую часть уравнения от симплекса  $\frac{d}{h}$  (рис. 7).

Значения неизвестных коэффициентов будут равны: a=0.2; b=1.423.

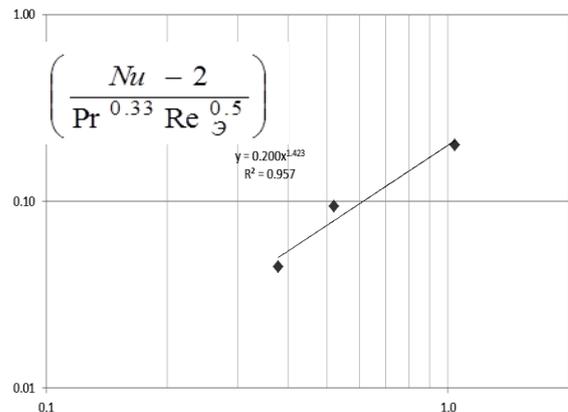


Рис. 9. Определение значений эмпирических коэффициентов в уравнении (1)

Полученное уравнения для определения коэффициента теплоотдачи рапса будет иметь следующий вид:

$$Nu = 2 + 0.2 \cdot Re_3^{0.5} \cdot Pr^{0.33} \cdot \left(\frac{d}{h}\right)^{1.423}, \quad (2)$$

Диапазон изменения симплекса:  
 $1,1 \leq \left(\frac{d}{h}\right) \leq 0,37$

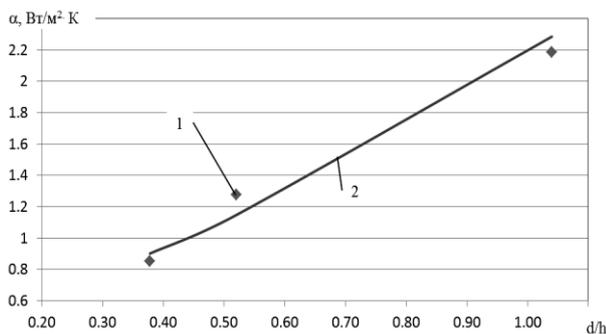


Рис.10. График изменения коэффициента теплообмена от воздуха к слою зерна: 1 – эксперимент, 2 – расчет

На рис.10 приведено сравнение результатов экспериментальных исследований и полученных по уравнению (2)

#### Выводы

Выполнены экспериментальные исследования процессов теплообмена в плотном продуваемом слое мелкосеменного зерна. Получено обобщающее уравнение для коэффициентов теплообмена на примере рапса. Относительная погрешность определения коэффициента теплоотдачи составляет 10%. Обобщенные результаты могут быть использованы для проектирования систем первичной холодильной обработки мелкосеменного зерна.

#### Список литературы:

1. Титлов, А.С. Анализ перспектив применения искусственного холода для хранения зерна в странах СНГ [Текст] / А.С.Титлов, С.Н.Кудашев, С.Н.Петушенко // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья : материалы международ. науч.-практ. конф. (23-24 июня 2011 г.) / Рос. акад. с.х. наук, Гос. науч. учреждение Краснодар. НИИ хранения и переработки с.-х. продукции. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2011. – С.49-53.
2. Горбис, З.Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков [Текст] / З.Р.Горбис. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1970. – 424 с.

Отримано редакцію .06.2013 р.

УДК[658.5.012.1]

ЕГОРОВ В.Б., канд. техн. наук, ассистент

Одесская национальная академия пищевых технологий

## АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Применение оценки стабильности технологического процесса существенно расширяет возможности системы автоматического управления, что важно для повышения эффективности технологических процессов пищевых и зерноперерабатывающих производств. Важность внедрения функции управления стабильностью технологической системы тяжело переоценить, так как широкое внедрение системы контроля качества НАССР не позволяет рассматривать возможность управления качеством технологических процессов в динамике, а только в статике, что не гарантирует производство качественной продукции.

**Ключевые слова:** гарантирование, стабильность, объект управления, технологический процесс.

Application of an assessment of stability of technological process significantly expands possibilities of system of automatic control that is important for increase of efficiency of technological processes of food products. Stability of technological system it is difficult to overestimate importance of introduction of function of management as widespread introduction of the monitoring system of quality of HACCP doesn't allow to consider possibility of quality management of technological processes in dynamics, but only in a static that doesn't guarantee production of qualitative production.

**Keywords:** ensuring stability, facility management, technological processes.

Общие тенденции развития промышленности в 21 веке свидетельствуют о непрерывном ужесточении требований к качеству и безопасности производимого продукта, ко времени, которое затрачивается на его производство и к себестоимости его получения. На особый уровень поднимается вопрос о недопустимости возникновения аварийных остановок технологических процессов и простоя оборудования. Условия рыночных отношений быстро обучили частный бизнес, что простой оборудова-

ния – это потеря времени, а время это не заработанные деньги, деньги, фактически отданные конкуренту. И пищевая промышленность здесь не исключение. В сложившихся непростых обстоятельствах становится очевидным, что обычных систем автоматического управления технологическими процессами, обеспечивающих соблюдение регламентных переменных в заданных диапазонах полей допусков, становится уже не достаточно. Необходимым стало изучение возможности прогнозирования работы технологической системы, изучение свойств технологического процесса, свидетельствующих о субпроцессах внутри системы, о трендах их изменений. Важным фактором в решении описанной проблемы становится стабильность, как свойство технологического процесса.

Так или иначе, вопрос о стабильности процесса/системы как эквивалента свойства устойчивости, эффективности функционирования, точности, равновесия и т.д. поднимался учеными неоднократно. Следует отметить важный труд в этом направлении ученика Чебышева П.Л. нашего соотечественника Ляпунова Александра Михайловича «Общая задача об устойчивости движения», по которому он в 1892 году защитил докторскую диссертацию. Важный вклад в развитие вопроса о стабильности в дальнейшем принесли также В. Кафаров, В. Хубка, Н. Бусленко, С.Саркисян, В. Панфилов, С. Ахназарова, А. Воронов и др.