



ISSN 2414-438X (Print)  
ISSN 2414-441X (Online)

# ***THEORY AND PRACTICE OF MEAT PROCESSING***

# ***ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПЕРЕРАБОТКИ МЯСА***

Vol. I (3), 2016

**Федеральное агентство научных организаций**  
**Federal Agency of Scientific Organizations**  
**(FANO of Russia)**

Федеральное государственное бюджетное  
 научное учреждение «Всероссийский  
 научно-исследовательский институт мясной  
 промышленности имени В.М. Горбатова»  
**Federal State Budgetary Scientific Institution**  
**«The V.M. Gorbatov All-Russian Meat**  
**Research Institute»**  
**(FGBNU V.M. Gorbatov VNIIMP).**

**Теория и практика переработки мяса**  
**Theory and Practice of Meat Processing**

**Учредитель и издатель: Founder and publisher:**  
 Федеральное государственное бюджетное  
 научное учреждение «Всероссийский  
 научно-исследовательский институт мясной  
 промышленности имени В.М. Горбатова»

**Federal State Budgetary Scientific Institution**  
**«The V.M. Gorbatov All-Russian**  
**Meat Research Institute»**

**Главный редактор:**

**Лисицын Андрей Борисович**, доктор технических  
 наук, профессор, академик РАН, директор ФГБНУ  
 «Всероссийский научно-исследовательский  
 институт мясной промышленности  
 им. В.М. Горбатова», г. Москва, Россия

**Заместитель главного редактора:**

**Чернуха Ирина Михайловна**, доктор технических  
 наук, профессор, главный научный сотрудник  
 ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский  
 институт мясной промышленности  
 им. В.М. Горбатова», г. Москва, Россия

**Научный редактор:**

**Горбунова Наталья Анатольевна**, кандидат  
 технических наук, ученый секретарь ФГБНУ  
 «Всероссийский научно-исследовательский  
 институт мясной промышленности  
 им. В.М. Горбатова», г. Москва, Россия

**Выпускающий редактор:**

**Захаров Александр Николаевич**, кандидат  
 технических наук, старший научный сотрудник,  
 заместитель директора ФГБНУ «Всероссийский  
 научно-исследовательский институт мясной  
 промышленности им. В.М. Горбатова»,  
 г. Москва, Россия.

**Printing Office:**

109316, Talalikhina str. 26, Moscow, Russia,  
 The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research  
 Institute.

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре  
 Регистрационные данные:

ПИ № ФС77-60789 от 11.02.2015 года

ЭЛ № ФС 77-60810 от 11.02.2015 года

ISSN 2414-438X (Print)

ISSN 2414-441X (Online)

**Редакционная коллегия:**

**Баженова Баяна Анатольевна**, доктор технических наук,  
 доцент, профессор кафедры «Технология мясных  
 и консервированных продуктов» ФГБОУ ВПО  
 Восточно-Сибирский университет технологии  
 и управления, г. Улан-Удэ, Россия

**Белозеров Георгий Автономович**, доктор технических  
 наук, научный руководитель ФГБНУ «Всероссийский  
 научно-исследовательский институт холодильной  
 промышленности», г. Москва, Россия

**Горлов Иван Федорович**, доктор сельскохозяйственных  
 наук, профессор, академик РАН, научный руководитель  
 ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт  
 производства и переработки мясомолочной продукции»,  
 г. Волгоград, Россия

**Дедерер Ирина**, кандидат технических наук, научный  
 сотрудник Института Макса Рубнера, Кульбах, ФРГ.

**Джорджевич Весна**, доктор, исполняющий обязанности  
 директора Института гигиены и технологии мяса,  
 г. Белград, Сербия

**Дунченко Нина Ивановна**, доктор технических наук,  
 профессор, заведующая кафедрой «Управление качеством  
 и товароведения продукции ФГБОУВО «Российский  
 государственный аграрный университет имени  
 К.А. Тимирязева», Москва, Россия

**Жайлаубаев Жанибек Далелович**, доктор технических  
 наук, член корреспондент АСХН РК, директор СФ  
 ТОО «Казахский научно-исследовательский институт  
 перерабатывающей и пищевой промышленности»,  
 г. Семей, Республика Казахстан

**Замарацкая Галя**, доктор наук, Шведский  
 сельскохозяйственный университет, г. Уппсала, Швеция

**Кочеткова Алла Алексеевна**, доктор технических  
 наук, профессор, руководитель лаборатории пищевых  
 биотехнологий и специализированных продуктов ФГБНУ  
 «Федеральный исследовательский центр питания,  
 биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Россия

**Мелещеня Алексей Викторович**, кандидат экономических  
 наук, директор НПРДУП «Институт мясо-молочной  
 промышленности», г. Минск, Республика Беларусь

**Мирошников Сергей Александрович**, доктор  
 биологических наук, профессор, директор ФГБНУ  
 «Всероссийский научно-исследовательский институт  
 мясного скотоводства», г. Оренбург, Россия

**Римарева Любовь Вячеславовна**, доктор технических  
 наук, профессор, чл.-корр. РАН, заслуженный деятель  
 науки РФ, заместитель директора Всероссийского научно-  
 исследовательского института пищевой биотехнологии —  
 филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр  
 питания, биотехнологии и безопасности пищи»,  
 г. Москва, Россия

**Рудь Андрей Иванович**, доктор сельскохозяйственных  
 наук, главный научный сотрудник отдела генетики,  
 биотехнологии и технологии в свиноводстве ФГБНУ  
 «Всероссийский научно-исследовательский институт  
 животноводства имени академика Л.К. Эрнста»,  
 г. Подольск, Россия

**Риочи Саката**, профессор, университет Аджабу,  
 г. Сагамихара, Япония

**Семенова Анастасия Артуровна**, доктор технических  
 наук, профессор, заместитель директора ФГБНУ  
 «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной  
 промышленности им. В.М. Горбатова», г. Москва, Россия

**Тимошенко Николай Васильевич**, доктор технических  
 наук, профессор, заведующий кафедрой технология  
 хранения и переработки животноводческой продукции  
 Кубанского ГАУ, г. Краснодар, Россия.

**Федеральное агентство  
научных организаций  
Federal Agency of Scientific  
Organizations  
(FANO of Russia)**

Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский  
институт мясной промышленности  
имени В.М. Горбатова»  
Federal State Budgetary Scientific Institution  
«The V.M. Gorbatov All-Russian Meat  
Research Institute»  
(FGBNU V.M. Gorbatov VNIIMP)

**Теория и практика переработки мяса  
Theory and Practice of Meat Processing**

**Учредитель и издатель:  
Founder and publisher:**

Федеральное государственное  
бюджетное научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский  
институт мясной промышленности  
имени В.М. Горбатова»  
Federal State Budgetary  
Scientific Institution  
«The V.M. Gorbatov All-Russian  
Meat Research Institute»

**Editor-in-Chief:**

**Lisitsyn Andrey Borisovich**, doctor of technical sciences, professor, Academician of RAS, Laureate of the state prize of the Russian Federation in the field of science and technique, Director of FGBNU «The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute», Moscow, Russia

**Deputy Editor-in-Chief:**

**Chernukha Irina Mikchailovna**, doctor of technical sciences, professor, chief research worker, FGBNU «The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute», Moscow, Russia

**Science editor:**

**Gorbunova Natalia Anatolievna**, candidate of technical sciences, Academic Secretary of FGBNU «The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute», Moscow, Russia

**Production editor:**

**Zakharov Aleksandr Nikolaevich**, candidate of technical sciences, senior research worker, deputy director of FGBNU «The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute», Moscow, Russia

**Printing Office:**

109316, Talalikhina str. 26, Moscow, Russia,  
The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute.

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре

Регистрационные данные:

ПИ № ФС77-60789 от 11.02.2015 года

ЭЛ № ФС 77-60810 от 11.02.2015 года

**ISSN 2414-438X (Print)**

**ISSN 2414-441X (Online)**

**Editorial board:**

**Bazhenova Baiana Anatolievna**, doctor of technical sciences, docent, professor of the chair «Meat and canned product technology», FGBOU VPO East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia  
**Belozeroev Georgy Avtonomovich**, doctor of technical sciences, Scientific supervisor of FGBNU «The All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry», Moscow, Russia  
**Gorlov Ivan Fedorovich**, doctor of agricultural sciences, professor, academician of RAS, Scientific supervisor of FGBNU «Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products», Volgograd, Russia  
**Dederer Irina**, candidate of technical sciences, research worker, Max Rubner-Institut, Kulmbach, Germany.  
**Djordjevic Vesna**, doctor, acting director, the Institute of Meat Hygiene and Technology, Belgrad, Serbia  
**Dunchenko Nina Ivanovna**, doctor of technical sciences, professor, the head of the chair «Product quality management and merchandise knowledge», FGBOUBO Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia  
**Zhailaubaev Zhinibek Dalelovich**, doctor of technical sciences, corresponding member of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Kazakhstan, Director of the Semey Branch of the Kazakh Scientific Research Institute for Processing and Food Industry, Semey, The Republic of Kazakhstan  
**Zamaratskaya Galia**, candidate of technical sciences, docent, research worker, the Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden  
**Kochetkova Alla Alekseevna**, doctor of technical sciences, professor, the head of the «Laboratory of food biotechnologies and specialized products», FGBUN «Federal Research Centre of nutrition, biotechnology and food safety», Moscow, Russia  
**Meliashchenia Aliaksei Viktorovich**, candidate of economical sciences, Director of NPRDUP «The Institute of Meat and Dairy Industry» of the Republican Unitary Enterprise «The Scientific-practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for food», Minsk, the Republic of Belarus  
**Miroshnikov Sergey Alexandrovich**, doctor of biological sciences, professor, Director of FGBNU «The All-Russian Research Institute of Beef Cattle», Orenburg, Russia  
**Rimareva Liubov Vyacheslavovna**, doctor of technical sciences, professor, corresponding member of RAS, Honored worker of science of the RF, deputy director of The All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology — branch FGBUN «Federal Research Centre of nutrition, biotechnology and food safety», Moscow, Russia  
**Rud Andrey Ivanovich**, doctor of agricultural sciences, chief research worker of the Department of Genetics, biotechnology and technology in pig of FGBNU «The All-Russian Research Institute for Animal Husbandry named after academician L.K. Ernst» Podolsk, Russia  
**Ryoichi Sakata**, PhD, doctor, professor of agricultural sciences, Azabu University, Sagamihara, Japan  
**Semenova Anastasiya Arturovna**, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of FGBNU «The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute», Moscow, Russia  
**Timoshenko Nikolai Vasilievich**, doctor of technical sciences, professor, the head of the chair «Technology of storage and processing of animal products» of the Kuban State Agrarian University (Kub SAU), Krasnodar, Russia

## СОДЕРЖАНИЕ

Батаева Д.С., Зайко Е.В. РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С НАЛИЧИЕМ В МЯСЕ И В ПРОДУКТАХ УБОЯ ЖИВОТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ АНТИМИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ.....	4
Прошек А.Ю., Кригер О.В. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПАТОГЕННЫХ ПРИОННЫХ ИНФЕКЦИЙ ПОБОЧНОГО СЫРЬЯ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	14
Крылова В.Б., Густова Т.В. АСПЕКТЫ ДЕСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОСНОВНЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ МЯСНЫХ КУСКОВЫХ КОНСЕРВОВ «ГОВЯДИНА ТУШЕНАЯ ВЫСШИЙ СОРТ» ПРИ НЕНОРМИРОВАННЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ ХРАНЕНИЯ .....	21
Горбунова Н.А., Туниева Е.К. РИСКИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ: ОБЗОР .....	35
Дроздова Н.А., Насонова В.В. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК И ИНГРЕДИЕНТОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИВОТНЫХ БЕЛКОВ .....	48
Тимакова Р.Т., Тихонов С.Л., Тарарков А.Н., Кудряшов Л.С. ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОХЛАЖДЕННОГО МЯСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА .....	57
Остроух А.С., Абалдова В.А. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШНЕКОВЫХ ПРЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБВАЛКИ С УЧЕТОМ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ.....	66
Небурчилова Н.Ф., Петрунина И.В. ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬНОЙ СТОИМОСТИ МЯСА И МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА — КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ.....	81

## CONTENTS

Bataeva D.S., Zaiko E.V. RISKS ASSOCIATED WITH THE PRESENCE OF ANTIMICROBIAL DRUG RESIDUES IN MEAT PRODUCTS AND PRODUCTS OF ANIMAL SLAUGHTER.....	4
Prosekov A.Y., Kriger O.V. RESEARCH AND DEVELOPMENT CONTROL METHOD PATHOGENIC PRION INFECTIONS SECONDARY RAW MEAT INDUSTRY .....	14
Krylova V.B., Gustova T.V. ASPECTS OF THE DESTRUCTIVE CHANGES IN THE MAIN NUTRIENTS OF CANNED MEAT IN PIECES «STEWED BEEF OF THE TOP GRADE» UNDER THE NON- NORMATIVE TEMPERATURE AND HUMIDITY CONDITIONS OF STORAGE .....	21
Gorbunova N.A., Tunieva E.K. RISKS AND SAFETY OF USING NANOTECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS: A REVIEW .....	35
Drozdova N.A., Nasonova V. V. INFLUENCE OF DIFFERENT FOOD ADDITIVES AND INGREDIENTS ON THE TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANIMAL PROTEINS .....	48
Timakova R.T., Tikhonov S.L., Tararkov A.N., Kudryashov L.S. ASSESSMENT OF RADIATION SAFETY OF CHILLED MEAT USING THE METHOD OF ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE .....	57
Ostroukh A.S., Abaldova V.A. CALCULATION OF PERFORMANCE FOR MECHANICAL DEBONING SCREW PRESSES CONSIDERING COUNTERPRESSURE .....	66
Neburchilova N.F., Petrunina I.V. PRINCIPLES OF DETERMINATION OF VALUE IN USE FOR MEAT AND MEAT PRODUCTS BASED ON QUALITY INDICATORS — THE COEFFICIENTS OF CONSUMER PROPERTIES .....	81

# RISKS ASSOCIATED WITH THE PRESENCE OF ANTIMICROBIAL DRUG RESIDUES IN MEAT PRODUCTS AND PRODUCTS OF ANIMAL SLAUGHTER

## РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С НАЛИЧИЕМ В МЯСЕ И В ПРОДУКТАХ УБОЯ ЖИВОТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ АНТИМИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Bataeva D.S., Zaiko E.V.

The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute, Moscow, Russia

**Ключевые слова:** *риски, мясо и продукты убоя животных, антибактериальные препараты, устойчивость микроорганизмов к антибактериальным препаратам.*

**Keywords:** *risks, meat and products of animal slaughter, antibacterial drugs, antibiotic resistance.*

### Аннотация

Определены риски, связанные с наличием в мясе и в продуктах убоя животных остаточных количеств антимикробных препаратов. Один из них это возникновение устойчивости к антимикробным препаратам патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, выделенных из мяса и продуктов убоя животных. Было установлено, что *E.coli*, микроорганизмы рода *Salmonella* и *Pseudomonas* устойчивы к ампициллину, тетрациклину, тилозину и цефалолексину. Однако *L.monocytogenes* не обладали устойчивостью к этим препаратам. Также установлено, что при попадании в организм животного антимикробные вещества больше всего накапливаются в печени и в почках животного, затем в мясе и меньше всего в жире. Определено, что до 65 % исследованных образцов в той или в иной степени контаминированы антимикробными препаратами.

### Abstract

The risks associated with the presence of antimicrobial drug residues in meat and products of animal slaughter were determined. One of them is the emergence of antimicrobial resistance in pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms isolated from meat and products of animal slaughter. It was established that *Escherichia coli*, *Salmonella* and *Pseudomonas* were resistant to ampicillin, tetracycline, tylosin and cephalolexin. However, *Listeria monocytogenes* did not have resistance to these antibiotics. It was also established that when entering an animal body, antimicrobials were accumulated mostly in liver and kidneys of an animal followed by meat and, to the least degree, in fat. It was found that up to 65% of the tested samples were contaminated with antimicrobials to a greater or lesser degree.

### Введение

Стратегической целью продовольственной безопасности России является обеспечение ее населения безопасной пищевой продукцией. С увеличением потребности населения в мясе и в мясных продуктах необходимо увеличивать их производство. Это возможно при определенном уровне поголовья животных и интенсификации прироста у них мышечной массы.

Прирост мышечной массы, может быть, достигнут и за счет использования стимуляторов роста, в том числе и антибактериальных препаратов (террамицин, биомицин, бацитрацин и гризин — в качестве кормовых добавок).

Антимикробные препараты (противомикробные препараты, antimicrobial agents) — это химические соединения, которые убивают микроорганизмы или угнетают их рост, но при этом они могут продуцироваться в естественных условиях как грибами (например, пенициллин), так и бактериями (например, тетрациклин) — или могут быть синтетическими или полусинтетическими веществами (например, фторхинолоны и амоксициллин, соответственно). Согласно оригинальному определению лауреата Нобелевской премии Сэлмана Ваксмана (Selman Waksman), термин

### Introduction

The strategic goal of the food security of Russia is provision of its population with safe food products. With an increase in the need of the population for meat and meat products, it is necessary to increase their production. This is possible at a particular level of livestock and intensification of the muscle weight gain.

The muscle weight gain can be achieved by using growth promoters including antibacterial drugs (terramycin, biomyacin, bacitracin and grisin as food additives).

Antimicrobials are chemical compounds, which destroy microorganisms or inhibit their growth. They can be produced in the natural conditions both by fungi (for example, penicillin) and bacteria (for example, tetracycline) or can be synthetic or semi-synthetic substances (for example, fluoroquinolones and amoxicillin, respectively). According to the original definition of Nobel Prize Winner Selman Waksman, the term antibiotics refers only to

антибиотики (antibiotics) относится только к естественным продуктам микробного происхождения. Тем не менее, этот термин нередко используется как синоним термина антимикробные средства, независимо от естественного или синтетического происхождения.

Существуют определенные требования к стимуляторам роста животных: они должны иметь короткий период выведения из организма; до убоя должно произойти полное выведение их из тканей и органов животного; отсутствие токсического воздействия на организм; отсутствие отрицательного влияния на нормальную кишечную микрофлору и если в качестве стимуляторов роста используются антимикробные препараты, то они не должны вызывать устойчивости микроорганизмов к ним.

По мере увеличения сроков и масштабов практического применения антимикробных и других химиотерапевтических препаратов также нарастает и число устойчивых к ним штаммов микроорганизмов.

Частота инфекций, вызванных антибиотикорезистентными бактериями, увеличивается среди населения и в медицинских учреждениях, вследствие чего эти инфекции становятся важной медико-санитарной проблемой, которая бросает вызов системам здравоохранения многих стран. В результате чрезмерного и неправильного применения антибиотиков у бактерий, находящихся в организме людей и животных, может развиться устойчивость к этим препаратам, вследствие чего инфекционные заболевания, которые в обычных условиях хорошо поддаются лечению антибиотиками, становится трудно, а иногда и невозможно вылечить. Неудачи лечения приводят к росту заболеваемости и смертности от инфекций, а также к необходимости разрабатывать новые антибиотики, что, в конечном счете, ложится дополнительным бременем на общество. Ежегодно в странах Европейского союза свыше 25 000 человек умирают от инфекций, вызванных антибиотикорезистентными бактериями [1].

Поскольку эта устойчивость не имеет экологических, отраслевых или географических границ, ее появление в одной отрасли или в одной стране приводит к формированию резистентности в других отраслях и в других странах. Предупреждение и сдерживание устойчивости к антибиотикам требует принимать во внимание все факторы риска формирования и распространения такой устойчивости в контексте всех условий, отраслей, учреждений от медицины до использования в производстве пищевых продуктов животного происхождения.

ВОЗ уже давно считает, что применение антибиотиков у сельскохозяйственных животных, масштабы которого во многих странах превышают масштабы использования антибиотиков для лечения больных людей, вносит существенный вклад в формирование проблемы устойчивости к антибиотикам в здравоохранении.

the natural products of microbial origin. Nevertheless, this term is often used as a synonym of the term antimicrobial agents independent of their natural or synthetic origin.

There are specific requirements to animal growth promoters: a short withdrawal period; full elimination from animal tissues and organs before slaughter; absence of a toxic effect on a body; absence of a negative effect on the normal gut microflora and if antimicrobial agents are used as growth promoters, they should not lead to resistance of microorganisms to them.

With an increase in duration and scale of the practical use of antimicrobial and other chemotherapeutic agents, the number antibiotic resistant strains also increase.

Occurrence of infections caused by antibiotic resistant bacteria is increasing in communities and in health care facilities; because of this, these infections have become an important medical and sanitary problem, which challenges the health care systems in many countries. As a result of the excessive and inappropriate use of antibiotics, resistance to these preparations can be developed in bacteria, which reside in a human or animal body. As a consequence, it becomes difficult and sometimes impossible to treat infectious diseases, which are well treated with antibiotics under usual conditions. Failures in therapy lead to an increase in morbidity and mortality due to infections, as well as to a need to develop new antibiotics, which, eventually, present an additional burden for a society. Over 25 000 people die of infections caused by antibiotic resistant bacteria every year [1].

As this resistance does not have ecological, sector or geographical borders, its emergence in one sector or in one country leads to formation of resistance in other sectors and other countries. Prevention and containment of antibiotic resistance require taking into account all risk factors for formation and spread of such resistance in a context of all conditions, sectors, health-care facilities before production of food products of animal origin.

WHO has considered for a long time that the use of antibiotics in farm animals, which scale exceeds the scale of the use of antibiotics for treating human patients, makes a significant contribution to the emergence of the problem of antibiotic resistance in healthcare. This situation requires information of the society and development of

ранении. Эта ситуация требует информирование общества и выработке специальной политики для сдерживания резистентности к антибиотикам с позиций безопасности пищевых продуктов обращая особое внимание на распространение резистентности через пищевую цепь, которое играет важную, хотя нередко и скрытую роль. Резистентность связанных с пищевыми инфекциями зоонозных бактерий родов *Salmonella* и *Campylobacter* несомненно связана с применением антибиотиков у сельскохозяйственных животных; пищевые инфекции, вызванные такими резистентными бактериями, многократно документированы у людей. Возбудители кампилобактериоза очень легко приобретают устойчивость к антибиотикам. Во многих странах кампилобактерии, выделенные из мяса птиц, были резистентны к антибактериальным препаратам, включая фторхинолоны [2].

Заболевания у людей, вызванные штаммами кампилобактерий, устойчивыми к антибиотикам, представляют усугубляющуюся проблему здравоохранения.

Эпидемиология устойчивости к антибиотикам осложняется способностью генов, детерминирующих такую устойчивость, распространяться между различными типами бактерий. Кроме того, резистентные к антибиотикам бактерии могут преодолевать барьеры между сферами деятельности, учреждениями и территориями. Такое распространение может быть связано с людьми, животными, пищевыми продуктами животного происхождения и контаминированными объектами внешней среды.

Особую тревогу вызывает устойчивость к так называемым «критически важным антибиотикам», используемым в медицине.

Поскольку было показано, что применение антибиотиков в качестве стимуляторов роста связано с угрозой для здоровья людей, с 2006 г. в странах Европейского союза прекращено использование всех антибиотиков в качестве стимуляторов роста. Прекращение использования антибиотиков для стимуляции роста животных снижает опасность для здоровья людей без какого-либо вреда для здоровья животных или экономических потерь в производстве продуктов животного происхождения.

Очень важной частью работы по сдерживанию резистентности является нормативная регламентация применения антибиотиков у сельскохозяйственных животных. Предлагается, чтобы ветеринарные, сельскохозяйственные и фармацевтические органы рассмотрели возможность принятия следующих мер: прекращение использования антибиотиков в качестве стимуляторов роста животных; применение антибиотиков у животных только по назначению ветеринара; применение антибиотиков, имеющих чрезвычайное значение в медицине (особенно фторхинолонов и цефалоспоринов третьего и четвертого поколений)

the special policy for the containment of antibiotic resistance in the context of food safety paying special attention to spread of resistance through food chain, which plays an important, although quite often an invisible, role. Resistance in zoonotic bacteria of the genera *Salmonella* and *Campylobacter*, which are associated with food infections, is undoubtedly linked with the use of antibiotics in farm animals; food infections in humans caused by these resistant bacteria have been documented many times. The causative agents of campylobacteriosis easily acquire antibiotic resistance. In many countries, campylobacteria isolated from poultry meat were resistant to antibacterial drugs including fluoroquinolones [2].

Human infections caused by antibiotic resistant strains of campylobacteria present an aggravating problem in healthcare.

Epidemiology of antibiotic resistance is complicated by the ability of genes determining this resistance to spread among different types of bacteria. In addition, antibiotic resistant bacteria can overcome barriers between spheres of activities, enterprises and territories. This spread can be associated with humans, animals, food products of animal origin and contaminated environmental objects.

Resistance to, so-called, critically important antibiotics used in medicine is of special concern.

Since it was shown that the use of antibiotics as growth promoters is associated with the threat to human health, the use of all antibiotics as growth promoters has been terminated in the EU countries since 2006. Termination of the use of antibiotics for animal growth promotion reduces the hazard for human health without any harm to health of animals or economical losses in production of animal food products.

An important part of the work on containment of antibiotic resistance is the normative regulation of the use of antibiotics in farm animals. It is proposed that veterinary, agricultural and pharmaceutical bodies consider the possibility to take the following measures: termination of the use of antibiotics as animal growth promoters; the use of antibiotics in animals only on the prescription of a veterinarian; the use of antibiotics of critical importance in healthcare (especially third- and fourth-generation cephalosporins and fluoroquinolones) in farm animals only on reasonable grounds.

у сельскохозяйственных животных только при наличии для этого веских оснований.

Кроме того, антибиотики и продукты их метаболизма могут стать причиной аллергии и симптомов отравления, угнетать активность полезной микрофлоры, способствовать развитию грибковых заболеваний. У человека, регулярно питающегося продуктами, содержащими антибиотики, перегружаются печень и почки, в связи с чем возрастает риск развития хронических заболеваний, лечение которых осложняется все той же устойчивостью микроорганизмов к антибиотикам.

Использование при производстве сырокопченой продукции, мяса даже с остаточными количествами антибактериальных препаратов влечет за собой невозможность производства качественной и безопасной продукции, т.к. процессы естественной и направленной ферментации и созревания будут ими ингибированы [3].

Целью данной работы являлось определение рисков, связанных с наличием в мясе и в продуктах убоя животных остаточных количеств антимикробных препаратов и выявление антибиотикоустойчивых штаммов.

В соответствии поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Провести исследование мяса и продуктов убоя животных на наличие остаточных количеств антимикробных препаратов.
2. Установить чувствительность микроорганизмов, выделенных их мяса и продуктов убоя, к антимикробным препаратам.

### Материалы и методы

В качестве объектов при исследовании наличия остаточных количеств антимикробных препаратов были использованы мясо (область шейного зареза) и продукты убоя (печень, почки и внутренний жир) крупного рогатого скота (КРС) из 5 хозяйств Центральной части России. В качестве тест-агара для определения остаточных количеств антимикробных препаратов использовали плотную культуральную среду по Кундрату со спорами *Bacillus stearothermophilus*. Устойчивость к антибиотикам (ампициллин, тетрациклин, тилозин, цефалоспексин) определяли следующих микроорганизмов: *E.coli*, *L.monocytogenes*, *Salmonella*, *Pseudomonas spp.*

Отбор образцов мяса и продуктов убоя животных проводили в цехе убоя деструктивным методом. Каждый отобранный образец упаковывали в индивидуальную упаковку, охлаждали и затем доставляли в лабораторию на исследование. Образцы отбирали от 5 животных из каждого хозяйства.

Пробоподготовку проводили, отбирая с поверхности и глубины (суммарно) лабораторной пробы с помощью стерильных ножниц и пинцетов анализи-

Moreover, antibiotics and products of their metabolism can be a cause of serious allergy and symptoms of poisoning, suppress an activity of beneficial microflora and facilitate development of fungal diseases. When individuals regularly eat products contained antibiotics, their liver and kidney are overloaded; in this connection, the risk of development of chronic diseases grows up and their treatment becomes complicated due to the same antibiotic resistance.

The use of meat even with the residual amounts of antibacterial preparations in production of uncooked smoked products results in the failure to produce quality and safe products since the processes of natural and targeted fermentation and ageing will be inhibited [3].

The aim of this work was assessment of the risks associated with the presence of antimicrobial drug residues in meat products and products of animal slaughter and detection of antibiotic resistant strains.

According to the set goal, the following tasks were determined:

1. To carry out analysis of meat and products of animal slaughter on the presence of antimicrobial drug residues.
2. To determine the sensitivity of the microorganisms isolated from meat and products of animal slaughter to antimicrobials.

### Materials and methods

In analysis of the presence of the antimicrobial drug residues, cattle meat (sticking piece) and products of cattle slaughter (liver, kidneys and visceral fat) obtained from 5 enterprises in the central part of Russia were used. Kundra agar with the spores of *Bacillus stearothermophilus* was used as a test-agar for determination of the antimicrobial drug residuals. Resistance to antibiotics (ampicillin, tetracycline, tylosin, cefalolexin) was tested for the following microorganisms: *E.coli*, *L.monocytogenes*, *Salmonella*, *Pseudomonas spp.*

Sampling of meat and products of animal slaughter was carried out in the slaughter floor by the destructive method. Each taken sample was packed in an individual package, chilled and then delivered to the laboratory for analysis. Samples were taken from 5 animals in each enterprise.

Sample preparation was carried out by taking a test sample (50.0–100.0 g) from the surface and deep layers

руемую пробу массой 50,0–100,0 г и измельчая ее на ротационном гомогенизаторе.

В пакет для гомогенизации вносили ( $25,0 \pm 0,5$ ) г измельченной анализируемой пробы добавляли  $25 \text{ cm}^3$  физиологический раствор и тщательно перемешивали, получая при этом исходную суспензию. Затем емкость с исходной суспензией выдерживали в термостате при температуре ( $37 \pm 1$ ) °С в течение 90 мин, периодически тщательно перемешивая.

Часть исходной суспензии после термостатирования переносили в центрифужные пробирки и центрифугировали при 3000 об/мин в течение 10 мин. Полученную надосадочную жидкость отбирали в стерильные пробирки.

Наличие остаточных количеств антимикробных препаратов определяли следующим образом: надосадочную жидкость вносили параллельно в две лунки культуральной среды по Кундрату с помощью автоматической пипетки по  $0,05 \text{ cm}^3$ .

Чашки Петри с исследуемым материалом выдерживали при комнатной температуре не менее 30 мин для диффузии надосадочной жидкости в агар, затем инкубировали в термостате при температуре ( $65 \pm 1$ ) °С в течение ( $3,5 \pm 0,5$ ) ч крышками вверх.

Отсутствие роста тест-культуры, подтверждаемое сохранением синего цвета среды в зоне шириной 2,0 мм и более, оценивали как положительный результат, т. е. как наличие антибиотиков или других антимикробных химиотерапевтических веществ в анализируемой пробе.

Отсутствие роста тест-культуры, подтверждаемое сохранением синего цвета среды в зоне шириной менее 2,0 мм, или наличие роста тест-культуры с изменением цвета среды с синего на желтый, оценивали как отрицательный результат, т.е. как отсутствие антибиотиков или других антимикробных химиотерапевтических веществ в анализируемой пробе.

Устойчивость микроорганизмов к антимикробным препаратам изучали с помощью макрометода серийных разведений в бульоне. Для определения наличия роста микроорганизма пробирки с посевами просматривают в проходящем свете. Рост культуры в присутствии антимикробных препаратов сравнивали с референтной пробиркой («отрицательный» контроль), содержащей исходный инокулюм.

### Результаты и обсуждение

При исследовании мяса и продуктов убоя от КРС из пяти хозяйств на наличие остаточных количеств антимикробных препаратов были получены результаты, представленные на рисунке 1.

Прежде всего, данные представленные на рисунке 1 показывают, что существует проблема в использовании антимикробных препаратов в нашей стране, т.к. только в одном хозяйстве из пяти исследованных, полностью отсутствовали эти препараты в мясе

(pooled) of samples using sterile scissors and forceps and mincing it in a rotational homogenizer.

The minced test sample ( $25.0 \pm 0.5 \text{ g}$ ) was put into a bag for homogenization and  $25 \text{ cm}^3$  of the physiological solution was added; they were thoroughly mixed obtaining an initial suspension. Then, the container with the initial suspension was held in a thermostat at a temperature of ( $37 \pm 1$ ) °С for 90 min. with intermittent mixing.

A part of the initial suspension after incubation was put into centrifugal tubes and centrifuged at 3000 rpm for 10 min. The obtained supernatant was transferred into sterile tubes.

The presence of the antimicrobial drug residuals was detected as follows: the supernatant was transferred in parallel into two wells with Kundrat agar using automatic pipettes in an amount of  $0.05 \text{ cm}^3$  each.

The Petri dishes with the test material were kept at room temperature not less than 30 min. for diffusion of the supernatant liquid into agar; then, they were turned upside down and incubated in a thermostat at a temperature of ( $65 \pm 1$ ) °С for ( $3.5 \pm 0.5$ ) h.

The absence of the test culture growth confirmed by retention of the blue color in a zone with a width of 2.0 mm and more was considered a positive result, i.e., the presence of antibiotics or other antimicrobial chemotherapeutical substances in a test sample.

The absence of the test culture growth confirmed by retention of the blue color in a zone with a width of less than 2.0 mm or the presence of the test culture growth with a change in the medium color from blue to yellow was considered a negative result, i.e., the absence of antibiotics or other antimicrobial chemotherapeutical substances in a test sample.

Antimicrobial resistance was studied with broth macrodilution method. To detect the growth of microorganisms, the inoculated tubes were examined using transmitted light. The growth of a culture in the presence of antimicrobials was compared with the reference tube (a negative control) contained the initial inoculum.

### Results and discussion

When studying meat and the products of cattle slaughter from five enterprises on the presence of antimicrobial drug residues, the results presented in Fig.1 were obtained.

The data presented in Fig. 1 show above all that there is a problem of using antimicrobials in our country as these preparations were fully absent in meat and products of animal slaughter only in one out of five enterprises (No.3).

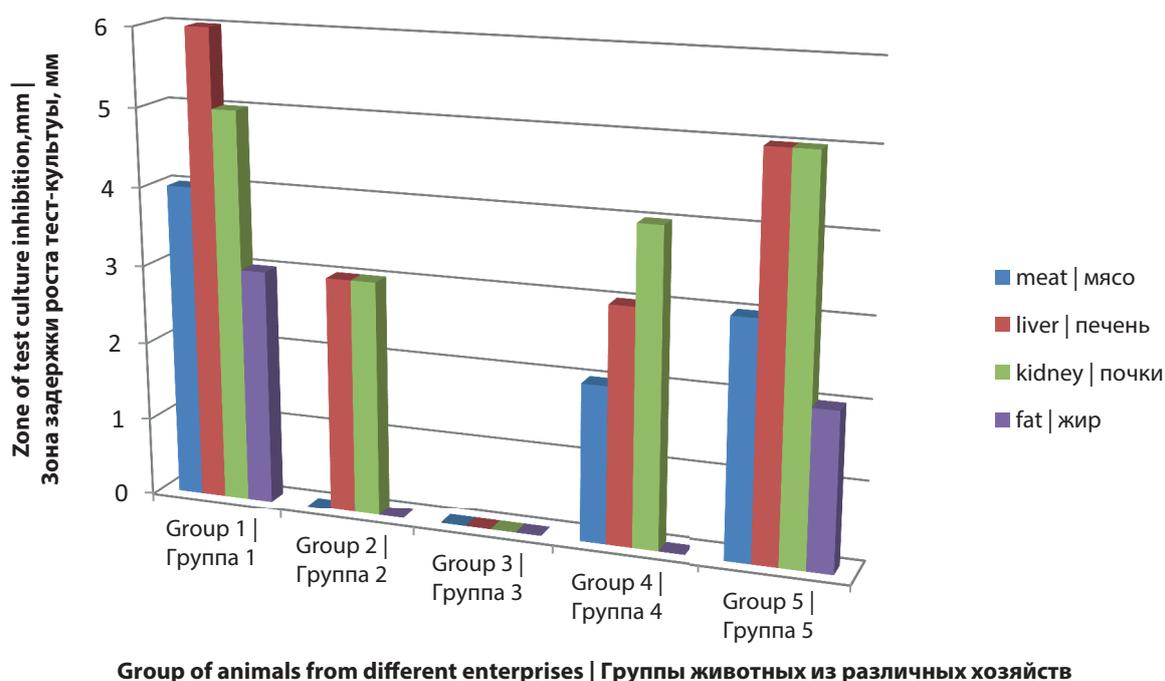


Figure 1. Results of analysis of meat and products of cattle slaughter for the presence of different amounts of antimicrobials  
Рис. 1. Результаты исследования мяса и продуктов убоя КРС на наличие остаточных количеств антимикробных препаратов

и в продуктах убоя животных (№ 3). Однако и в мясе и в продуктах убоя, полученных от животных из хозяйства № 1 и 5, они были выявлены.

Анализируя эти данные (рис. 2 и 3), было установлено, что распределение антимикробных препаратов в мясе и продуктах убоя от одного животного следующее: в печени — 33 %, в почках — 28–33 %, в мясе — 20–22 %, и меньше всего в жире — 14–17 %.

Например, в работе Закревского В.В. и Лелеко С.Н., которые проводили оценку мясного сырья, поступающего на мясоперерабатывающие предприятия Санкт-Петербурга из разных стран мира, приведены данные исследования говядины, произведенной в РФ, на наличие остаточных количеств антибиотиков (тетрацилин, стрептомицин и левомицетин). Авторами было установлено, что 25 % исследованных образцов говядины были контаминированы [4].

В наших исследованиях бы использован скрининговый метод, с помощью которого можно обнаружить

However, they were revealed both in meat and products of animal slaughter obtained from the animals from enterprises No. 1 and 5.

When analyzing these data (Fig. 2 and 3), it was found that distribution of antimicrobials in meat and products of animal slaughter from an individual animal was as follows: 33 % in liver, 28–33 % in kidney, 20–22 % in meat, and the least amount (14–17 %) in fat.

Zakrevsky V.V. and Leleko S.N., who assessed meat raw material delivered to meat processing enterprises of Saint Petersburg from different parts of the world, presented in their works the data on examination of beef produced in the RF on the presence of the antibiotic residues (tetracycline, streptomycin and levomycetin). The authors established that 25% of the tested samples were contaminated [4].

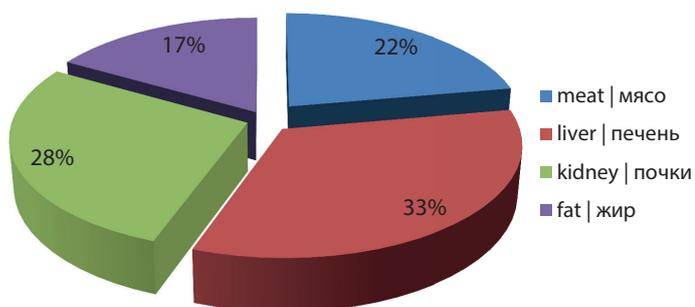


Figure 2. Diagram of antimicrobial distribution in meat and products of cattle slaughter from enterprise No.1

Рис. 2. Диаграмма распределения остаточных количеств антимикробных препаратов в мясе и продуктах убоя КРС из хозяйства № 1

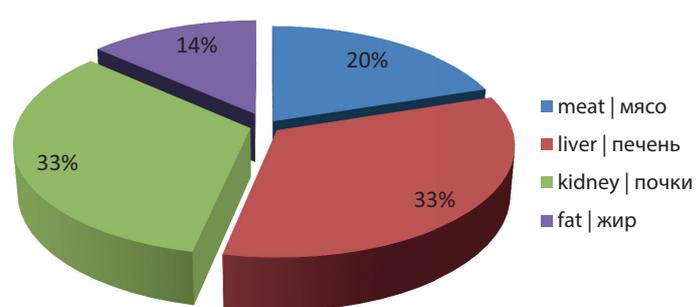


Figure 3. Diagram of antimicrobial distribution in meat and products of cattle slaughter from enterprise No.5

Рис. 3. Диаграмма распределения остаточных количеств антимикробных препаратов в мясе и продуктах убоя КРС из хозяйства № 5

не только эти антибиотики. Поэтому, мы предполагаем, что процент контаминированных образцов по результатам наших исследований был больше.

На основании вышеизложенного можно сказать что, мясо и продукты убоя КРС контаминированы антимикробными препаратами, и чтобы исключить переработку и реализацию такого сырья, необходимо проводить оценку на наличие остаточных количеств антибиотиков и других антимикробных химиотерапевтических веществ [5].

ВОЗ подготовила список антибиотиков «критически важных» для медицины. К таким приоритетным антибиотикам, в отношении которых нужно срочно осуществлять стратегии снижения риска, относятся фторхинолоны, цефалоспорины третьего и четвертого поколений и макролиды [1]. Это означает, что если к этим препаратам разовьется устойчивость у микроорганизмов.

При определении рисков, связанных с наличием остаточных количеств антимикробных препаратов была изучена устойчивость к антибиотикам микроорганизмов выделенных из мяса и в продуктах убоя животных. Результаты представлены в таблице 1.

На основании проведенных исследований установлено, что Грамотрицательная микрофлора, выявленная из мяса и продуктов убоя животных, обладает устойчивостью к антимикробным препаратам: *E. coli*, *Salmonella* и *Pseudomonas* к ампициллину в дозировке 1–10 мкг/см<sup>3</sup>, к тилозину в дозировке 1–30 мкг/см<sup>3</sup>, а *Pseudomonas* устойчив еще и к цефалолексину в дозировке 10–100 мкг/см<sup>3</sup>, к тетрациклину в дозировке 0,1–1,0 мкг/см<sup>3</sup>. Один из исследованных штаммов *Salmonella* устойчив еще и к тетрациклину в дозировке 0,1–5,0 мкг/см<sup>3</sup>, а другой только в дозировке 0,1 мкг/см<sup>3</sup>. Штаммы

In our investigations, we used the screening method, with which it was possible to detect not only these antibiotics. Thus, we suppose that the percentage of the contaminated samples was higher according to our results.

Based on the foregoing, it can be said that meat and products of cattle slaughter are contaminated with antimicrobials and it is necessary to assess the content of residuals of antibiotics and other antimicrobial chemotherapeutic substances to exclude processing and realization of such raw material [5].

WHO has prepared the list of critically important antimicrobials for human medicine. These top priority antimicrobials, which require urgent implementation of the risk mitigation strategies, include third- and fourth-generation cephalosporins and fluoroquinolones, and macrolides [1].

In assessment of risks associated with the presence of the antimicrobial drug residuals, antibiotic resistance of microorganisms isolated from meat and products of animal slaughter was determined. The results are presented in Table 1.

Based on the performed research, it was established that gram-negative microflora isolated from meat and products of animal slaughter had resistance to antimicrobials: *E. coli*, *Salmonella* and *Pseudomonas* to ampicillin in a dose of 1–10 µg/cm<sup>3</sup>, to tylosin in a dose of 1–30 µg/cm<sup>3</sup>; *Pseudomonas* was also resistant to cefalolexin in a dose of 10–100 µg/cm<sup>3</sup> and tetracycline in a dose of 0.1–1.0 µg/cm<sup>3</sup>. One of the tested strains of *Salmonella* was also resistant to tetracycline in a dose of 0.1–5.0 µg/cm<sup>3</sup>, another in

Table 1 | Табл. 1

№	Microorganism   Наименование микроорганизма	ampicillin, µg/ml   Ампициллин, мкг/мл			tetracycline, µg/ml   Тетрациклин, мкг/мл			tylosin, µg/ml   Тилозин, мкг/мл			cefalolexin, µg/ml   Цефалолексин, мкг/мл		
		1	5	10	0,1	1	5	1	10	30	10	50	100
1	<i>E. coli</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-
2	<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	<i>L. monocytogenes</i>	±	-	-	±	-	-	-	-	-	-	-	-
4	<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-	±	-	-	±	-	-
6	<i>L. monocytogenes</i>	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	<i>Pseudomonas spp.</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	<i>Pseudomonas spp.</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	±
9	<i>Salmonella spp.</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-
10	<i>Salmonella spp.</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
11	<i>Salmonella spp.</i>	+	±	±	+	-	-	+	+	+	+	+	±

Note: «+» — a microorganism have resistance to a drug in the indicated concentration;

«-» — a microorganism do not have resistance to a drug in the indicated concentration

«±» — an antibacterial preparation has a bacteriostatic effect on a microorganism

Примечание: «+» — микроорганизм обладает устойчивостью к препарату в указанной концентрации; «-» — микроорганизм не обладает устойчивостью к препарату в указанной концентрации; «±» — антибактериальный препарат оказывает на микроорганизм бактериостатический эффект.

*L. monocytogenes* не обладали устойчивостью к антибиотикам.

Например, штаммы *E. coli* животного и водного происхождения, контаминирующие пищевые продукты, могут быть носителями генов резистентности, которые могут быть переданы бактериям, обитающим в организме людей, или другим патогенным микроорганизмам во время их пребывания в кишечнике. Если устойчивый штамм *E. coli* колонизирует организм человека и вызывает развитие заболевания или передает гены резистентности патогенным бактериям, обычное лечение будет неэффективным, что приведет более длительному и тяжелому течению заболевания.

Косвенные угрозы возникают, когда гены резистентности передаются в организме животных от устойчивых бактерий — таких как *E. coli* или представители рода *Enterococcus* — к бактериям, патогенных для людей. Гены резистентности могут легко передаваться от одних бактерий к другим, обитающих у наземных животных, рыб и людей. Более того, такой перенос может происходить в различных условиях окружающей среды, например на кухнях, в помещениях для содержания животных или в водоемах [6].

Пищевые продукты, преимущественно животного происхождения, являются важным резервуаром антибиотикорезистентных сальмонелл, которые могут передаваться от сельскохозяйственных животных к человеку. Более того, среди некоторых сероваров сальмонелл широко распространена полирезистентность (устойчивость к антибиотикам более чем четырех классов), особенно среди штаммов *S. typhimurium* — как в глобальных масштабах, так и в Европейском регионе [7].

### Выводы

Установлено что:

1. На переработку поступает мясо и продукты убой животных контаминированных антимикробными препаратами;
2. Микроорганизмы, выделенные из мяса и продуктов убой животных, обладают устойчивостью к антимикробным препаратам.
3. Распределение антимикробных препаратов в мясе и продуктах убой животного следующее: в печени — 33 %, в почках — 28–33 %, в мясе — 20–22 %, в жире — 14–17 %.
4. Почти 80 % животноводческих хозяйств не выдерживают сроки перед направлением на убой КРС после использования антимикробных препаратов

Таким образом, есть определенный риск при наличии антибиотиков и других антимикробных химиотерапевтических веществ в мясе и в продуктах убой животных, как для здоровья человечества, так и для переработчиков мяса. Риск заключается в том что, бесконтрольное использование антимикробных препаратов в ветеринарии и в животноводстве приведет

a dose of only 0.1  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ . *L. monocytogenes* strains did not have resistance to antibiotics.

*E. coli* strains of animal and water origin contaminating food products can be carriers of resistance genes, which can be transferred to bacteria inhabiting a human body or other pathogenic microorganisms during their presence in gut. If a resistant strain of *E. coli* colonizes a human body and causes a disease, or transfers resistance genes to pathogenic bacteria, than usual treatment will be ineffective leading to more durable and severe course of a disease.

Indirect threats occur when resistance genes are transferred to an animal body from resistant bacteria (such as *E. coli* or representatives of the genus *Enterococcus*) to human pathogenic bacteria. Resistance genes can be easily transferred from bacteria to bacteria that inhabit terrestrial animals, fish and humans. Moreover, this transfer can occur in different environmental conditions, for example, in kitchens, in facilities for animal keeping or in water reservoirs [6].

Food products, mainly of animal origin, are an important reservoir of antibiotic resistant *Salmonella*, which can be transferred from farm animals to humans. Moreover, multi-resistance (resistance to more than four classes of antibiotics) is widely distributed among some *Salmonella* serovars, especially among *S. typhimurium* strains, both on a global scale and in the European region [7].

### Conclusions

It was established that:

1. Meat and products of animal slaughter contaminated with antimicrobials came for processing;
2. Microorganisms isolated from meat and products of animal slaughter had antimicrobial resistance.
3. Distribution of antimicrobials in meat and products of animal slaughter was as follows: 33 % in liver, 28–33 % in kidney, 20–22 % in meat, 14–17 % in fat.
4. Almost 80 % of animal husbandry enterprises did not adhere to the terms of withdrawal periods before sending cattle for slaughter after using antimicrobials.

Therefore, there is a certain risk both for human health and for meat processors when antibiotics and other antimicrobial chemotherapeutic substances are present in meat and products of animal slaughter. The risk resides in the fact that uncontrolled use of antimicrobials in veterinary medicine and animal husbandry will lead to an increase in

к увеличению устойчивых к антибиотикам штаммов микроорганизмов, а у переработчиков мяса возникнут проблемы с выпуском качественной и безопасной продукции.

Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать на ветеринарной точке осмотра внутренних органов проводить отбор проб печени, почек, жира и мяса для качественной оценки наличия остаточных количеств антибиотиков и других антимикробных химиотерапевтических веществ.

Такой анализ можно провести, используя экспресс-метод, представленный и использованный при выполнении данной работы. Он позволяет, не имея дорогостоящего оборудования, в условиях производственной лаборатории провести испытание мяса и продуктов убоя животных и в течение 5–6 часов определить остаточные количества антибиотиков и других антимикробных химиотерапевтических веществ без видовой и количественной идентификации и принять быстрое решение о дальнейшем использовании мясного сырья.

antibiotic resistant strains of microorganisms, while processors will have problems with manufacturing quality and safe products.

The obtained results of the study make it possible to recommend sampling of liver, kidneys, fat and meat at a veterinary point of inspection of internal organs to qualitatively assess the presence of residues of antibiotics and other antimicrobial chemotherapeutic substances..

This analysis can be carried out using the express method, which was presented and used in this work. It enables analysis of meat and products of animal slaughter in the laboratory conditions without expensive equipment, detection of residues of antibiotics and other antimicrobial chemotherapeutic substances during 5–6 hours without identification of a type or quantity, and making prompt decision on the further use of meat raw material.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. European Centre for Disease Prevention and Control. The bacterial challenge: time to react — a call to narrow the gap between multidrug-resistant bacteria in the EU and the development of new antibacterial agents. Stockholm, 2009. — 54P. [www.ecdc.europa.eu](http://www.ecdc.europa.eu) [www.emea.europa.eu](http://www.emea.europa.eu).
2. European Food Safety Authority. The Community summary report on antimicrobial resistance in zoonotic agents from animals and food in the European Union in 2004–2007. EFSA Journal, 2010, 8(4):1309–1615.
3. Басова Е. Война миров: антибиотики в сельском хозяйстве. Информационное агентство DairyNews (ООО «Новости молочного рынка»), 2012.
4. Закревский, В.В. Современная лабораторная диагностика антибиотиков и нитрофуранов в мясных продуктах / В.В. Закревский, С.Н. Лелеко // Материалы девятой Международной научной конференции «Донозоология — 2013. Факторы риска и здоровье населения при использовании наноматериалов и нанотехнологий» / под общ. ред. д.м.н., проф. М.П. Захарченко. — СПб.: Кримас+, 2013. — С. 136–138.
5. Минаев М.Ю., Батаева Д.С., Еремцова А.А. Технологические риски, связанные с образованием стафилококкового энтеротоксина при производстве сухих сырокопченых колбасах, выработанных с применением стартовых культур // Мясная индустрия. 2015. № 12. с.24–28.
6. Kruse H, Sørum H. Transfer of multiple drug resistance plasmids between bacteria of diverse origins in natural microenvironments. Applied and Environmental Microbiology, 1994, 60(11): 4015–4021.
7. European Centre for Disease Prevention and Control et al. Joint opinion on antimicrobial resistance (AMR) focused on zoonotic infections. Scientific Opinion of the European Centre for Disease Prevention and Control; Scientific Opinion of the Panel on Biological Hazards; Opinion of the Committee for Medicinal Products for Veterinary Use; Scientific Opinion of the Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. EFSA Journal, 2009, 7(11):1372 (<http://www.efsa.europa.eu/it/efsa-journal/doc/1372.pdf>, accessed 21 January 2011).

## REFERENCES

1. European Centre for Disease Prevention and Control. The bacterial challenge: time to react — a call to narrow the gap between multidrug-resistant bacteria in the EU and the development of new antibacterial agents. Stockholm, 2009. — 54P. [www.ecdc.europa.eu](http://www.ecdc.europa.eu) [www.emea.europa.eu](http://www.emea.europa.eu).
2. European Food Safety Authority. The Community summary report on antimicrobial resistance in zoonotic agents from animals and food in the European Union in 2004–2007. EFSA Journal, 2010, 8(4):1309–1615.
3. Basova E. The war of the worlds: antibiotics in animal husbandry. Information agency DairyNews (LLC «News in dairy market»), 2012.
4. Zakrevsky, V.V. Modern laboratory diagnostics of antibiotics and nitrofurans in meat products/ V.V. Zakrevsky, S.N. Leleko // Proceedings of the 9<sup>th</sup> International scientific conference «Donozology –2013. Risk factors and population health upon the use of nanomaterials and nanotechnologies»/ under the general editorship of doctor of medical sciences, prof. M.P. Zakharchenko. Saint Petersburg: Christmas-plus, 2013. - pp. 136–138.
5. Minaev M.Yu., Bataeva D.S., Eremtsova A.A. Technological risks associated with formation of staphylococcal enterotoxin in production of dry uncooked smoked sausages manufactured with the use of starter cultures// Meat Industry. 2015. No. 12. pp.24–28.
6. Kruse H, Sørum H. Transfer of multiple drug resistance plasmids between bacteria of diverse origins in natural microenvironments. Applied and Environmental Microbiology, 1994, 60(11): 4015–4021.
7. European Centre for Disease Prevention and Control et al. Joint opinion on antimicrobial resistance (AMR) focused on zoonotic infections. Scientific Opinion of the European Centre for Disease Prevention and Control; Scientific Opinion of the Panel on Biological Hazards; Opinion of the Committee for Medicinal Products for Veterinary Use; Scientific Opinion of the Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. EFSA Journal, 2009, 7(11):1372 (<http://www.efsa.europa.eu/it/efsa-journal/doc/1372.pdf>, accessed 21 January 2011).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## Принадлежность к организации

**Батаева Дагмара Султановна** — кандидат технических наук, доцент, руководитель направления микробиологии, ведущий научный сотрудник лаборатории «Гигиена производства и микробиология», Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М.Горбатова  
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: 8-495-676-60-11  
E-mail: b.dagmara@inbox.ru

**Зайко Елена Викторовна** — старший лаборант лаборатории «Гигиена производства и микробиологии», Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М.Горбатова  
109316 г. Москва, ул. Талалихина 26,  
Тел.: 8-495-676-60-11  
E-mail: el.zaiko@yandex.ru

## Критерии авторства

Ответственность за работу и предоставленные сведения несут все авторы.

Все авторы в равной степени участвовали в этой работе.

Батаева Д.С. разрабатывала научно-методические подходы к проведению работ, определяла объем исследований, анализировала полученные данные, выполняла описательную часть и корректировала после подачи в редакцию.

Зайко Е.В. отбирала объекты исследования, выполняла исследования.

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 11.08.2016

## AUTOR INFORMATION

## Affiliation

**Bataeva Dagmara Sultanovna** — candidate of technical sciences, docent, Head of the Direction of Microbiology, leading scientific worker of the Laboratory «Hygiene of production and microbiology», The V.M. Gorbатов All-Russian Meat Research Institute  
109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: 8-495-676-60-11  
E-mail: b.dagmara@inbox.ru

**Zaiko Elena Victorovna** — senior research technician of the Laboratory «Hygiene of production and microbiology», The V.M. Gorbатов All-Russian Meat Research Institute  
109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: 8-495-676-60-11  
E-mail: el.zaiko@yandex.ru

## Contribution

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work.

Bataeva D.S. developed the scientific methodical approaches to performing the work, determined the volume of investigation, analyzed the obtained data, performed the descriptive part and made corrections after submission to the editorial office.

Zaiko E.V. sampled the subjects of the investigation and performed the analysis.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 11.08.2016

# RESEARCH AND DEVELOPMENT CONTROL METHOD PATHOGENIC PRION INFECTIONS SECONDARY RAW MEAT INDUSTRY

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПАТОГЕННЫХ ПРИОННЫХ ИНФЕКЦИЙ ПОБОЧНОГО СЫРЬЯ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Prosekov A.Y., Kriger O.V

Kemerovo Technological Institute of Food Industry (University), Kemerovo, Russia

**Ключевые слова:** прионный белок, молекулярная идентификация, праймеры, амплификация.

**Keywords:** prion, molecular identification, primers, amplification.

### Аннотация

Разработан высокочувствительный и специфичный метод идентификации патогенного прионного белка. Установлено, что фракции водорастворимых белков говядины и плазмы крови сельскохозяйственных животных являются нормальными прионными белками крупного рогатого скота. Выравнивание последовательностей гена патогенного и нормального прионного белка *Ovis aries*, показало, что нуклеотидные последовательности PrP<sup>C</sup> и PrP<sup>Sc</sup> являются идентичными. Выбрано мышечное моноклональное антитело 15B3. Построена синтетическая последовательность, длиной 194 п.н., полученная случайным образом (ДНК-хвост). Созданная последовательность и последовательности базы данных гомологов не имеют. К синтезированному ДНК-хвосту подобраны 2 праймера размерами 20 п.н. Полученные экспериментальные данные указывают на то, что при использовании праймеров AGTCAGTCCTTGGCCTCCTT (левого) и CAGTTTCGATCCTCCTCCAG (правого) амплификацию следует проводить по следующей схеме: предварительная денатурация, 95 °C, 60 секунд, 1 цикл; денатурация, 95 °C, 30 секунд, 30 циклов; отжиг, 56 °C, 60 секунд, 30 циклов; элонгация, 72 °C, 30 секунд, 30 циклов, дополнительная элонгация в течение 1 цикла продолжительностью 600 секунд. Установлена оптимальная концентрация компонентов реакционной смеси для проведения ПЦР. Подтверждена высокая специфичность разработанной тест-системы и олигонуклеотидных праймеров путем электрофоретического разделения образцов мясного фарша, содержащего патогенный прионный белок, а также путем сравнительного анализа результатов определения патогенного прионного белка, полученных с помощью ПЦР-тест-системы и ИФА-системы «TeSe™».

### Abstract

Highly sensitive and specific method for identification of pathogenic prion protein was developed. It was found that the water-soluble fractions of beef proteins and plasma proteins of farm animals are normal prion proteins in cattle. Aligning gene sequences of pathogenic and normal prion protein of sheep (*Ovis aries*) revealed that the nucleotide sequences of PrP<sup>C</sup> and PrP<sup>Sc</sup> are identical. Murine monoclonal antibody 15B3 was selected. Synthetic sequence of 194 bps was randomly produced (DNA-tail). The produced sequence and the database sequences have no homologues. Two primer of 20 bps were selected for synthesized DNA-tail. The experimental data indicate that by using AGTCAGTCCTTGGCCTCCTT (left) and CAGTTTCGATCCTCCTCCAG (right) primers the amplification should be performed as follows: pre-denaturation, 95 °C, 60 seconds, 1 cycle; denaturation, 95 °C, 30 seconds, 30 cycles; annealing, 56 °C, 60 seconds, 30 cycles; elongation, 72 °C, 30 seconds, 30 cycles, additional elongation, 1 cycle, 600 seconds. The optimum concentration of reaction mixture components for PCR was established. High specificity of the developed test system and oligonucleotide primers was confirmed by electrophoretic separation of ground beef samples containing pathogenic prion protein, as well as by comparative analysis of the results of pathogenic prion protein determination. These results were obtained using PCR test system and TeSe™ ELISA system.

### Введение

При использовании мясного и побочного сырья возможно обнаружение групп заболеваний, характеризующихся прогрессирующим поражением различных отделов нервной системы и имеющих необычный генетический механизм возникновения и развития, так называемых прионных заболеваний.

Контроль качества мясного сырья в этом аспекте является новой, быстро развивающейся областью биомедицинских исследований, которая в последние годы приобрела важное научно-практическое значение [1].

### Introduction

Meat and secondary raw materials may be infected with pathogens inducing a group of diseases characterized by progressive destruction of different parts of the nervous system and possessing an unusual genetic mechanism of occurrence and development, i.e. so-called prion diseases.

In this respect, meat raw materials quality control is a new rapidly developing field of biomedical research, which has acquired great scientific and practical significance in recent years [1].

Prevention of prion diseases is based on the control and rejection of infected meat products or other products

Профилактика прионных болезней основывается на контроле и недопущении в пищу инфицированных мясных продуктов или других продуктов уоя. Поэтому усовершенствование и разработка чувствительных, специфичных и экспрессных методов идентификации патогенной формы прионного белка являются актуальной проблемой.

Целью работы является создание высокочувствительного метода идентификации патогенной формы прионного белка.

### Материалы и методы

Для анализа последовательностей ДНК, кодирующей синтез гена PRNP прионного белка, использовали базу данных NCBI, для построения филогенетического дерева использована компьютерная программа «CrustalW», подбор праймеров для амплификации специфических последовательностей патогенного прионного белка проводили с помощью программ: «NSBI Blast2», «Primer3 Output». Исследования осуществлены в соответствии с требованиями нормативно-технической документации (ГОСТ Р 52833-2007(ISO 22174:2005) и МУ 1.3.1794-03 «Организация работы при исследованиях методом ПЦР материала, инфицированного микроорганизмами I–II групп патогенности»).

### Результаты и обсуждение

Установлено, что фракции водорастворимых белков говядины и плазмы крови сельскохозяйственных животных являются нормальными прионными белками крупного рогатого скота [2].

Исследовано разнообразие в строении гена PRNP прионного белка у различных представителей крупного рогатого скота для выявления внутривидовых различий в последовательности этого гена и возможности использования результатов данного исследования при молекулярной идентификации патогенного прионного белка, конструировании универсальных праймеров для амплификации гена PRNP.

Для того, чтобы нагляднее оценить степень эволюционного родства последовательностей прионного белка, в компьютерной программе «CrustalW» было построено филогенетическое дерево, представленное на рисунке 1.

Проведено выравнивание последовательностей гена патогенного и нормального прионного белка *Ovis aries*, представленное на рисунке 2, которое показало, что нуклеотидные последовательности PrP<sup>c</sup> и PrP<sup>sc</sup> являются идентичными.

Проведенный филогенетический анализ подтвердил, что последовательности гена прионного белка являются весьма консервативными и различаются лишь конформацией и связанной с ней устойчивостью к протеолиту.

Это не позволяет выбрать ДНК-мишень из прионных последовательностей для последующего анализа с помощью ПЦР.

of slaughter. Therefore, improvement and development of sensitive, specific and rapid methods for identifying pathogenic forms of prion protein is an urgent problem.

The objective of this work was to develop a highly sensitive method for identification of the pathogenic form of the prion protein.

### Materials and methods

To establish the DNA sequences coding the PRNP prion protein gene, the NCBI database was used; to construct phylogenetic tree, CrustalW software was used; the selection of primers for amplification of specific sequences of a pathogenic prion protein was performed using NSBI Blast2 and Primer3 Output software. Studies were carried out in accordance with the requirements of regulative documentation (GOST R 52833-2007 (ISO 22174: 2005) and MU 1.3.1794-03 «Work organization in studies using PCR material infected with microorganisms of I–II pathogenicity groups»).

### Results and discussion

It was found that the water-soluble fractions of beef proteins and plasma proteins of farm animals are normal prion proteins in cattle [2].

The diversity in sequence of PRNP prion protein gene in various representatives of cattle was studied to detect intraspecific differences in the sequence of this gene and the possibility of using the results of this study in molecular identification of the pathogenic prion protein and development of all-purpose primers for amplification of PRNP gene.

In order to more clearly assess the degree of evolutionary congeniality of prion protein sequences, the CrustalW software was used to construct the phylogenetic tree presented in Figure 1.

The sequence alignment of pathogenic and normal prion protein genes of *Ovis aries* was carried out, which showed that the nucleotide sequence of PrP<sup>c</sup> and PrP<sup>sc</sup> are identical; the results are represented in Figure 2.

The conducted phylogenetic analysis confirmed that the prion protein gene sequences are highly conservative and differ only in conformation and related resistance to proteolysis.

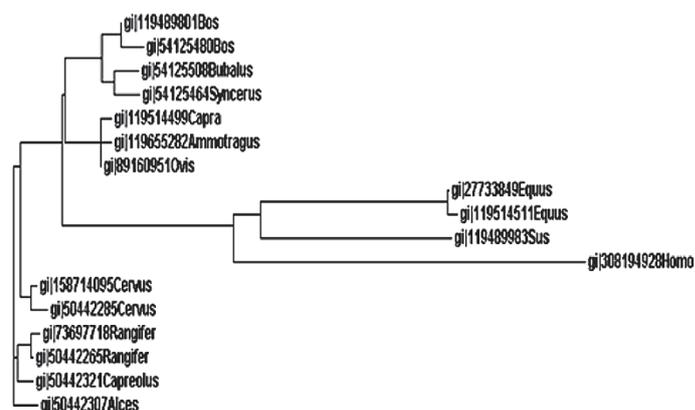


Figure 1. The phylogenetic tree of PRNP prion protein gene sequences  
Рис. 1. Филогенетическое дерево последовательностей гена PRNP прионного белка

```

gi | 341942290PrPsc GGGTCAAGGTGGTAGCCACAGTCAGTGGAAACAAGCCCAGTAAGCCAAAAACCAACATGAA 60
gi | 47028553PrP -GGTCAAGGTGGTAGCCACAGTCAGTGGAAACAAGCCCAGTAAGCCAAAAACCAACATGAA 59
*****
gi | 341942290PrPsc GCATGTGGCAGGAGCTGCTGCAGCTGGAGCAGTGGTAGGGGGCCTTGGTGGCTACATGCT 120
gi | 47028553PrP GCATGTGGCAGGAGCTGCTGCAGCTGGAGCAGTGGTAGGGGGCCTTGGTGGCTACATGCT 119
*****
gi | 341942290PrPsc GGGAAGTGCCATGAGCAGGCCTCTTATACATTTTGGCAATGACTATGAGGACCGTTACTA 180
gi | 47028553PrP GGGAAGTGCCATGAGCAGGCCTCTTATACATTTTGGCAATGACTATGAGGACCGTTACTA 179
*****
gi | 341942290PrPsc TCGTGAAAACATGTACCGTTACCCCAACCAAGTGTACTACAGACCAGTGGATCAGTATAG 240
gi | 47028553PrP TCGTGAAAACATGTACCGTTACCCCAACCAAGTGTACTACAGACCAGTGGATCAGTATAG 239
*****
gi | 341942290PrPsc AACCAGAACAACCTTTGTGCATGACTGTGTCAACACCACAGTCAAGCAACACACAGTCAC 300
gi | 47028553PrP TAACCAGAACAACCTTTGTGCATGACTGTGTCAACATCACAGTCAAGCTACACACAGTCAC 299
*****
gi | 341942290PrPsc CACCACCACCAAGGGGGAGAACTTCACCGAAACTGACATCAAGATAATGGAGCGAGTGGT 360
gi | 47028553PrP CACCACCACCAAGGGGGAGAACTTCACCGAAACTGACATCAAGATAATGGAGCGAGTGGT 359
*****
gi | 341942290PrPsc GGAGCAAATGTGCATCACCCAGTACCAGAGAGAATCCCAGGCTT 404
gi | 47028553PrP GGAGCAAATGTGCATCACCCAGTACCAGAGAGAATCCCAGGCT- 402
*****

```

Figure 2. The alignment of nucleotide sequences of normal PrP<sup>c</sup> and pathogenic PrP<sup>sc</sup> prion protein of *Ovis aries*  
 Рис. 2. Выравнивание нуклеотидных последовательностей гена PRNP нормального PrP<sup>c</sup> и патогенного PrP<sup>sc</sup>прионного белка *Ovis aries*

Поэтому в данном случае была выбрана разновидность ПЦР — метод иммуно-ПЦР в реальном времени для детекции инфекционных прионных белков, где молекулу ДНК используют в качестве маркера.

В ходе анализа было выбрано мышинное моноклональное антитело 15B3 (компании «Prionics»), которое получено с помощью 3-х различных последовательностей (эпитопа) пептида PrP человека: 15b3-1 включает в себя аминокислотные остатки 142-148 GSDYEDR(YY); 15b3-2 остатки 162-170 YYRPVDQYS; 15b3-3 остатки 214-226 CITQYQRESQAYY (рисунок 3).

Компанией «Prionics» экспериментально установлено, что 15B3 реагирует с патогенными PrP<sup>Sc</sup>прионами

It is not possible to select DNA target out of prion sequences for further analysis by PCR.

Therefore, in this case, modified PCR was selected — the real-time immuno-PCR technique for detection of infectious prion protein, where the DNA molecule was used as a marker.

During the analysis, 15B3 murine monoclonal antibody was chosen (by Rrionics), which was obtained using 3 different sequences (epitopes) of human PrP peptide: 15b3-1 includes amino acid residues 142-148 GSDYEDR(YY); 15b3-2 includes amino acid residues 162-170 YYRPVDQYS; 15b3-3 includes amino acid residues 214-226 CITQYQRESQAYY (Figure 3).

```

gi | 56180813Sus MVKSHIGGWILVLFVAAWSDIGLCKKRPKPGGGWNTGGSRYPGQSPGGNRYPPQGGGG- 59
gi | 119514512Equus MVKSHVGGWILVLFVATWSDVGLCKKRPKPGG-WNTGGSRYPGQSPGGNRYPPQGGGG- 58
gi | 6110615Ovis MVKSHIGSWILVLFVAMWSDVGLCKKRPKPGGGWNTGGSRYPGQSPGGNRYPPQGGGG- 59
gi | 1149617Capra MVKSHIGSWILVLFVAMWSDVGLCKKRPKPGGGWNTGGSRYPGQSPGGNRYPPQGGGG- 59
gi | 34334038Bos MVKSHIGSWILVLFVAMWSDVGLCKKRPKPGGGWNTGGSRYPGQSPGGNRYPPQGGGGR 60
gi | 89160954Homo --MANLGCWMLVLFVATWSDLGLCKKRPKPGG-WNTGGSRYPGQSPGGNRYPPQGGGG- 56
:::* *:***** ***:***** *****
gi | 56180813Sus -----WGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGGWGQGGGSHGQWNKPSKPKTN 112
gi | 119514512Equus -----WGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGGWGQGG-SHGQWNKPSKPKTN 110
gi | 6110615Ovis -----WGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGGWGQGG-SHSQWNKPSKPKTN 111
gi | 1149617Capra -----WGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGGWGQGG-SHSQWNKPSKPKTN 111
gi | 34334038Bos GQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGGWGQGG-THGQWNKPSKPKTN 119
gi | 89160954Homo -----WGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGGWGQPHGGG-WGQGGGTHSQWNKPSKPKTN 108
***** ***** :*.*****
gi | 56180813Sus MKHVAGAAAAGAVVGGGLGGYMLGSAMSRPLIHF GSDYEDRYY RENMYRYPNQVYYRVPDQ 172
gi | 119514512Equus MKHVAGAAAAGAVVGGGLGGYMLGSAMSRPLIHF GNDYEDRYY RENMYRYPNQVYYRVPVNE 170
gi | 6110615Ovis MKHVAGAAAAGAVVGGGLGGYMLGSAMSRPLIHF GNDYEDRYY RENMYRYPNQVYYRVPDQ 171
gi | 1149617Capra MKHVAGAAAAGAVVGGGLGGYMLGSAMSRPLMHF GNDYEDRYY RENMYRYPNQVYYRVPDQ 171
gi | 34334038Bos MKHVAGAAAAGAVVGGGLGGYMLGSAMSRPLIHF GSDYEDRYY RENMHRYPNQVYYRVPDQ 179
gi | 89160954Homo MKHMAGAAAAGAVVGGGLGGYMLGSAMSRPIIHF GSDYEDRYY RENMHRYPNQVYYRPMDE 168

```

Figure 3. The amino acid sequence of PRNP prion protein gene  
 Рис. 3. Аминокислотная последовательность гена PRNPприонного белка

Table 1. Parameters of primers | Таблица 1 — Параметры праймеров

Type of the primer   Вид праймера	Start position, bps   Стартовая позиция, п.н.	CG, %	Length, bps   Длина, п.н.	$t_m$ , °C	Sequence   Последовательность
Left   Левый	41	55	20	60.25	AGTCAGTCCTTGGCCTCCTT
Right   Правый	193	55	20	59.80	CAGTTTCGATCCTCCTCCAG

Table 2. Scheme of amplification | Табл. 2. Схема проведения амплификации

Operation   Операция	Temperature, °C   Температура, °C	Duration, s   Продолжительность, с	Number of cycles   Количество циклов
Pre-denaturation   Предварительная денатурация	95	60	1
Denaturation   Денатурация	95	30	30
Annealing   Отжиг	56	60	
Elongation   Элонгация	72	30	
Elongation   Элонгация	72	600	1

человека, крупного рогатого скота, овцы, оленя, мыши и хомяка, но не реагирует с нормальными PrP<sup>C</sup> прионами. Поэтому 15B3 может использоваться в качестве детектирующего антитела для дальнейшего анализа.

Построена синтетическая последовательность, длиной 194 п.н., полученная случайным образом (ДНК-хвост). Анализ в GenBank с помощью программы «BLAST» показал, что созданная последовательность и последовательности базы данных гомологов не имеют. К синтезированному ДНК-хвосту подобраны 2 праймера размерами 20 п.н.

С помощью программы «Primer3» подобраны параметры для соответствующих праймеров (таблица 1).

Полученные экспериментальные данные указывают на то, что при использовании праймеров AGTCAGTCCTTGGCCTCCTT (левого) и CAGTTTCGATCCTCCTCCAG (правого) амплификацию следует проводить по схеме, представленной в таблице 2.

Для подбора оптимального состава реакционной смеси ПЦР был использован набор для оптимизации ПЦР — «PCROptimizationKitII» фирмы «Sigma».

В ходе работы были апробированы 10 буферных систем, которые различались концентрацией хлористого калия и величиной pH. Состав буферных систем приведен в таблице 3.

По завершению наработки кДНК полученные пробы детектировали электрофорезом в 2%-ном агарозном геле, приготовленном на TBE буфере в присутствии бромистого этидия. Полученные результаты представлены на рисунке 4.

Из полученных результатов следует, что при использовании буферных систем №6, 7 и 10 не происходит амплификации фрагмента. При использовании остальных буферных систем (№1, 2, 3, 4, 5, 8 и 9) нарабатывается ПЦР-продукт размером 153 п.н., представленный на рисунке 3.15 яркими и четкими полосами. Существенных различий при использовании буферных систем (№1, 2, 3, 4, 5, 8 и 9) не наблюдается.

Учитывая вышеприведенные факты, были приняты следующие компоненты ПЦР-реакции в концентрациях, указанных в таблице 4.

The Rrionics company experimentally established that 15B3 reacts with pathogenic PrP<sup>Sc</sup> prions of human, cattle, sheep, deer, mouse and hamster but does not react with normal PrP<sup>C</sup> prions. Therefore, 15B3 may be used as detection antibody for further analysis.

The synthetic sequence of 194 bps was randomly produced (DNA-tail). GenBank analysis using the BLAST software showed that the produced sequence and database sequences have no homologues. Two primer of 20 bps were selected for synthesized DNA-tail.

Parameters for the respective primers were selected using Primer3 software (Table 1).

The experimental data indicate that, by using AGTCAGTCCTTGGCCTCCTT (left) and CAGTTTCGATCCTCCTCCAG (right) primers, amplification should be performed according to the scheme presented in Table 2.

The kit for optimization of PCR, PCROptimization-KitII by Sigma company, was used for the selection of the optimal composition of the PCR reaction mixture.

During the work, 10 buffer systems were tested, which varied in concentration of potassium chloride and in pH level. The composition of buffer systems is given in Table 3.

Upon completion of cDNA production, the obtained samples were detected by electrophoresis in 2% agarose gel prepared with TBE buffer in the presence of ethidium bromide. The results are shown in Figure 4.

The results show that, by using the buffer systems No. 6, 7, and 10, there was no amplification of the fragment. When using the other buffer systems (No. 1, 2, 3, 4, 5, 8, and 9) PCR product of 153 bps was produced, which is shown in Figure 3.15 by bright and clear bands. No significant differences were observed when using different buffer systems (No. 1, 2, 3, 4, 5, 8, and 9).

Considering the above facts, the following components were used in PCR reaction at concentrations indicated in Table 4.

Thus, based on the studies, the components for PCR reaction were selected; the optimal parameters for amplification process were chosen; the composition of the reaction mixture for PCR reaction was determined. The positive control sample was experimentally obtained, which is

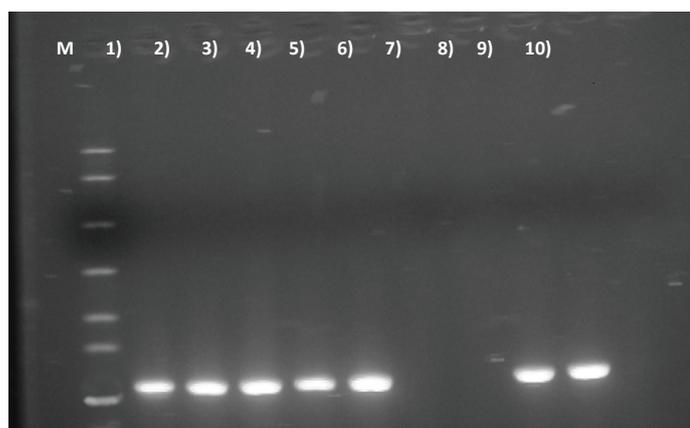


Figure 4. Electrophoregram of amplified specific region in various modes and buffer systems. M — DNA marker; 1) — 10) number of buffer systems

Рис. 4. Электрофореграмма амплифицированного специфического участка в различных буферных системах и режимах. М — маркер ДНК; 1) — 10) номера буферных систем

Таким образом, на основании проведенных исследований подобраны компоненты для проведения ПЦР-реакции, выбраны наиболее оптимальные параметры процесса амплификации, установлен состав реакционной смеси для проведения ПЦР-реакции. Экспериментально получен положительный контрольный образец, являющийся маркером длины ПЦР-продуктов, обеспечивающий высокую чувствительность определения видовой специфичности тканей животного происхождения.

Подтверждена высокая специфичность разработанной тест-системы и олигонуклеотидных праймеров путем электрофоретического разделения образцов мясного фарша, содержащего патогенный прионный белок, а также путем сравнительного анализа результатов определения патогенного прионного белка, полученных с помощью ПЦР-тест-системы и ИФА-системы «TeSeE™».

### Выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований выбрана высокопроизводительная ДНК-мишень; сконструированы два праймера, отвечающие требова-

Table 4. Composition of PCR reaction mixture  
Табл. 4. Состав реакционной смеси ПЦР

Component   Компонент	Final concentration   Конечная концентрация	Amount of component per 25 uL of mixture   Количество компонента на 25 мкл смеси
10X PCR buffer   10X ПЦР-буфер	1X   1X	2.5 uL   2,5 мкл
10 mM dNTP mix   10мМ смесь дНТФ	0.2 mM each   0,2 мМ каждого	0.5 uL   0,5 мкл
Primer 1 (50 uM)   Праймер 1 (50 мкМ)	1 uM   1 мкМ	0.5 uL   0,5 мкл
Primer 2 (50 uM)   Праймер 2 (50 мкМ)	1 uM   1 мкМ	0.5 uL   0,5 мкл
Taq-DNA polymerase   Таq-ДНК-полимераза	1.25 U   1,25 ед.	0.25 uL   0,25 мкл
25 mM MgCl <sub>2</sub>   25мМ MgCl <sub>2</sub>	1.5 mM   1,5 мМ	1 uL   1 мкл
DNA template   ДНК-матрица	0.1–1 ug   0,1–1 мкг	varies depending on the concentration of the sample   варьируется от концентрации образца
Deionized water   Деионизированная вода	—	Up to 25 uL   До 25 мкл

Table 3. The composition of buffer systems used in the optimization of the PCR reaction mixture

Табл. 3. Состав буферных систем, используемых при оптимизации состава реакционной смеси ПЦР

Buffer No.   № буфера	The composition of PCR buffer, × 10   Состав ПЦР буфера, × 10
1	100 mM Tris-HCl, pH 8.3, 250 mM KCl   100 мМТрисHCl, pH 8,3, 250 мМКCl
2	100 mM Tris-HCl, pH 8.3, 750 mM KCl   100 мМТрисHCl, pH 8,3, 750 мМКCl
3	50 mM Tris-HCl, pH 8.3, 250 mM KCl   50 мМТрисHCl, pH 8,3, 250 мМКCl
4	50 mM Tris-HCl, pH 8.3, 750 mM KCl   50 мМТрисHCl, pH 8,3, 750 мМКCl
5	100 mM Tris-HCl, pH 8.8, 250 mM KCl   100 мМТрисHCl, pH 8,8, 250 мМКCl
6	100 mM Tris-HCl, pH 8.8, 750 mM KCl   100 мМТрисHCl, pH 8,8, 750 мМКCl
7	50 mM Tris-HCl, pH 8.8, 250 mM KCl   50 мМ ТрисHCl, pH 8,8, 250 мМКCl
8	50 mM Tris-HCl, pH 8.8, 750 mM KCl   50 мМ ТрисHCl, pH 8,8, 750 мМКCl
9	100 mM Tris-HCl, pH 9.2, 250 mM KCl   100 мМТрисHCl, pH 9,2, 250 мМКCl
10	100 mM Tris-HCl, pH 9.2, 750 mM KCl   100 мМТрисHCl, pH 9,2, 750 мМКCl

a marker for the length of PCR product that provides high sensitivity for determination of animal tissues species.

High specificity of the developed test system and of oligonucleotide primers was confirmed by electrophoretic separation of ground beef samples containing pathogenic prion protein and by comparative analysis of determination results of pathogenic prion protein obtained by PCR-test system and TeSeE™ ELISA system.

### Conclusions

Thus, based on the studies, high performance DNA target was selected; two primers were designed to meet the requirements for PCR reaction; the optimal denatur-

ниям для проведения ПЦР, определена оптимальная температура денатурации и отжига при использовании двух праймеров, установлена концентрация компонентов реакционной смеси для проведения ПЦР. Наибольшую активность ПЦР-тест-система сохраняет при температуре хранения ( $4 \pm 2$ ) °C и через четыре месяца хранения она составляет 99,8%. В пределах исследуемого периода (4 месяца) разработанная ПЦР-тест-система характеризуется высокой чувствительностью и может быть использована для эффективной идентификации патогенного прионного белка в животных тканях.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России» по теме «Разработка и применение молекулярно-генетических методов для идентификации и типирования возбудителей инфекционных болезней животных», государственный контракт № 16.512.11.2077.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кригер, О.В. Прионные инфекции: характеристика возбудителей и способов диагностики трансмиссивных губчатых энцефалопатий крупного рогатого скота / О.В. Кригер, О.В. Козлова, А.Ю. Просеков // Вестник НГАУ. — 2011. — № 3. — С. 85–89.
2. Мудрикова, О.В. Исследование содержания нормального прионного белка крупного рогатого скота в пробах биологического происхождения / О.В. Мудрикова, О.В. Кригер, А.Ю. Просеков, А.Р. Хананова, С.Ю. Гармашов // Достижения науки и техники АПК. — 2011. — № 11. — С. 77–79.
3. Кригер, О.В. Основные аспекты конструирования праймеров для определения видовой принадлежности ДНК крупного рогатого скота методом полимеразной цепной реакции / О.В. Кригер, Л.С. Солдатова, А.Ю. Кравченко, М.В. Новоселова // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 2. — С. 362.
4. Драгунова, Е.Е. ПЦР-тест-система для идентификации патогенного прионного белка: необходимость разработки, методика изготовления и основные характеристики / Е.Е. Драгунова, И.С. Милентьева, О.В. Кригер, М.В. Новоселова // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 10. — Часть 8. — С. 1739–1740.
5. Москвина, Н.А. Применение метода полимеразной цепной реакции для видовой идентификации продуктов переработки растительного сырья / Н.А. Москвина, Ю.В. Голубцова, О.В. Кригер // Техника и технология пищевых производств. — 2014. — № 2. — С. 126–129.
6. Драгунова, Е.Е. Филогенетический анализ степени эволюционного родства последовательностей прионного белка / Е.Е. Драгунова, И.С. Милентьева, О.В. Кригер, М.В. Новоселова // Пищевые инновации и биотехнологии: материалы международного научного форума. — Кемерово, 2013. — С. 172–180.
7. Москвина Н.А. ДНК-маркеры, основанные на полимеразной цепной реакции — как метод оценки гигиенического разнообразия плодово-ягодного сырья / Н.А. Москвина, Ю.В. Голубцова, Л.С. Дышлюк, А.Ю. Просеков // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. — 2015. — № 7–1. — С. 134–137.
8. Просеков А.Ю. Разработка прототипов молекулярно-генетических тест-систем для выявления и типирования прионных инфекций / А.Ю. Просеков, О.О. Бабич, М.В. Новоселова // В сборнике: Международная научно-практическая конференция Биотехнология и качество жизни: материалы международной научно-практической конференции. Москва, 2014. — С. 577–578.
9. Просеков А.Ю. Влияние технологической обработки продовольственного сырья на эффективность видовой идентификации / А.Ю. Просеков, Ю.В. Голубцова, К.А. Шевякова // Пищевая промышленность. — 2014. — № 6. — С. 8–10.
10. Просеков А.Ю. Исследование состава и свойств белков животного происхождения биологических объектов и молочных продуктов многокомпонентного состава / Просеков А.Ю., Позднякова А.В. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. — 2014. — № 8. — С. 101–107.

ation and annealing temperature was determined using two primers; the concentration of PCR reaction mixture components was determined. The activity of PCR test system is highest at a storage temperature of  $4 \pm 2$  °C and after four months of storage it is 99.8%. Within the test period (4 months) the developed PCR test system is characterized by high sensitivity and can be used for effective identification of pathogenic prion protein in animal tissues.

The work was carried out within the framework of the federal target program «Research and development in priority areas of scientific and technical complex in Russia» on the topic «Development and application of molecular and genetic methods for identification and typing of pathogens inducing the animal infectious diseases.» state contract No. 16.512.11.2077.

## REFERENCES

1. Kriger, O.V. Prion infection: characterization of pathogens and methods for the diagnosis of transmissible spongiform encephalopathies in cattle / O.V. Kriger, O.V. Kozlova, A.Y. Prosekov // Herald NGAU. — 2011. — № 3. — P. 85–89.
2. Mudrikova, O.V. Issledovanie content of the normal prion protein in cattle in samples of biological origin / O.V. Mudrikova, O.V. Kriger, A.Y. Prosekov, A.R. Hananova, S.Y. Garmashov // Advances in science and agribusiness technology. — 2011. — № 11. — P. 77–79.
3. Kriger, O.V. The main aspects of designing primers for certain types of DNA supplies of cattle using polymerase chain reaction / O.V. Kriger, L.S. Soldatov, A.Y. Kravchenko, M.V. Novoselova // Modern problems of science and education. — 2012. — № 2. — P. 362.
4. Dragunova, E.E. PCR test system for the identification of pathogenic prion protein: the need to develop, manufacture technique and the basic characteristics / E.E. Dragunova, I.S. Milentyeva, O.V. Kriger, M. Novoselova // Basic Research. — 2013. — № 10. — Part 8. — C. 1739–1740.
5. Moskvina, N.A. Application of polymerase chain reaction for species identification products processing plant raw materials / N.A. Moskvina, Y. Golubtsova, O.V. Kriger // Engineering and technology of food production. — 2014. — № 2. — P. 126–129.
6. Dragunova, E.E. Phylogenetic analysis of the degree of kinship evalyutsionnogo sequences of prion protein / E.E. Dragunova, I.S. Milentyeva, O.V. Kriger, M. Novoselova // Food and Biotechnology Innovation: Proceedings of the international scientific forum. — Kemarovo, 2013. — P. 172–180.
7. N.A. Moskvina DNA markers based on polymerase chain reaction — as a method of assessing the hygienic variety of fruit raw material / N.A. Moskvina, Y. Golubtsova, L.S. Dyshlyuk, A.Y. Prosekov // Theoretical and applied aspects of modern science. — 2015. — № 7–1. — P. 134–137.
8. Prosekov A.Y. Prototyping gineticheskikh molecular test kits for the detection and typing of prion infections / A.Y. Prosekov, O.O. Babich, M. Novoselova // In: International Scientific-Practical Conference Biotechnology and quality of life: the materials of the international scientific-practical conference. Moscow 2014. — P. 577–578.
9. Prosekov A.Y. Influence of processing food raw materials on the effectiveness of specific identification / A.Y. Prosekov, Y. Golubtsova, K.A. Shevyakova // Food Industry. — 2014. — № 6. — P. 8–10.
10. A.Y. Prosekov The study of composition and properties of proteins of animal origin of biological objects and dairy products multicomponent composition / Prosekov A.Y., Pozdnyakova A.V. // Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. — 2014. — № 8. — P. 101–107.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

### Принадлежность к организации

**Просеков Александр Юрьевич** — доктор технических наук, профессор, и. о. ректора «Кемеровского государственного университета», заведующий кафедрой «Бионанотехнология», ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)»  
650056, г. Кемерово, бульвар Строителей, 47  
Тел.: 8–3842–39–05–37  
E-mail: bionano\_kem@mail.ru

**Кригер Ольга Владимировна** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Бионанотехнология», ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)»  
650056, г. Кемерово, бульвар Строителей, 47,  
Тел.: 8–3842–39–05–37  
E-mail: bionano\_kem@mail.ru

### Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 12.09.2016

## AUTOR INFORMATION

### Affiliation

**Prosekov Alexander Yurievich** -Dr. Sci. (Eng.), Professor, Acting President of the Kemerovo State University, Head of the Department of bionanotechnology, FSBEI HVE «Kemerovo Institute of Food Science and Technology»  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia  
Tel.: 8–3842–39–05–37  
E-mail: bionano\_kem@mail.ru

**Kruger Olga Vladimirovna** — Ph.D., Associate Professor, Department of bionanotechnology, FSBEI HVE «Kemerovo Institute of Food Science and Technology»  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia  
Tel.: 8–3842–39–05–37  
E-mail: bionano\_kem@mail.ru

### Contribution

The authors equally contributed to the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiarism.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.09.2016

# ASPECTS OF THE DESTRUCTIVE CHANGES IN THE MAIN NUTRIENTS OF CANNED MEAT IN PIECES «STEWED BEEF OF THE TOP GRADE» UNDER THE NON-NORMATIVE TEMPERATURE AND HUMIDITY CONDITIONS OF STORAGE

## АСПЕКТЫ ДЕСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОСНОВНЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ МЯСНЫХ КУСКОВЫХ КОНСЕРВОВ «ГОВЯДИНА ТУШЕНАЯ ВЫСШИЙ СОРТ» ПРИ НЕНОРМИРОВАННЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ ХРАНЕНИЯ

Krylova V.B., Gustova T.V.

The V.M. Gorbатов All-Russian Meat Research Institute, Moscow, Russia

**Ключевые слова:** консервы, хранение, нерегулируемые условия, деструкция белка, сохранность жира.

**Keywords:** canned foods, storage, unregulated conditions, protein destruction, fat preservation.

### Аннотация

Научно-обоснованные и установленные температурно-влажностные условия хранения мясных стерилизованных консервов — от 0 до плюс 20 °С и относительной влажности воздуха не более 75%. Но в суровых и экстремальных климатических условиях регионов России крайне сложно или практически невозможно обеспечение нормируемых температурно-влажностных условий при транспортировании консервов до потребителя, а также и при кратковременном хранении. Следовательно, получение новых экспериментальных данных по влиянию ненормированных условий хранения стерилизованных консервов на показатели безопасности и качества продукции актуальны и важны для понимания характера и глубины деструктивных процессов, протекающих в продуктах.

Отмечено, что скачкообразное изменение климатических условий не оказало стимулирующего воздействия на развитие микрофлоры в исследуемых образцах. Все образцы — промышленно стерильны.

Гистологическими исследованиями подтверждено усиление степени деструкции мышечных волокон при нерегулируемых условиях хранения: микротрещины и узкие поперечные трещины носят множественный характер, количество мелкозернистой белковой массы возросло.

Установлено, что замораживание и последующее хранение оказывало большее отрицательное влияние на степень деструкции белков и аромат бульона и мяса консервов, чем нерегулируемые температурно-влажностные условия хранения. Так, массовые доли белкового азота и незаменимых аминокислот снизились в среднем на 7,8%. Сохранность жировой составляющей консервов в стабильно замороженном состоянии значительно выше, чем при чередовании условий замораживания и оттаивания. Степень снижения суммарного содержания мононенасыщенных жирных кислот в консервах при нерегулируемых условиях составила в среднем более 20%, полиненасыщенных — более 31%.

Показано, что замораживание консервов при стабильно низких температурах приводило к наиболее выраженному негативному воздействию на аромат бульона и мяса. В среднем степень воздействия стабильно низких температур на

### Abstract

The scientifically substantiated and established temperature and humidity conditions of storage of sterilized canned meat are a temperature in a range from 0 to + 20 °C and the air relative humidity not more than 75%. However, in the harsh and extreme climate conditions of the Russian regions, it is extremely difficult or practically impossible to ensure the normative temperature and humidity conditions when transporting canned foods to a consumer, as well as at short-term storage. Therefore, obtaining new experimental data on an effect of the non-normative temperature and humidity conditions of the sterilized canned foods on the indicators of product safety and quality are topical and important for understanding the character and depth of the destructive processes occurring in a product.

It was noted that an abrupt change in the climatic conditions did not have a stimulating effect on microflora development in the tested samples. All samples were commercially sterile.

The histological investigations proved an increase in the degree of muscle tissue destruction in the unregulated storage conditions: microfractures and narrow cross fractions had a multiple character, an amount of fine-grained proteinous mass increased.

It was established that freezing and subsequent storage had a stronger negative effect on the degree of protein destruction and aroma of the broth and meat of the canned foods compared to the unregulated temperature and humidity storage conditions. For example, the mass fraction of protein nitrogen and essential amino acids decreased on average by 7.8%. The preservation of the fatty constituent of the canned foods in the stably freezing condition was considerably higher than in case of alternating freezing and defrosting. The degree of a decrease in the sum content of mono-unsaturated fatty acids in the canned foods in the unregulated conditions was on average more than 20%, those of polyunsaturated fatty acids was more than 31%.

It was shown than freezing of canned food at stably low temperatures led to the most pronounced negative impact on the aroma of broth and meat. On average, the degree of the effect of the stably low temperatures was higher by 5.4% compared to the

5,4% выше, чем в консервах, хранившихся в нерегулируемых температурно-влажностных условиях.

Содержание витаминов и накопление продуктов гидролиза белков по фазам «пепсин-трипсин» в мясных консервах остались неизменными в исследуемый период времени.

## Введение

В международной и национальной логистике, в логистических системах и их структурных элементах, цепях поставок и их звеньях, огромное количество экономических ресурсов, усилий, средств и времени тратится на транспортировку, перемещение материальных ценностей, товарных продуктов по всем регионам земного шара. Часто суровые и экстремальные климатические условия, отсутствие развитой транспортной инфраструктуры и изношенность дорожных путей является проблемой отдаленных регионов страны, что затрудняет или делает невозможным обеспечение традиционных температурно-влажностных условий при транспортировании консервов до потребителя, а также и при кратковременном хранении в неотапливаемых складских помещениях. В большой степени это относится и к России. В силу своей огромной площади Россия — страна природных контрастов. Так средние температуры самого теплого месяца колеблются от плюс 1 °С на Крайнем Севере до плюс 25 °С на Прикаспийской низменности и плюс 40 °С на юго-западе Сибири; самого холодного месяца — от плюс 6 °С на Черноморском побережье до минус 50 °С в северо-восточной Сибири [1].

Площадь арктических территорий страны превышает 2 млн. км<sup>2</sup> с населением около 1 млн. чел.[2].

Научно-обоснованные и установленные температурно-влажностные условия хранения мясных стерилизованных консервов — от 0 до плюс 20 °С и относительной влажности воздуха не более 75%. Под температурой хранения подразумевается температура воздуха в хранилище, на складе или грузовом транспорте во время перевозок. Температура является важнейшим показателем, поскольку с повышением температуры выше нормы на 10 °С скорость химических и биологических процессов увеличивается в 2–3 раза. При температуре ниже нуля вода, входящая в состав продуктов, замерзает и разрушает микроструктуру и упаковку. Относительная влажность воздуха связана с температурой обратной зависимостью. При избытке водяных паров на потребительской упаковке, а также непосредственно на стенах и потолках хранилища образуется конденсат. Известно, что наличие конденсата на поверхности металла приводит к коррозии его поверхности. Возможно, что резкие скачкообразные перепады температуры и влажности могут оказывать более сильное отрицательное влияние на сохранность продукции, чем стабильные отрицательные температуры.

*canned food stored in the unregulated temperature and humidity conditions.*

*The content of vitamins and accumulation of products of protein hydrolysis by the phases «pepsin-trypsin» in canned meat did not change in the studied time period.*

## Introduction

In the international and national logistics, in the logistics systems and their structural elements, supply chains and their stages, a huge amount of economic resources, efforts, money and time is spent on transportation, transfer of valuables and goods throughout all regions of the world. Often, the harsh and extreme climate conditions, an absence of the developed transport infrastructure and the poor state of roads present a problem for the remote regions of the country, which make it difficult or impossible to ensure the conventional temperature and humidity conditions at transportation of canned foods to a consumer, and well as at short-term storage in the unheated storage buildings. To a large extent, this is also true for Russia. Due to its huge territory, Russia is a country of nature contrasts. For instance, the mean temperatures in the warmest month vary from +1 °C in the Far North to +25 °C in the Peri-Caspian Lowland and +40 °C in the South-West of Siberia. For the coldest month the temperature range is from +6 °C on the Black Sea coast to –50 °C in the north-eastern Siberia [1]. The area of the Arctic territory of the country is more than 2 million km<sup>2</sup> with the population of 1 million people [2]. The scientifically substantiated and established temperature and humidity conditions of canned food storage are the temperature in a range from 0 to + 20 °C and the air relative humidity not more than 75%. By the storage temperature is meant the air temperature in a storage building, warehouse or goods transport during transportation. A temperature is an important indicator as with a temperature increase above the norm by 10 °C, the rate of the chemical and biological processes increases by 2–3 times. At a temperature below zero, water, which is a constituent of a product, freezes and destroys the microstructure and a package. The relative air humidity negatively correlates with a temperature. At excess of water vapor, a condensate is formed on a consumer package and directly on the walls and ceilings of a storage facility. It is known that the presence of a condensate on a metal surface leads to corrosion of its surface. It is possible that abrupt changes in a temperature and humidity can have a stronger negative effect on product storability than stable negative temperatures.

В истории «консервного дела» известно немало случаев очень продолжительного хранения консервов в ненормированных температурно-влажностных условиях. Наиболее известными можно считать пищевые консервы для войск «Щи с мясом и кашею» в жестяной паяной внахлест банке, произведенные в 1900 году на фабрике пищевых консервов Ф. Азибера в С. Петербурге, взятые в 1974 году из оставшегося пищевого склада, заложенного в 1900 году участниками Первой полярной экспедиции на глубину 1,3 м в условиях вечной мерзлоты. Консервы остались промышленно стерильными и приемлемыми по органолептическим свойствам [3].

Однако данные по качеству и безопасности консервов, хранившихся в условиях, выходящих за пределы нормируемых, носят фрагментарный характер и не позволяют в полной мере оценить характер деструктивных изменений готовой продукции. Следовательно, систематизированные экспериментальные данные по влиянию нерегулируемых температурно-влажностных условий хранения стерилизованных консервов на показатели безопасности и качества продукции будут способствовать правильному и своевременному принятию решений по исключению возможности попадания в пищу потребителя некачественной продукции.

Цель исследований — изучение влияния ненормированных температурно-влажностных условий хранения на безопасность и качество мясных кусковых консервов «Говядина тушеная высший сорт».

### **Объекты и методы исследований**

В качестве объекта исследований взяты опытные образцы консервов «Говядина тушеная высший сорт» (ГОСТ 32125), в состав которых входили: говядина жилованная с массовой долей жировой и соединительной тканей не более 6% в количестве 87%, жир говяжий, лук, соль поваренная, перец черный и лист лавровый, изготовленные из одной партии сырья, в цельнотянутой жестяной банке № 8 в количестве 600 банок и хранившиеся:

- при традиционных температурно-влажностных условиях — контрольный образец № 1;
- в условиях морозильной камеры при температуре минус 12 °С — образец № 2;
- в нерегулируемых температурно-влажностных условиях — образец № 3.

Были приняты два варианта нарушения условий транспортирования и хранения: первый — консервы хранили в течение шести недель (февраль-март текущего года) при нерегулируемых температурно-влажностных условиях окружающей среды; второй — консервы хранили 30 суток при температуре минус 12 °С.

В работе использованы следующие методы определения:

The history of conservation knows many cases of very durable storage of canned foods in the unregulated temperature and humidity conditions. One of the most famous is the canned foods for the military «Shchi with meat and kasha» in a tin soldered in overlap, which was produced in 1900 in the cannery of F. Aziber in Saint Petersburg and taken out in 1974 from the remained food storage facility built in 1900 by the participants of the first polar exhibition at a depth of 1.3 m in the permafrost conditions. The canned food remained to be commercially sterile and acceptable by the organoleptic properties [3].

However, the data on the quality and safety of canned foods stored in the conditions that fell outside of the norms have the fragmented character and do not allow a full assessment of the destructive changes of finished products. Therefore, the systemized experimental data on the effect of the unregulated temperature and humidity conditions of storage of sterilized canned foods on the indicators of safety and quality of products will facilitate the correct and timely decision making with respect to exclusion of the possibility of entering poor-quality products on a table of a consumer.

The aim of the investigation was to study the unregulated temperature and humidity conditions of storage on safety and quality of canned meat in pieces «Stewed beef of the top grade».

### **Subjects and methods of research**

The experimental samples of canned meat in pieces «Stewed beef of the top grade» (ГОСТ 32125) were used in the study as a subject of research. The composition of canned meat included trimmed beef with mass fraction of fatty and connective tissues not more than 6% in an amount of 87%, beef fat, onion, table salt, black pepper and laurel leaf. The canned foods were made from a single batch of raw material in the tins No 8 in a quantity of 600 cans and were stored in:

- the traditional temperature and humidity conditions — control sample No. 1;
- the conditions of a freezing chamber at a temperature of –12 °C — sample No. 2;
- the unregulated temperature and humidity conditions — sample No. 3.

Two variants of violation of storage and transportation conditions were considered: the first, when canned meat was stored for six weeks (February-March of the current year) in the unregulated temperature and humidity conditions of the environment; the second, when canned meat was stored for 30 days at a temperature of –12 °C.

In the work, the following methods of detection were used:

- величины перекисного (ПЧ) числа жира по реакции взаимодействия продуктов окисления животных жиров (перекисей и гидроперекисей) с йодистым калием в растворе уксусной кислоты и хлороформа с последующим количественным определением выделившегося йода раствором тиосульфата натрия титриметрическим методом [4];
- величины кислотного (КЧ) числа — титриметрическим методом, основанным на титровании свободных жирных кислот раствором гидроокиси калия [5];
- значений тиобарбитурового числа (ТБЧ) — по реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым альдегидом, образующимся при окислении ненасыщенных жирных кислот, содержащихся в мясе, и на последующем измерении абсорбции образовавшейся окраски на спектрофотометре [6];
- содержания фракций азота — методами, основанными на способности белковых веществ осаждаться под действием различных реагентов. Белковый азот осаждали трихлоруксусной кислотой с последующей минерализацией осадка и определением азота в нем по методу Кьельдаля. Пептидный азот определяли по разности между азотом, осаждаемым фосфорновольфрамовой кислотой и азотом, осаждаемым трихлоруксусной кислотой. Количество остаточного азота представляло собой разницу между количеством общего азота и количеством белкового и пептидного [7];
- аминокислотного состава белка — по методике выполнения измерений массовой концентрации наиболее распространенных аминокислот в водном растворе в диапазоне 5–70 г/дм<sup>3</sup> методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [8];
- жирнокислотного состава липидов — выделением липидов из образцов экстракцией хлороформ/метанолом по методу Фолча. Чистоту выделенных липидов проверяли методом тонкослойной хроматографии. Определение состава жирных кислот проводили на газовом хроматографе HP 6890 фирмы «Hewlett Packard» [9];
- peroxide value (PV) of fat by the reaction of interaction of animal fat oxidation products (peroxides and hydroperoxides) with potassium iodide in the solution of acetic acid and chloroform with the following quantitative titration of released iodine with the sodium thio-sulphate solution by the titration method [4];
- acid value (AV) by the titration method based on titration of free fatty acids with potassium hydroxide [5];
- thiobarbituric acid value (TBAV) by the reaction of the thiobarbituric acid with malondialdehyde formed in the oxidation of unsaturated fatty acids contained in meat and the following detection of absorption of the formed color on a spectrophotometer;
- content of nitrogen fractions — by the methods based on the ability of the protein substances to precipitate under the action of different reagents. Protein nitrogen was precipitated with trichloroacetic acid with the following mineralization of precipitate and detection of nitrogen by the Kjeldahl method. Peptide nitrogen was determined by the difference between nitrogen precipitated with phospho-wolframic acid and nitrogen precipitated with trichloroacetic acid. An amount of residual nitrogen is the difference between an amount of the total nitrogen and an amount of protein and peptide nitrogen [7];
- amino acid composition of protein — by the method for measurement of mass concentration of the most abundant amino acids in the aqueous solution in a range of 5–70 g/l by the method of high performance liquid chromatography [8];
- fatty acid composition of lipids — by isolation of lipids from the samples by extraction using the Folch chloroform/methanol method. The purity of the extracted lipids was verified by the method of thin layer chromatography. The composition of fatty acids was detected on a gas chromatograph HP 6890 from Hewlett Packard [9];

Витаминный состав определяли методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на системе ВЭЖХ Ultimate 3000 (Dionex) в ультрафиолетовой (УФ) области спектра с заданной длиной волны для каждого витамина. Подготовка проб для водорастворимых витаминов заключалась в переводе их фосфатных форм путем последовательного кислотного и ферментативного гидролиза комплексом ферментов  $\alpha$ -амилаз from *Aspergillus oryzae* (Sigma 86250-100G), а также осаждении белков раствором трихлоруксусной кислоты. Для жирорастворимых витаминов — в щелочном гидролизе их сложноэфирных форм, последующей экстракции диэтиловым эфиром и концентрировании.

The vitamin composition was detected by reversed-phase high performance liquid chromatography (HPLC) using the system HPLC Ultimate 3000 (Dionex) in the ultraviolet (UV) spectral region with the specified wavelengths for each vitamin. Sample preparation for water-soluble vitamins consisted in transformation of their phosphate forms by sequential acid and enzymatic hydrolysis with a complex of enzymes  $\alpha$ -Amylase from *Aspergillus oryzae* (Sigma 86250-100G) and precipitation of proteins with a solution of trichloroacetic acid. Sample preparation for fat-soluble vitamins consisted in alkaline hydrolysis of their ester forms and subsequent extraction with diethyl ester and concentration.

Хроматографическое разделение водорастворимых витаминов проводили на колонке Acclaim PolarAdvantage II C 18 5 мкм 4,6×150 мм (Dionex), используя в качестве подвижной фазы фосфатный буфер (рН 3,4), бидистиллированную воду и ацетонитрил, в градиентном режиме элюирования. Для хроматографического разделения жирорастворимых витаминов использовали колонку SUPELCOSIL LC-PAH 5 мкм 4,6×150 мм (Supelco) на основе пористых силикагельных частиц химически модифицированных фенильными группами, что позволяет с высокой селективностью разделить жирорастворимые витамины. В качестве подвижной фазы применяли 92 %-ную смесь метанол-вода, режим элюирования — изократический [10, 11].

- переваримости белков «in vitro» — ферментным гидролизом белка методом А.А. Покровского и И.Д. Ертанова в модификации ВНИИМП;
- промышленной стерильности консервов — методом, основанным на определении внешнего вида и герметичности консервов, выявлении в продукте жизнеспособных микроорганизмов [12];
- аромата — инструментальным методом на приборе VOCmeter (AppliedSensor, Germany), основанным на анализе летучих органических веществ (volatile organic compounds) при помощи четырех металлооксидных сенсоров (MOS) и восьми кварцевых микробалансных сенсоров (QMB).

Исследование микроструктуры образцов консервов проводили методом, основанным на идентификации на гистологических препаратах животных и растительных компонентов в различных видах мясных консервов и мясопродуктов в соответствии с их микроструктурными особенностями, а также установлении соотношения мышечной и соединительной тканей в мясном сырье [13].

Обработку экспериментальных данных проводили методами математической статистики. Повторность опытов трех и пятикратная. Гипотезы проверяли с уровнем доверительной вероятности 0,95.

В MS Excel аппроксимацию экспериментальных данных осуществляли путем построения их графика с последующим подбором подходящей аппроксимирующей функции.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки воздействующего фактора — нерегулируемых температурно-влажностных условий окружающей среды (образец № 3) в период исследований вели журнал значений температуры и влажности воздуха в течение каждых суток, динамика изменения которых представлена на рисунках 1 и 2.

Анализ климатических данных (рис. 1–2) показал большой разброс дневных и ночных температур: от минус 11 °С ночью до плюс 10 °С днем и среднесуточной влажности: максимальной в феврале (96%)

Chromatographic separation of water-soluble vitamins was carried out on the Acclaim PolarAdvantage II C 18 column (5 μm 4.6×150 mm) (Dionex) using phosphate buffer as a mobile phase (pH 3.4), bi-distilled water and acetonitrile in the gradient mode of elution. For the chromatographic separation of fat-soluble vitamins, we used the SUPELCOSIL LC-PAH column (5 μm 4.6×150 mm) (Supelco) based on the porous silica particles chemically modified with phenyl groups, which allow highly selective separation of fat-soluble vitamins. As a mobile phase, 92% methanol-water mixture was used with the isocratic mode of elution [10, 11].

Protein digestibility in vitro was determined by enzymatic hydrolysis of protein using the method by A.A. Pokrovsky and I.D. Ertanova in the modification of VNIIMP;

Commercial sterility of canned meat was verified by the method based on an assessment of appearance and hermeticity of the canned foods, detection of viable microorganisms in a product [12];

Aroma was assessed by the instrumental method on the VOCmeter (AppliedSensor, Germany) based on the analysis of the volatile organic compounds using four metal oxide sensors (MOS) and 8 quartz microbalance (QMB) sensors.

Study of the microstructure of the canned meat samples was carried out by the method based on the histological identification of the animal and plant components in different kinds of canned meat and meat products according to their microstructure peculiarities, and establishing the ratio of muscle and connective tissues in meat raw material [13].

Processing of the experimental data was carried out by the methods of mathematical statistics. The experiments were replicated three and five times. The hypotheses were verified with the confidence level of 0.95.

Approximation of the experimental data was carried out in MS Excel by building a graph with the subsequent selection of a suitable approximating function.

### Results and discussions

To assess the influential factor (the unregulated temperature and humidity conditions of an environment; sample No 3), in the period of the study, the journal of the values of the air temperature and humidity during each day was kept. The dynamics of their changes is presented in Fig. 1 and 2.

The analysis of the climatic data (Fig. 1–2) demonstrated a high dispersion of the day and night temperatures (from –11 °C at night to +10 °C during the daytime) and average daily humidity with maximum in February (96%) and

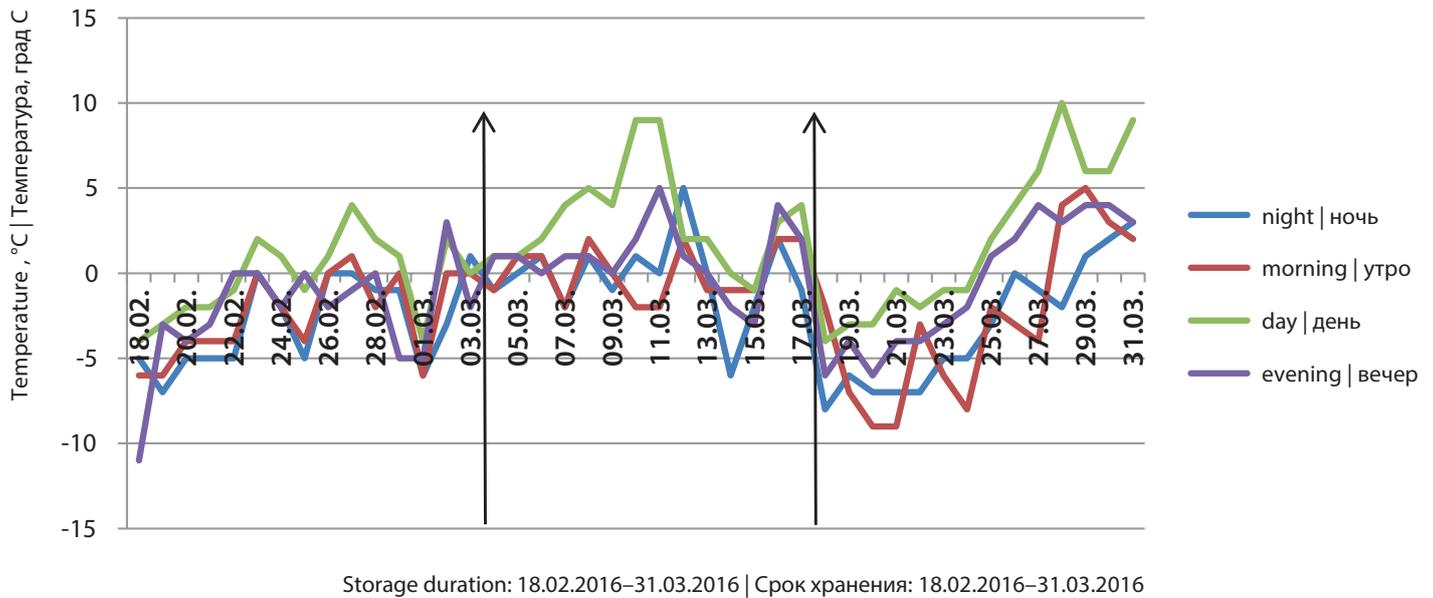


Figure 1. A graph of the air temperature during the studied period  
Рис. 1. График температур воздуха в исследуемый период

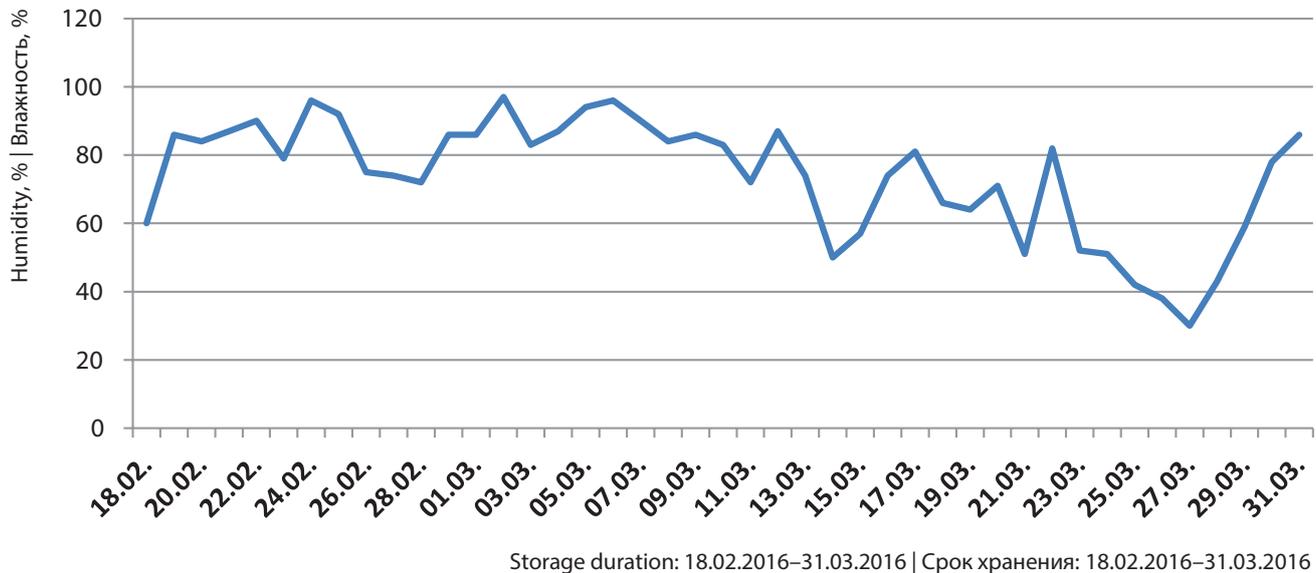


Figure 2. A graph of the average daily air humidity during the studied period  
Рис. 2. График среднесуточной влажности воздуха в исследуемый период

и минимальной в марте (30%). Так, первые две недели вечером, ночью и утром преобладали низкие температуры — в среднем минус 4 °С, днем температура не поднималась выше плюс 4 °С. При таком температурном режиме возможно подмораживание поверхностного слоя консервов. В последующие две недели хранения преобладали температуры близкие к нулю — в основном минус 1 °С и минус 2 °С ночью и утром, выше нуля (в среднем плюс 3,8 °С) — днем и плюс 1,5 °С в среднем вечером. Третий период исследований отличался преобладанием низких температур, что могло привести к более глубокому замораживанию консервов — в ночное и утреннее время до минус 9 °С и до минус 4 °С — днем. В последние три дня исследований температурный диапазон держался выше нуля градусов, что способствовало отеплению консервов.

minimum in March (30%). For example, during the first two weeks, low temperatures prevailed in the evenings, at nights and in the mornings (–4 °С on average), while during the daytime the temperature did not rise higher than +4 °С. Under such temperature regime, the slight freezing of the surface layer of canned foods is possible. During the following two weeks, the temperatures around zero prevailed, mainly, –1 °С and –2 °С at nights and in the mornings, above zero (+3.8 °С on average) during the daytime and +1.5 °С on average in the evenings. The third period of the investigations was characterized by prevalence of low temperatures, which could lead to more deep freezing of the canned foods: up to –9 °С at night and in the mornings and up to –4 °С during the daytime. Over the last three days of the investigations, the temperature range was above zero, which facilitated thawing of the canned foods.

Анализ технической литературы, связанной с изучением аспектов замораживания термообработанных пищевых продуктов, показал, что основное внимание исследователи обращали на стабильность микробиологических и органолептических показателей с целью обоснования срока годности такой продукции [14–17].

Так, исследуя вареную свиную корейку, упакованную под вакуумом в полиамид-полипропиленовые пакеты и термообработанную при температуре 70 °С в течение 12 ч, хранившуюся при 2 °С в течение 10 недель, установлено, что сенсорная порча предшествовала микробиологической порче. Выявлены перегретый вкус и прогорклость, при этом определены умеренные количества (2–3 log КОЕ/г) плесеней и дрожжей. Свиная корейка была неприемлемой после 10 недель хранения [14].

Разрушение и ингибирование микроорганизмов, особенно патогенных, достигалось посредством исходного этапа термообработки и последующего хранения при более низких температурах (Hill, 1994). Обычный процесс термообработки-охлаждения в Дании, Франции, Германии, Швеции и Великобритании требовало термообработки в диапазоне 65–80 °С с последующим процессом охлаждения до достижения температуры 10–3 °С в пределах 1,5–4 ч, а затем хранения при температуре в пределах 0–3 °С (Hill, 1994). Более низкие температуры хранения использовали для удлинения продолжительности хранения этих продуктов, поддерживая их температуру при 1–2 °С ниже температуры замерзания. Пищевые продукты, после термообработки, подвергали суперохлаждению при 1–2 °С ниже температуры замерзания продукта или замораживанию при температуре минус 30 °С, а затем размораживали до 5 °С при необходимости (O'Leary et al., 2000; Redmond et al., 2004) [16].

Исследовали сенсорные характеристики куриных грудок после термообработки, холодильного хранения и повторного нагревания. Термообработку вели при температуре 70–80 °С, хранили при температуре 5 °С в течение 7 дней. Показано, что при температуре термообработки 80 °С значительно улучшались сенсорные характеристики продукта, в отличие от этого же продукта, но изготовленного обычным кулинарным способом. Гедонические результаты привлекательности показали, что в противоположность общепринятому, эти изменения не всегда желательны в отношении приемлемости продуктов. Показано, что термообработка, необходимая для обеспечения микробиологической безопасности, вызывала ощутимую потерю сенсорного качества [18].

Результатов исследований по хранению продукта, подвергшегося термообработке выше 100 °С и хранившегося в нерегулируемых температурно-влажностных условиях или при отрицательных температурах практически нет. Кроме результатов исследований продуктов случайно оказавшихся в таких температурно-влажностных условиях.

The analysis of the technical literature linked to the studies on the aspects of freezing of thermally treated foods showed that the researchers largely focused on the stability of the microbiological and organoleptic indicators with the aim of substantiation of the shelf life of such products [14–17]. For example, when studying cooked pork loin packed under vacuum in the polyamide-polypropylene bags and thermally treated at a temperature of 70 °С for 12 hours and stored at 2 °С for 10 weeks, the researchers established that the sensory spoilage preceded the microbiological spoilage. The warm-over flavor and rancidity were revealed, while the numbers of molds and yeasts were moderate (2–3 log CFU/g). Pork loin was unacceptable after 10 weeks of storage [14].

Destruction and inhibition of microorganisms, especially pathogenic, are achieved by the initial stage of thermal treatment and subsequent storage at lower temperatures (Hill, 1994). It was stated the usual process of the cook-chill process in Denmark, France, Germany, Sweden and the UK requires thermal treatment in a temperature range of 65–80 °С with subsequent chilling for 1.5–4 hours until a temperature of 10–3 °С and following storage at a temperature in a range of 0–3 °С (Hill, 1994). Lower storage temperatures are used to prolong storage duration of these products maintaining their temperature at 1–2 °С below the freezing temperature. Food products after treatment were subjected to supercooling at a temperature of 1–2 °С below the freezing temperature and then to thawing to 5 °С when necessary (O'Leary et al., 2000; Redmond et al., 2004) [16].

The sensory characteristics of chicken breasts after thermal treatment, refrigeration storage and reheating were studied. The thermal treatment was carried out at a temperature of 70–80 °С, storage at a temperature of 5 °С for 7 days. It was shown that at the thermal treatment temperature of 80 °С the product sensory characteristics significantly improved compared to the same product produced using the traditional method of culinary processing. The results of an assessment of hedonic appeal showed «that, contrary to what has been widely assumed, these changes may not always be desirable in terms of the product acceptability». It was also shown that thermal treatment that is necessary for assurance of the microbiological safety causes «an appreciable loss of sensory quality» [18].

The results of the studies on storage of products subjected to thermal treatment at a temperature higher than 100 °С and stored under the unregulated temperature and humidity conditions or at the negative temperatures are practically unavailable, except for products that were accidentally put under these temperature and humidity conditions.

Известно, что устойчивость микроорганизмов к воздействию низких температур значительно выше, чем к воздействию высоких температур. Микробиологические исследования показали, что скачкообразное изменение климатических условий в обозначенный период времени не оказало стимулирующего воздействия на развитие микрофлоры в исследуемых образцах. Все образцы исследуемых консервов соответствовали требованиям промышленной стерильности, что свидетельствовало также о сохранности герметичности закаточных швов банок.

Гистологические исследования образцов консервов перед хранением показали, что деструктивные изменения мышечных волокон в виде микротрещин или отдельных узких поперечных трещин характерны для продукции прошедшей стерилизацию. Саркоlemma волокон набухшая, отслоившаяся. Под сарколеммой, а также между волокнами выявлена мелкозернистая белковая масса.

Две недели хранения в нерегулируемых условиях не оказали существенного влияния на степень деструкции мышечной и соединительной тканей продукции. После 4 недель хранения консервов микроструктура мышечной ткани характеризовалась увеличением глубины и выраженности деструктивных изменений в структуре мышечной и соединительной тканей. Видны прослойки соединительной ткани в состоянии зернистого распада. Через 6 недель хранения отмечено усиление степени деструкции мышечных волокон: микротрещины и узкие поперечные трещины носят множественный характер, количество мелкозернистой белковой массы возросло.

Описанные выше микроструктурные изменения, несомненно, сопровождались и деструктивными процессами в основных пищевых веществах продукции. Для оценки влияния условий хранения на белок консервов был изучен характер изменения фракций азота продукции. Следует отметить, что динамика содержания общего, белкового и небелкового азота контрольных образцов консервов (№ 1) при хранении в нормированных условиях в течение 6 недель практически не была отмечена, так как отклонения значений показателей находились в пределах ошибки опыта.

Характер изменения фракций азота консервов при хранении продукции в нерегулируемых температурно-влажностных условиях представлен на рис. 3.

Как показали результаты исследований, содержание общего и белкового азота в консервах имело тенденцию к снижению, причем снижение общего азота было равномерным. Что же касается доли белкового азота, то первые 2 недели хранения это снижение было незначительным. Вероятно, что деструктивные процессы могли протекать только в тонком поверхностном слое продукта, который мог быть подморожен и затем оттаял при колебаниях температур от минус 4 °С до плюс 4 °С (см. рис. 1). Увеличение разницы

It is known that the resistance of microorganisms to low temperatures is significantly higher than to high temperatures. Microbiological investigations showed that the abrupt changes in the climate conditions in the specified time period did not have a stimulating effect on microflora development in the tested samples. All samples of the analyzed canned foods corresponded to the requirements of the commercial sterility, which also suggested the integrity of the hermeticity of the tin seams.

The histological investigations of the canned food samples before storage demonstrated that the destructive changes in muscle fibers in the form of microfractures or individual narrow cross fractures were typical for the products underwent sterilization. The sarcolemma of fibers was swollen and detached. The fine-grained proteinous mass was revealed under the sarcolemma and between the fibers.

Two weeks of storage did not have a significant effect on the degree of muscle and connective tissue destruction in the product. After 4 weeks of storage, the microstructure of the muscle tissue was characterized by an increase in the depth and manifestation of the destructive changes in the structure of the muscle and connective tissues. The layers of the connective tissue in the condition of the granular destruction were seen. After 6 weeks of storage, an increase in a degree of muscle fiber destruction was observed: microfractures and narrow cross fractures had a multiple character, an amount of the fine-grained proteinous mass increased.

The above-mentioned microstructural changes, undoubtedly, were accompanied with the destructive processes in the main nutrients of products. To assess the influence of the storage conditions on protein in canned meat, the character of changes in the nitrogen fractions of products was investigated. It should be noted that the dynamics of the content of total, protein and non-protein nitrogen in the control samples of the canned foods (No. 1) at storage in the normative conditions during 6 weeks practically was not noticed because the deviations of the indicator values were in the range of the experimental error. The character of the changes in the nitrogen fractions of the canned foods during storage of the products in the unregulated temperature and humidity conditions is presented in Fig. 3.

As the results of the investigations showed, the content of total and protein nitrogen in the canned foods had a tendency towards a decrease; with that, a decrease in total nitrogen was uniform. As for the fraction of protein nitrogen, a decrease was insignificant during the first two weeks of storage. It is possible that the destructive processes could have occurred only in the thin surface layer of a product, which could be slightly frozen and then thawed under the temperature fluctuations from -4 °С to +4 °С (see Fig. 1).

между ночными и дневными температурами при хранении усиливало деструктивное воздействие на белки консервов.

Интересна динамика небелковой фракции азота под воздействием нерегулируемых условий хранения. Как следует из данных рисунка 1, в период до 2-х недель воздействия на консервы температур в диапазоне от 0 до минус 4 °С, возможно незначительное подмораживание поверхностных слоев консервов, в основном бульона, а в верхней части банки — жира. Известно, что медленное замораживание приводит к образованию кристалликов больших размеров, оказывающих впоследствии существенное механическое воздействие на мышечную и соединительную ткани. Доля небелковой фракции азота в этот период практически не менялась (рис. 3). Последующее преобладание ночных температур близких к нулю и положительных дневных (в среднем плюс 3,8 °С) привело к некоторому отеплению поверхностных слоев продукта и последующему замораживанию, что усиливало деструкцию мышечной и соединительной тканей, и, как следствие, росту в два раза содержания небелковой фракции азота. Дальнейшее, более глубокое подмораживание продукта (период 4–6 недель хранения), привело к дальнейшему росту небелковой фракции азота (рис. 3).

Интересным и наглядным представляется соотношение между фракциями пептидного и остаточного азота консервов при хранении. Данные приведены на рисунке 4.

Вплоть до 4 недель хранения деструкции с накоплением фракции остаточного азота подвергались пептиды, образовавшиеся при стерилизации консервов; рост содержания фракции пептидов после 4 недель хранения свидетельствует о деструкции молекул

An increase in the night and day temperatures at storage enhanced the destructive effect on proteins in the canned foods.

The dynamics of the non-protein fraction of nitrogen under the influence of the unregulated conditions of storage is of great interest. As follows from the data in Fig. 1, during the period of up to 2 weeks of the exposure of the canned foods to the temperatures in a range from 0 to –4 °C, an insignificant slight freezing of the surface layers of the canned foods (mainly, of broth, but also of fat in the top part of a tin) is possible. It is known that slow freezing leads to formation of large crystals, which subsequently have a significant effect on muscle and connective tissues. The proportion of the non-protein fraction of nitrogen during this period practically did not change (Fig. 3). The following prevalence of night temperatures that were around zero and positive day temperatures (+3.8 °C on average) led to some defrosting of the surface layers of a product and subsequent freezing, which enhanced destruction of the muscle and connective tissues and, as a consequence, to two-fold increase in the content of the non-protein fraction of nitrogen. The following deeper slight freezing of a product (the storage period of 4–6 weeks) led to the additional growth in the non-protein fraction of nitrogen (Fig. 3).

The ratio between the fractions of peptide and residual nitrogen in the canned foods during storage seems to be interesting and demonstrative. The data are given in Fig. 4.

Up to 4 weeks of storage, peptides formed at sterilization of the canned foods were subjected to destruction with accumulation of the residual nitrogen fraction; a growth in the peptide fraction after 4 weeks of storage suggests the

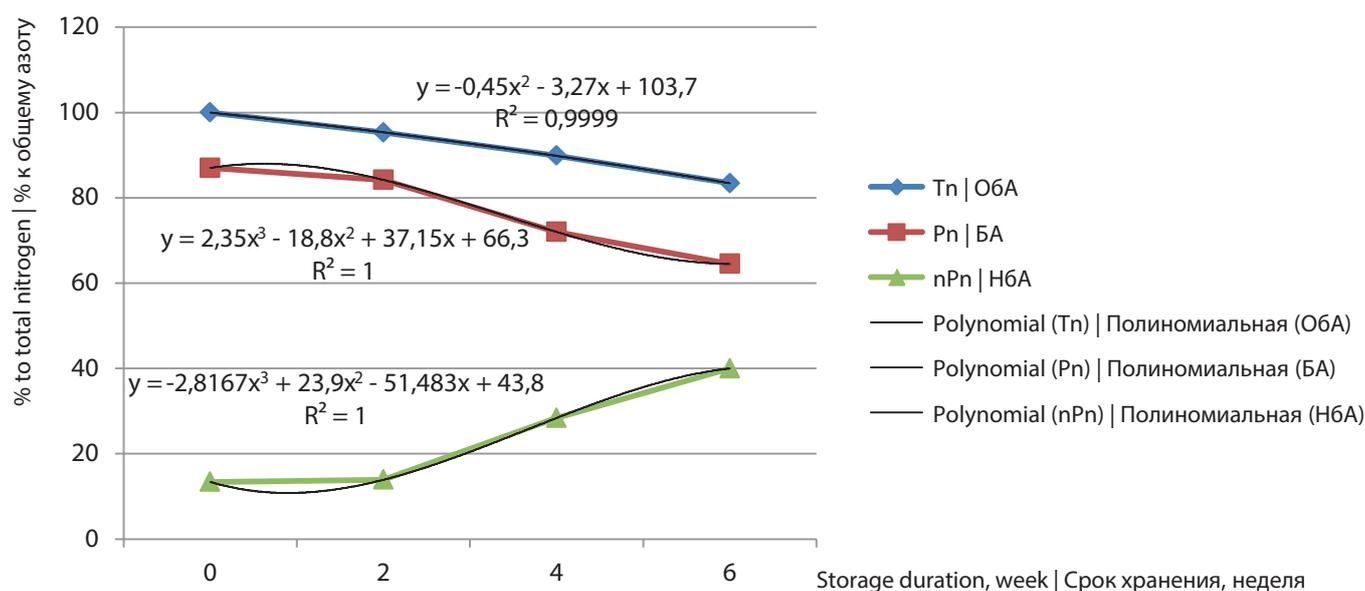


Figure 3. Dynamics of nitrogen fractions during canned food storage in the unregulated temperature and humidity conditions (sample No. 3) Tn — total nitrogen, Pn — protein nitrogen, nPn — non-protein nitrogen

Рис. 3. Динамика фракций азота при хранении консервов в нерегулируемых температурно-влажностных условиях (образец № 3) ОБА — общий азот, БА — белковый азот, НБА — небелковый азот

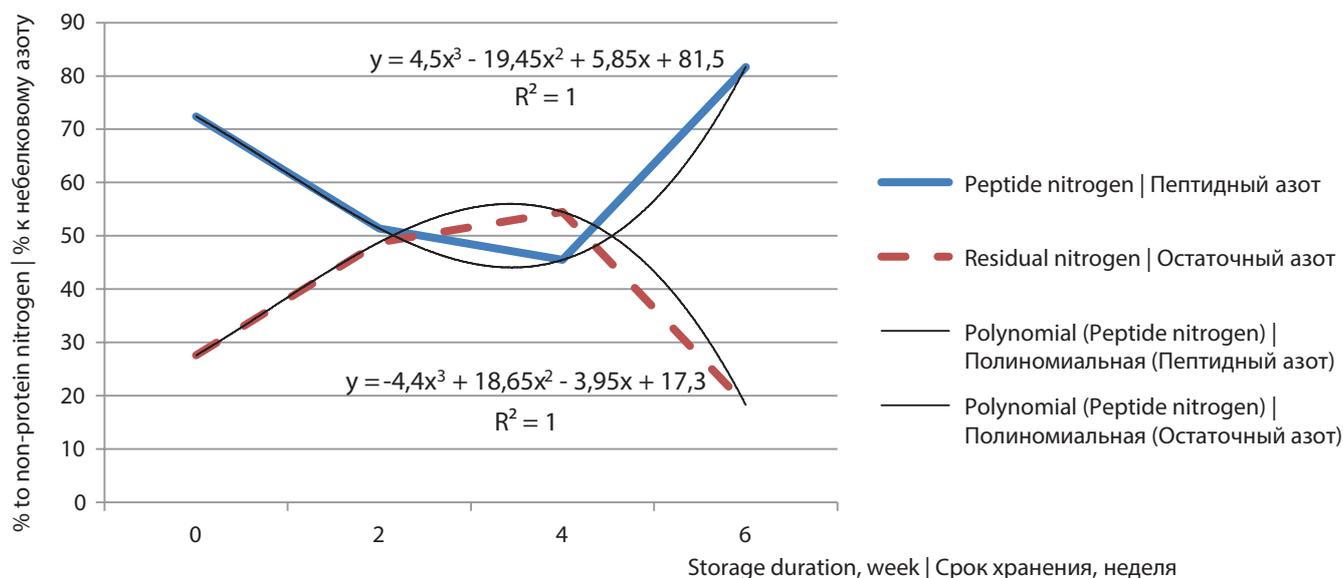


Figure 4. The ratio between the residual and peptide fractions of non-protein nitrogen during the canned foods storage in the unregulated temperature and humidity conditions (sample No. 3)

Рис. 4. Соотношение между остаточной и пептидной фракциями небелкового азота при хранении консервов в нерегулируемых температурно-влажностных условиях (образец № 3)

белков мышечной и соединительной тканей под действием образовавшихся кристаллов льда. Этот период характеризуется более глубоким распадом остаточного азота консервов, включая процессы декарбоксилирования и дезаминирования аминокислот.

Изучение изменения состояния жировой фракции консервов проводили путем изучения динамики значений кислотного, перекисного и тиобарбитурового чисел. Известно, что активаторами окисления жира могут служить не стабильные условия хранения продукции. Проведенные исследования (образец № 3) показали, что прирост величины кислотного числа жира к 6 неделям хранения составил в среднем 40%: с 1,33 до 1,87 мг КОН на 1 г. Рост значений перекисного (48,5%) и тиобарбитурового (100%) чисел жира отмечен к 2 неделям хранения, в дальнейшем до 6 недель хранения величины чисел не изменялись. Анализ полученных данных по динамике содержания перекисей в исследуемых образцах показал, что процесс их образования превалировал над распадом до 2 недель хранения в нерегулируемых условиях.

Значение коэффициентов детерминации уравнений регрессии для исследуемых величин показателей  $R^2 \geq 0,95$ , что говорит о высокой точности аппроксимации.

Изучение влияния стабильных значений отрицательных температур на сохранность качества консервов проводили при одновременном сравнении с показателями консервов при хранении в нормируемых и нерегулируемых температурно-влажностных условиях. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Анализ полученных данных свидетельствовал, что замораживание и последующее хранение оказывало большее отрицательное влияние на степень деградации белков, чем нерегулируемые температурно-влажностные условия хранения. Так массовые доли

destruction of the molecules of the muscle and connective tissue proteins under the impact of the formed ice crystals. This period is characterized by deeper breakdown of residual nitrogen in the canned foods, including the processes of decarboxylation and deamination of amino acids.

The study on the changes in the state of the fatty fraction of the canned foods was carried out by investigation of the dynamics of the acid, peroxide and thiobarbituric acid values. It is known that the unstable storage conditions can be activators of fat oxidation. The performed investigations (sample No.3) showed that an increase in the acid value of fat by the 6<sup>th</sup> week of storage was on average 40%: from 1.33 to 1.87 KOH/g. An increase in the peroxide value (48.5%) and thiobarbituric acid value (100%) of fat was observed by the 2<sup>nd</sup> week of storage and, later, the values did not change up to 6<sup>th</sup> week of storage. The analysis of the obtained data on the dynamics of the peroxide content demonstrated that the process of their formation dominated over the breakdown up to the 2<sup>nd</sup> week of storage in the unregulated conditions.

The value of the determination coefficients of the regression equations for the studied indicators was  $R^2 \geq 0.95$ , which suggests high precision of approximation.

The study on the effect of the stable values of the negative temperatures on preservation of canned foods quality was carried out with the simultaneous comparison of the indicators of the canned foods stored in the normative and unregulated temperature and humidity conditions. The obtained results are presented in Table 1.

The analysis of the obtained data demonstrated that freezing and subsequent storage had a stronger negative effect on the degree of protein destruction than the unregulated temperature and humidity conditions of storage. For

Table 1. Comparative physico-chemical indicators of the analyzed canned foods after 30 days of storage

Табл. 1. Сравнительные физико-химические показатели исследуемых консервов

Indicator   Показатель	Value of the indicator for a canned foods sample   Величина показателя для образца консервов		
	in the normative storage conditions (control), sample No.1   контрольный (30 суток нормативных условий хранения), образец №1	in the frozen state, sample No. 2   после 30 суток хранения в замороженном состоянии, образец №2	in the unregulated conditions, sample No. 3   после 30 суток хранения в нерегулируемых условиях, образец №3
Protein nitrogen, % of total nitrogen   Белковый азот, % к общему	87.0	79.2	84.2
Peptide nitrogen, % of non-protein nitrogen   Пептидный азот, % к небелковому	72.4	13.0	8.9
Residual nitrogen, % of non-protein   Остаточный азот, % к небелковому	27.6	87.0	91.1
Sum of essential amino acids, % of protein   Сумма НезАМ, % к белку	45.9	38.1	39.0
Sum of monounsaturated fatty acids, % of the sum of fatty acids   Сумма мононенасыщенных жирных кислот, %	30.7	28.5	24.4
Sum of polyunsaturated fatty acids, % of the sum of fatty acids   Сумма полиненасыщенных жирных кислот, %	9.5	9.1	6.5
Vitamins, mg/100 g product:   Витамины, мг/100 г продукта:			
group B   группы В	1.0±0.05	1.1±0.06	1.1±0.06
PP	4.7±0.24	4.8±0.25	4.7±0.24
N, µg/100g	3.1±0.16	2.8±0.14	3.1±0.16
A	0.03±0.005	0.04±0.005	0.03±0.005
D	0.1±0.01	0.1±0.01	0.1±0.01
E	0.6±0.03	0.6±0.03	0.5±0.02

белкового азота и незаменимых аминокислот снизились в среднем на 7,8%. Что же касается сохранности жировой составляющей консервов, то хранение в замороженном состоянии не вызывало значительных снижений доли поли- и мононенасыщенных жирных кислот, как это имело место при нерегулируемых температурно-влажностных условиях хранения. Степень снижения суммарного содержания мононенасыщенных жирных кислот, при которых, составила в среднем более 20%, полиненасыщенных — более 31%.

Следует отметить, что изменение условий хранения не привело к снижению содержания витаминов и переваримости консервов.

Воздействие ненормированных условий хранения сказывалось на аромате бульона и мяса, что можно объяснить отрицательным воздействием кристаллов льда. Причем замораживание и хранение в замороженном состоянии в течение 30 суток оказывало более сильное негативное воздействие и на бульон и на мясо (табл. 2), чем хранение консервов при нерегулируемых температурно-влажностных условиях. Степень воздействия составила: для бульона 17–23%, для мяса — 28–33%. Приведенные результаты мультисенсорного анализа коррелируют с интенсивностью деградации белковых веществ, приведенных в таблице 1. Так коли-

example, the mass fraction of protein nitrogen and essential amino acids decreased by 7.8% on average. As for the preservation of the fatty constituent of the canned foods, the storage in the frozen condition did not cause a significant reduction in the proportion of poly- and monounsaturated fatty acids contrary to the unregulated temperature and humidity conditions of storage. The degree of the decrease in the total content of monounsaturated fatty acids was on average more than 20%, those of polyunsaturated fatty acids more than 31%.

It is necessary to notice that the changes in the storage conditions did not lead to a decrease in the vitamin content and digestibility of the canned foods.

The non-normative conditions of storage affected aroma of the broth and meat, which can be explained by the negative effect of ice crystals. With that, freezing and storage in the frozen condition for 30 days had a stronger negative effect both on the broth and meat (Table 2) compared to canned foods storage in the unregulated temperature and humidity conditions. The degree of the effect was 17–23% for the broth and 28–33% for meat. The presented results of the multi-sensor analysis correlate with the intensity of degradation of the protein

**Table 2. Values of the areas of the aroma visual fingerprints of the canned foods stored in the different temperature and humidity conditions**

Табл. 2. Значения площадей «визуальных отпечатков» запаха консервов хранившихся в различных температурно-влажностных условиях

Canned foods constituents   Составляющие консервов	Sensory evaluation (area of visual fingerprints), $S(1/Om)^{2*}10^7$		
	control (30 days of normal storage conditions), sample No.1   контрольный (30 суток нормативных условий хранения), образец №1	after 30 days of storage in the frozen conditions, sample No. 2   после 30 суток хранения в замороженном состоянии, образец №2	after 30 days of storage in the unregulated conditions, sample No. 3   после 30 суток хранения в нерегулируемых условиях, образец №3
Broth   Бульон	140.15	107.48	115.89
Meat   Мясо	580.41	389.02	417.27

чество пептидного азота в 1,5 раза выше в консервах, хранившихся при стабильно отрицательных температурах по отношению к консервам, хранившимся в нерегулируемых условиях окружающей среды.

### Выводы

Таким образом, исследование влияния ненормированных температурно-влажностных условий хранения на безопасность и качество мясных кусковых консервов «Говядина тушеная высший сорт» показало:

1. Ненормированные температурно-влажностные условия хранения консервов, связанные с транспортированием или непродолжительным хранением продукции не оказывали отрицательного влияния на безопасность консервов при условии сохранности герметичности потребительской упаковки.
2. Увеличение продолжительности воздействия нестабильных условий хранения повышало выраженное негативное воздействие на микроструктуру консервов: микротрещины и узкие поперечные трещины в мышечных волокнах носили множественный характер, количество мелкозернистой белковой массы возросло.
3. Анализ полученных данных свидетельствовал, что замораживание и последующее хранение оказывало большее отрицательное влияние на степень деструкции белков, чем нерегулируемые температурно-влажностные условия хранения. Для жиров отмечена обратная картина — более значительные снижения доли поли- и мононенасыщенных жирных кислот при чередовании замораживания и оттаивания консервов.
4. Замораживание и хранение в замороженном состоянии в течение 30 суток оказывало более сильное негативное воздействие на аромат бульона и мяса, чем хранение консервов при нерегулируемых температурно-влажностных условиях.
5. Полученные впервые научные данные будут способствовать правильному и своевременному принятию решений по исключению возможности попадания в пищу потребителя некачественной продукции.

substances shown in Table 1. For example, an amount of the peptide nitrogen was 1.5 times higher in the canned foods that were stored at the stably negative temperatures compared to the canned foods stored in the unregulated environmental conditions.

### Conclusions

Therefore, the study on the influence of the non-normative temperature and humidity conditions of storage on safety and quality of canned meat in pieces «Stewed beef of top grade» showed that:

1. The non-normative temperature and humidity conditions of canned meat storage associated with transportation or short-term storage of products did not have a negative effect on canned foods safety upon condition of preserving consumer package hermeticity.
2. An increase in duration of the exposure to the unstable storage conditions increased a negative effect on the microstructure of the canned foods: microfractures and narrow cross fractures in the muscle fibers had a multiple character, an amount of the fine-grained proteinous mass increased.
3. The analysis of the obtained data demonstrated that freezing and subsequent storage had a stronger negative effect on the degree of protein destruction than the unregulated temperature and humidity conditions of storage. For fats, the reverse picture was observed: a more significant decrease in the proportion of poly- and monounsaturated fatty acids was observed in case of alternating freezing and defrosting of the canned foods.
4. Freezing and storage in the frozen condition during 30 days had a stronger negative effect on broth and meat aroma than storage of the canned foods in the unregulated temperature and humidity conditions.
5. The scientific data obtained for the first time will facilitate correct and prompt decision making regarding an exclusion of the possibility of entering poor quality products on a table of a consumer.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новая Российская Энциклопедия, т. 1 / Некипелов, А. Д. и [др.]. — М.: Энциклопедия, 2003. — 969 с. — ISBN 5-94802-003-7
2. Стратегия развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (www.minregion.ru/upload/02\_dtp/101001\_str.doc).
3. Вечная мерзлота на страже качества продуктов (От экспедиции Эдуарда Толля в будущее) История, результаты и перспективы уникального эксперимента по длительному хранению пищевых продуктов в условиях вечной мерзлоты/ Под общей редакцией А.Б. Лисицына, Д.Ю. Гогина. — М.: Эдиториал сервис, 2011. — С. 222.
4. Мясо и мясные продукты. Метод определения перекисного числа: ГОСТ Р 54346-2011. — Введ. 2012-07-01. — М.: Стандартиформ, 2012. — С. 8.
5. Жиры и масла животные и растительные. Определение кислотного числа и кислотности: ГОСТ Р 50457-92 (ИСО 660-83). — Введ. 1994-01-01. — М.: Изд-во стандартов, 1993, Стандартиформ, 2006. — С. 7.
6. Мясо и мясные продукты. Метод определения тиобарбитурового числа: ГОСТ Р 55810-2013. — Введ. 2015-01-01. — М.: Стандартиформ, 2014. — С. 6.
7. Соколов, А.А. Техно-химический контроль в мясной промышленности. / А.А. Соколов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1953. — С. 259.
8. Массовая концентрация основных аминокислот в водном растворе. Методика выполнения измерений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Свидетельство об аттестации № 02-2002 от 20.06.2002 — Российская академия наук. Сибирское отделение лимнологического института. Иркутск, 2002. — С. 12.
9. Лисицын, А.Б. Методы практической биотехнологии. Анализ компонентов и микропримесей в мясных и других пищевых продуктах: монография / А.Б. Лисицын, А.Н. Иванкин, А.Д. Неклюдов. — М.: ВНИИМП, 2002. — С. 402.
10. Мясо и мясные продукты. Определение содержания жирорастворимых витаминов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: ГОСТ 32307-2013. — Введ. 2015-07-01. — М.: Стандартиформ, 2014. — С. 9.
11. Мясо и мясные продукты. Метод определения содержания водорастворимых витаминов: ГОСТ Р 55482-2013. — Введ. 2014-07-01. — М.: Стандартиформ, 2014. — С. 21.
12. Консервы. Метод определения промышленной стерильности: ГОСТ 30425-97. — Введ. 1998-01-01. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. Стандартиформ, 2011. — С. 14.
13. Мясо и мясные продукты. Метод гистологической идентификации состава: ГОСТ 31479-2012. — Введ. 2013-07-01. — М.: Стандартиформ, 2013. — С. 8.
14. Diaz P, Nieto G, Garrido MD, Sancho Banon S (2008) Microbial, physical-chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the sous vide method. *Meat Science* 80:287-292.
15. Childers A, Kayfus J (1982). Determining the shelf life of frozen pizza. *Journal of Food Quality*, 5, P. 7-16.
16. Ansari A, Bekhit A (2014) Processing, Storage and Quality of Cook-Chill or Cook-Freeze Foods. Springer International Publishing Switzerland DOI: 10.1007/978-3-319-10677-9\_7.
17. O'Leary, E., Gormley, T.R., Butler, F. and Shilton, N. (2000). The effect of freeze-chilling on the quality of ready-meal components. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 33, P. 217-224.
18. Ivor J. Church, Anthony L. Parsons (2000). The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and sous vide methods. *International Journal of Food Science + Technology*. Volume 35, Issue 2 March 2000 P. 155-162. DOI: 10.1046/j.1365-2621.2000.00361.x.

## REFERENCES

1. New Russian Encyclopedia, vol. 1 / Nekipelov, A. D. et al. — M.: Encyclopedia, 2003. — 969 pages. — ISBN 5-94802-003-7
2. The strategy for the development of the Arctic Zone of the Russian Federation and the national security strategy for the period up to 2020. (www.minregion.ru/upload/02\_dtp/101001\_str.doc).
3. Permafrost on the guard of product quality (Beginning from the expedition of Eduard Toll to the future). History, results and prospects of the unique experiment on the long-term storage of food products in the conditions of permafrost / Under the general editorship of A.B. Lisitsyn, D.Yu. Gogin. — M.: Editorial service, 2011. — P. 222.
4. Meat and meat products. Method for determination of peroxide number: GOST R 54346-2011. — Introduced on 2012-07-01. — M.: Standartinform, 2012. — P. 8.
5. Animal and vegetable fats and oils. Determination of acid value and acidity: GOST R 50457-92 (ISO 660-83). — Introduced on 1994-01-01. — M.: Izdatelstvo standartov, 1993, Standartinform, 2006. — P. 7.
6. Meat and meat products. Method for determination of thiobarbituric acid reactive assay: GOST R 55810-2013. — Introduced on 2015-01-01. — M.: Standartinform, 2014. — P. 6.
7. Sokolov, A.A. Techno-chemical control in the meat industry / A.A. Sokolov — M.: Light and food industry, 1953. — P. 259.
8. Mass concentration of the main amino acids in the aqueous solution. The method for execution of measurements by the method of high performance liquid chromatography. Recommendations. The State system of assurance of measurement uniformity. Certificate of Attestation. No. 02-2002 of 20.06.2002. The Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences., Irkutsk, 2002 — P. 12.
9. Lisitsyn, A.B. Methods of the practical biotechnology. Analysis of the components and micro-impurities in meat and other food products: monography/ A.B. Lisitsyn, A.N. Ivankin, A.D.Nekludov — M.: VNIIMP, 2002 — P. 402.
10. Meat and meat products. Determination of fat-soluble vitamins by high performance liquid chromatography: GOST 32307-2013. — Introduced on 2015-07-01. — M.: Standartinform, 2014. — P. 9.
11. Meat and meat products. Method for determination of water-soluble vitamins: GOST R 55482-2013. — Introduced on 2014-07-01. — M.: Standartinform, 2014. — P. 21.
12. Canned foods. Method for determination of commercial sterility: ГОСТ 30425-97. — Introduced on 1998-01-01. — M.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. Standartinform, 2011. — 14 pages.
13. Meat and meat products. Method of histological identification of composition: GOST 31479-2012. — Introduced on 2013-07-01. — M.: Standartinform, 2013. — P. 8.
14. Diaz P, Nieto G, Garrido MD, Sancho Banon S (2008) Microbial, physical-chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the sous vide method. *Meat Science* 80:287-292.
15. Childers A, Kayfus J (1982). Determining the shelf life of frozen pizza. *Journal of Food Quality*, 5, P. 7-16.
16. Ansari A, Bekhit A (2014) Processing, Storage and Quality of Cook-Chill or Cook-Freeze Foods. Springer International Publishing Switzerland DOI: 10.1007/978-3-319-10677-9\_7.
17. O'Leary, E., Gormley, T.R., Butler, F. and Shilton, N. (2000). The effect of freeze-chilling on the quality of ready-meal components. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 33, P. 217-224.
18. Ivor J. Church, Anthony L. Parsons (2000). The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and sous vide methods. *International Journal of Food Science + Technology*. Volume 35, Issue 2 March 2000 P. 155-162. DOI: 10.1046/j.1365-2621.2000.00361.x.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## Принадлежность к организации

**Крылова Валентина Борисовна** — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель направления «Технология консервного производства» отдела «Научно-прикладных и технологических разработок», Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова  
109316, Москва, Талалихина, 26  
Тел.: 8-495-676-74-01  
E-mail: krylova-vniimp@yandex.ru

**Густова Татьяна Владимировна** — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела «Научно-прикладных и технологических разработок», Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова, 109316, Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел. 8-495-676-78-11  
E-mail: krylova-vniimp@yandex.ru

## Критерии авторства

Ответственность за работу и предоставленные сведения несут все авторы.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 23.08.2016

## AUTOR INFORMATION

## Affiliation

**Krylova Valentina Borisovna** — doctor of technical sciences, professor, leading research scientist, the Head of the Direction «The Technology of canned food production» of the Department of Scientific Applied and Technological Developments, The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute  
109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: 8-495-676-74-01  
E-mail: krylova-vniimp@yandex.ru

**Gustova Tatyana Vladimirovna** — candidate of technical sciences, docent, leading research scientist of the Direction «The Technology of canned food production» of the Department of Scientific Applied and Technological Developments, The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute, 109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: 8-495-676-74-01  
E-mail: krylova-vniimp@yandex.ru

## Contribution

Authors in equal shares are related to writing the manuscript and equally bear responsibility for plagiarism.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 23.08.2016

# RISKS AND SAFETY OF USING NANOTECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS: A REVIEW

## РИСКИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ: ОБЗОР

Gorbunova N.A., Tunieva E.K.

The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute, Moscow, Russia

**Ключевые слова:** нанотехнологии, наноматериалы, наночастицы, нанопища, биологически активных молекулы, риски и безопасность нанопродуктов.

**Keywords:** nanotechnology, nanomaterials, nanoparticles, nanofoods, innovative products, bioactive molecules, risks and safety of nanoproducts.

### Аннотация

Проблема здорового и качественного питания имеет общемировой характер. Современное развитие технологий, в том числе нанотехнологий, позволило получить материалы, обладающие уникальными свойствами, которые начинают активно использоваться в пищевой промышленности и сельском хозяйстве, но и требуют тщательного изучения их свойств и воздействия, оказываемого на организм человека и окружающую среду. В статье показаны основные направления применения нанотехнологий в сельскохозяйственном производстве и пищевой промышленности, рассматриваются проблемы безопасности и риски, возникающие при использовании нанотехнологий в пищевой промышленности, учитывая, что влияние пищевых нанотехнологий на здоровье человека и экологию окружающей среды все еще мало изучено, а также представлена нормативно-методическая база Российской Федерации для обеспечения безопасного потребления продуктов питания, произведенных из наноматериалов.

### Abstract

The problem of healthy and quality nutrition has a global character. The modern development of technologies including nanotechnologies allowed obtaining materials with unique properties, which began to be actively used in food industry and agriculture but, at the same time, require thorough investigation of their properties and effects on the human body and environment. The paper demonstrates the main directions of the nanotechnology use in the agricultural production and food industry, examines the safety problems and risks occurred when using nanotechnologies in food industry with account for insufficient research on the influence of food nanotechnologies on human health and environmental ecology, and presents the normative and methodical base of the Russian Federation for assurance of safe consumption of food products produced from nanomaterials.

### Введение

Наноматериалы сегодня находят все более активное применение в пищевой промышленности (очистка питьевой воды, фильтрация жидких продуктов, упаковочные материалы, обогащение продуктов микронутриентами, создание нанобиосенсоров и т.д.) и все более актуальной становится задача обеспечения безопасности пищевых продуктов и упаковочных материалов [1].

В пищевой отрасли можно выделить три основных направления применения нанотехнологий:

- сельскохозяйственное производство (агрехимикаты и корма для животных),
- пищевая промышленность (наноразмерные ингредиенты, добавки, пищевые добавки и функциональные пищевые продукты),
- материалы, контактирующие с пищевыми продуктами.

Для установления опасных факторов, должны исследоваться различные параметры, такие как размер и другие физико-химические характеристики наноматериалов [26].

Развитие нанотехнологии в производстве продуктов питания должно базироваться на следующих общеизвестных положениях:

### Introduction

Today, nanomaterials find increasingly active application in food industry (purification of drinking water, filtration of liquid products, packaging materials, enrichment of products with micronutrients, development of nanobiosensors and so on) and the task of food safety assurance for food products and packaging materials is becoming more and more topical.

In the food sector, three main directions of the nanotechnology use can be set apart:

- agricultural production (agricultural chemical substances and feeds for animals)
- food industry (nano-sized ingredients, food additives and functional food products),
- materials contacting with food products.

To establish the hazardous factors, different parameters have to be studied, such as a size and other physico-chemical characteristics of nano-materials [26].

Development of nanotechnologies in production of food products should be based on the following well-known provisions:

- социально-экономические аспекты питания;
- фундаментальные и прикладные постулаты технологии и биотехнологии пищевых производств;
- нутрициологические аспекты питания [44].

#### **Пищевые нанотехнологии: применение, риски**

Разрабатываемые на основе нанотехнологий пищевые добавки, вкусоароматические ингредиенты могут придавать одному и тому же продукту различные органолептические свойства (цвет, аромат, текстуру) в зависимости от и технологической обработки [2]. Использование некоторых нутриентов (минеральных веществ, витаминов и антиоксидантов) в виде наночастиц или инкапсулирование их [3, 4, 5, 6] позволяет не только улучшить усвояемость пищевых веществ в составе обогащенных продуктов, но и в значительном числе случаев избежать эффектов химической или биологической несовместимости нутриентов.

Наиболее важное преимущество нанотехнологий — возможность улучшения здоровья человека. Интерес представляет и использование нанотехнологий в производстве функциональных ингредиентов [38].

Использование нанодобавок в животноводстве обусловлено их применением в производстве кормов, что обеспечивает повышение продуктивности животных в 1,5–3 раза, а также позволяет значительно снизить расход кормовых и лекарственных добавок, обеспечить их более полное и эффективное усвоение животными [45].

Еще один пример использования нанотехнологий в сельском хозяйстве — нанобиотехнологии по направленному белковому синтезу для получения пептидов с желаемыми иммуногенными свойствами. На основе нанотехнологий создаются вакцины нового поколения, обладающие высокой активностью к возбудителям опасных болезней животных [47].

По мнению ученых, применение нанотехнологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности способствует формированию совершенно нового класса пищевых продуктов — «нанопродуктов», которые со временем вытеснят с рынка генномодифицированные продукты [45].

Понятие «нанопища» впервые было использовано в 2005 г. на первой конференции Nano Food (Нидерланды). В пищевой промышленности нанотехнологии представляют значительный интерес с точки зрения мониторинга качества и безопасности производства продуктов питания путем идентификации химических, биологических и других компонентов [44].

Наночастицы могут быть использованы как в составе пищевой продукции, так и в составе упаковки. Нанотехнологии в создании пищевой упаковки могут использоваться, например, для уменьшения воздействия ультрафиолетового света или снижения роста микроорганизмов [39].

- socio-economic aspects of nutrition;
- fundamental and applied postulates of the technology and biotechnology of food productions;
- nutriological aspects of nutrition [44].

#### **Food nanotechnologies: use and risks**

Food additives as well as taste and aroma ingredients developed on the basis of nanotechnologies can impart different organoleptic properties (color, aroma and texture) to the same product depending on the technological processing [2]. The use of several nutrients (minerals, vitamins and antioxidants) in a form of nanoparticles or their encapsulation [3, 4, 5, 6] makes it possible not only to improve digestibility of food substances in a composition of enriched products, but, in many cases, also to avoid the effects of the chemical and biological incompatibility of nutrients.

The most important advantage of nanotechnologies is an opportunity to improve human health. The use of nano-ingredients in production of functional products is of great interest [38].

The use of nano-particles in animal husbandry is conditioned by their use in feed production, which ensures an increase in animal productivity by 1.5–3 times and also allows a significant reduction in expenditure of feed and health supplements, provide their fuller and more effective digestion by animals [45].

Another example of the nanotechnology use in agriculture are nano-biotechnologies for the targeted protein synthesis to obtain peptides with desired immunogenic properties. Based on nanotechnologies, new generation vaccines are being developed, which have high activity against the agents of dangerous animal diseases [47].

According to scientific opinion, the use of nanotechnologies in agriculture and food industry facilitates formation of absolutely new class of food products, nanoproducts, which with time will drive out of a market the genetic modified organisms [45].

The term «nano food» was used for the first time in 2005 at the first conference Nano Food (the Netherlands). In the food industry, nanotechnologies are of utmost interest regarding monitoring of quality and safety of food products by identification of chemical, biological and other components [44].

Nanoparticles can be used both in a composition of food products and in the composition of packaging. Nanotechnologies can be used in development of food packaging, for example, for reducing the effect of ultraviolet light or the growth of microorganisms [39].

Нанотехнологии позволяют получать эффективные упаковочные материалы, способные значительно продлить сроки хранения, которые обеспечивают: защиту продуктов питания от окисления (барьерные материалы), защита от микробиологической порчи, информирование о состоянии продукта — применение наночипов для идентификации условий и сроков хранения пищевых продуктов, обнаружения патогенных микроорганизмов [7, 16, 25].

Полимерные композиты, содержащие наночастицы глины, находятся среди первых нанокомпозитов, появившихся на рынке, как утвержденные материалы для упаковки пищи. Минерал из глины, используемый в этих нанокомпозитах, — бентонит. Полимерные нанокомпозиты, содержащие наночастицы металлов и их окислов, были разработаны для антимикробной «активной» упаковки, абразивной устойчивости, ультрафиолетовой абсорбции и/или прочности. Наноматериалы, используемые как абсорбенты ультрафиолета (например,  $TiO_2$ ) могут предотвратить деградацию при воздействии ультрафиолета в таких упаковочных материалах, как полистерол, полиэтилен и поливинилхлорид.

Исследования показали, что потребители в большей степени готовы согласиться с присутствием наноматериалов в упаковке, чем в пищевых продуктах [7, 19]. Стоит отметить, что отношение к нанотехнологиям в продуктах питания в разных странах различно. Так, несмотря на то, что немецкие потребители неохотно принимают нанотехнологии в пище, они при этом положительно относятся к витаминизированному питанию. Французы же имеют настороженное отношение к нано-упаковке [40]. Несмотря на то, что потребители заинтересованы в продукции, полезной для здоровья, физиологические свойства продуктов они хотят получить за счет натуральных ингредиентов, а не от нанотехнологий [41].

Опрос 1000 немецких потребителей, проведенный по поручению Федерального института по оценке рисков (Federal Institute for Risk Assessment), показал, что хотя 66% респондентов считают, что общие преимущества нанотехнологий перевешивают риски, и только 9% считают, что справедливо обратное, большинство опрошенных были против применения нанотехнологий в производстве пищевых продуктов. Только 4% респондентов считают, что польза от применения из нанотехнологий в пище перевешивает риски, а 84% не хотят изменения внешнего вида продуктов за счет использования наночастиц [26]. В Австралии 29% потребителей объявили, что они не будут покупать продукты питания, произведенные с нанотехнологиями, 62% указали, что им нужно больше информации о применении и безопасности пищевых нанотехнологий. Только 7% заявили о готовности приобрести нано пищу [32]. При этом нанотехнологии, используемые в мясном производстве,

Nanotechnologies allow obtaining effective packaging materials, which are capable of significant extension of shelf life and provide protection of food products from oxidation (barrier materials), protection from the microbiological spoilage, information of the product state (use of nanochips for identification of conditions and duration of food product storage, detection of pathogenic microorganisms) [7, 16, 25].

The polymer composites that contain the clay nanoparticles are among the first nano-composites appeared on the market as approved materials for food packaging. The mineral from clay used in these nanocomposites is bentonite. The polymer nano-composites that contain nanoparticles of metals and their oxides were designed for antimicrobial «active» packaging, abrasive stability, ultraviolet absorption and /or strength. Nanomaterials that are used as absorbing agents of ultraviolet (for example,  $TiO_2$ ) can prevent degradation in case of exposure to ultraviolet in such packaging materials as polystyrene, polyethylene and polyvinyl chloride.

The research showed that consumers are more willing to accept the presence of nanomaterials in a package than in food products [7, 19]. It is worth noting that the attitude towards nanomaterials in food products is different in various countries. For example, despite the fact that the German consumers are reluctant to accept nanotechnologies in food, they positively perceive vitaminized nutrition [40]. The French have a cautious attitude to nano-packaging [40]. Despite the fact that consumers are interested in products beneficial for health, they want to obtain the physiological properties of products due to the natural ingredients and not nano-technologies [41].

A questionnaire survey of 1000 German consumers performed by order of the Federal Institute for Risk Assessment showed that although 66% of respondents believe that the general advantages of nanotechnologies outweigh risks and only 9% believe that the reverse is true, the majority of the respondents were against the use of nanotechnologies in food production. Only 4% of respondents thought that the benefit of using nanotechnologies in food would outweigh risks, while 84% did not want changes in product appearance due to the use of nanoparticles [26]. In Australia, 29% consumers declared that they would not buy foods produced with the use of nanotechnologies, 62% stated that they need more information about the use and safety of food nanotechnologies. Only 7% declared willingness to buy nanofood [32]. With that, according to the consumers'

по мнению, потребителей предпочтительнее продуктов с применением ГМИ [42].

Сегодня в реестре, который ведет Институт питания РАН, присутствует около 30 нанопродуктов пищевой индустрии. Это и собственно пищевые продукты, и биологически активные добавки к пище, и упаковочные материалы для нее. Однако прогноз развития этого направления, который составили специалисты этого института на основе определения числа патентных разработок в этой области, ждущих своей практической реализации, свидетельствует, что нас ждет лавинообразный рост пищевой нанопродукции — счет пойдет, по меньшей мере, на сотни.

Потенциальные преимущества использования наноматериалов в мясной промышленности связаны с их свойствами — повышение биодоступности, противомикробное действие, улучшение сенсорных свойств и обеспечение адресной доставки биоактивных веществ [7]. Однако, существуют проблемы в применении наноматериалов из-за имеющихся пробелов в знании свойств нанопорошков, устойчивости систем их доставки в мясных продуктах и рисках для здоровья, вызванных теми же свойствами, которые предполагают их преимущества, что характерно для всех пищевых систем.

Экспертами Межведомственной программы по корректному управлению химическими препаратами (Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals. ИОМС) и Организации экономической кооперации развития (Organization for Economic Cooperation and Development. OECD) разработан перечень приоритетных наночастиц для характеристики их биологического действия и обеспечения безопасности. В него вошли фуллерены, одно- и многослойные нанотрубки, наночастицы серебра, золота, железа, оксида титана, оксида алюминия, оксида церия, диоксида кремния, оксида цинка, дендримеры и наноглины. С появлением дополнительных сведений по техногенным наночастицам (ТНЧ) статус приоритетности может быть изменен.

Особенно распространены при производстве пищевых продуктов препараты на основе наночастиц серебра, обладающих сильным бактерицидным [9] и фунгицидным действием, которые сохраняют свою стабильность при их применении в течение длительного времени. Интерес исследователей вызывают не только препараты на основе наночастиц серебра, но и на основе других неорганических и органических веществ. В частности, в работах [10, 11], было показано, что бактерицидным эффектом обладают также наночастицы оксида цинка. Вопрос применения наночастиц меди и оксидов меди остается открытым, поскольку на сегодняшний день имеется слишком мало данных о биологических эффектах при применении данных препаратов [7, 12]. Бактерицидным эффектом обладают и различные типы нанотрубок, но ввиду их высокой токсичности их применение ограничено [13].

opinion, nanotechnologies used in meat production are more preferable than food with the use of GMI [42].

Today, there are about 30 nanoproducts of the food industry in the register of the Institute of Nutrition of the Russian Academy of Sciences. These are food products, biological active additives to food and food packaging materials. However, the forecast for development of this direction, which was made by the specialists of this Institute based on the determination of the number of the patent works in this field waiting for their practical realization, suggests that we face a snowballing growth of food nanoproducts with numbers reaching hundreds at the least.

The potential benefits of using nanomaterials in the meat industry are associated with their properties: an increase in bioavailability, antimicrobial action, improvement of sensory properties and provision of the targeted delivery of bioactive substances [7]. However, there are problems in using nanomaterials because of the existing gaps in the knowledge of the nanopowder properties, stability of the systems of their delivery in meat products and health risks associated with the same properties that offer their benefits, which is typical for all food systems.

The experts of the Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMC) and Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) have made the list of the top priority nanoparticles for characterization of their biological action and assurance of their safety. It includes fullerenes, single-walled and multi-walled nanotubes, nanoparticles of silver, gold, iron, titanium dioxide, aluminium oxide, cerium oxide, silicon dioxide, zinc oxide, dendrimers and nano-clays. The priority status can be changed with appearance of additional information on technogenic nanoparticles.

The preparations based on the silver nanoparticles with strong bactericidal [9] and fungicidal actions, which maintain their stability upon their use over long time, are especially common in production of food products. The preparations based not only on the silver nanoparticles but also on the other non-organic and organic substances are also of interest for researchers. In particular, the works [10, 11] showed that zinc oxide nanoparticles also have the bactericidal action. The issue of using nanoparticles of copper and copper oxide remains open as, nowadays, there are too little data on the biological effect when using these preparations [7, 12]. Different types of nanotubes also have bactericidal effect, but their use is limited due to their high toxicity [13].

Также в качестве антимикробных добавок могут использоваться различные органические наночастицы типа контейнер-действующее вещество.

Антимикробный эффект подобных добавок основан на том, что органические и неорганические вещества в виде наночастиц способны легко проникать в клетку и накапливаться там [14]. Одновременно с этим происходит миграция ионов или органических веществ, входящих в состав наночастиц [15, 16, 17], которые легко проникая в клетки микроорганизмов, разрушают их изнутри. Другим механизмом действия наночастиц может быть их связывание с белками и нуклеиновыми кислотами, находящимися внутри клетки, что влечет нарушение нормального метаболизма и процесса размножения микроорганизмов [18]. Таким образом, традиционные антимикробные препараты в виде наночастиц могут более эффективно применяться, поскольку являются одновременно и средствами доставки и средствами поражения микробных клеток [17].

Активное внедрение наноматериалов требует глубокого знания потенциальных рисков и побочных эффектов, сопряженных с использованием этих материалов.

Использование нанотехнологий может представлять потенциальный риск для здоровья человека. Наночастицы могут проникнуть в организм при попадании на кожу, вдыхании или перорально [1, 8, 24, 25]. Эффект воздействия наноматериалов на организм человека зависит не только от способа их введения, но и от их свойств. Серьезную озабоченность вызывают пищевые продукты, содержащие нерастворимые и потенциально биологически стойкие нанодобавки, такие как металлы или оксиды металлов, токсикологические эффекты, от которых зависят, главным образом, от химического состава и диаметра наночастиц.

Благодаря своим очень малым размерам наночастицы могут проникать в клетки, ткани, органы легче, чем более крупные частицы. Так же они способны попадать из легких в систему кровообращения и далее следовать по всему организму. То же самое происходит при попадании наночастиц в желудочно-кишечный тракт. Кроме того нельзя исключать проникновение наночастиц не только через поврежденную кожу, но и через неповрежденную и даже в кровоток. Таким образом, наночастицы могут циркулировать по всему организму и накапливаться в органах и тканях, включая мозг, печень, сердце, почки, селезенку, костный мозг, нервную и лимфатическую системы, при этом нарушить функционирование клеток и органов [48].

Имеющиеся немногочисленные данные о результатах изучения влияния нанообъектов на животных и человека все же позволяют сделать некоторые выводы: — разовое поступление нанообъектов в организм вызывает нежелательные изменения, интенсивность которых зависит от концентрации нанообъектов;

Also, various organic nanoparticles of the «container-active substance» type can be used as antimicrobial additives.

The antimicrobial effect of these additives is based on the fact that organic and non-organic substances in the form of nanoparticles can easily penetrate a cell and accumulate there [14]. Simultaneously, ions and organic substances being constituents of nanoparticles [15, 16, 17] migrate and easily penetrate into cells of microorganisms destroying them from inside. Another mechanism of action of nanoparticles can be their binding with proteins and nucleic acids inside a cell, which results in disorder of normal metabolism and the process of microorganism multiplication [18]. Thus, the traditional antimicrobial preparations in the form of nanoparticles can be used more effectively as they are at the same time the means of delivery and the means of destruction of microbial cells [17].

The active introduction of nanomaterials requires profound knowledge of potential risks and side effects associated with the use of these materials.

The use of nanotechnologies can present a potential risk for human health. Nanoparticles can penetrate the body on contact with skin, inhalation or perorally [1, 8, 24, 25]. An effect of nanomaterials on the human body depends not only on the methods of their intake, but also on their properties. Food products that contain insoluble and potentially biologically stable nano-additives, such as metals or metal oxides, which toxicological effects largely depend on the chemical composition and a diameter of nanoparticles, are a serious cause for concern.

Due to its very small sizes, nanoparticles can penetrate cells, tissues and organs easier than larger particles. They also can enter the blood circulatory system from the lungs and then circulate throughout the body. The same is true when nanoparticles enter the gastrointestinal tract. Moreover, translocation of nanoparticles not only through damaged but also through undamaged skin even to the blood circulatory system cannot be excluded. Therefore, nanoparticles can circulate throughout the whole body and accumulate in organs and tissues including the brain, liver, heart, kidneys, spleen, bone marrow, nervous and lymphatic systems compromising therewith the cell and organ functions [48].

Available scarce data on the results of studies on the effects of nano-objects on animals and humans still allow making several conclusions:

- single intake of nano-objects cause undesirable changes, which intensity depends on nano-object concentrations;

— нанообъекты имеют свойство накапливаться в органах и тканях (костном мозге, нервных клетках центральной и периферической нервных систем, лимфоузлах, мозге, легких, печени, почках) [49].

Однако риски использования в питании человека продуктов, содержащих наночастицы пищевых веществ, или влияние наночастиц, мигрирующих из упаковки в продукт, в настоящее время мало изучены.

Это обуславливает необходимость оценки биодоступности и усвояемости компонентов пищевых продуктов, получаемых нанотехнологическим путем.

Исследования показали, что наночастицы обладают биологическим действием (в том числе токсическим) и часто их свойства существенно отличаются от свойств этого же вещества в форме сплошных фаз или макроскопических дисперсий. Наночастицы увеличивают химический потенциал веществ на межфазной границе глубокой кривизны; благодаря небольшим размерам и разнообразным формам имеют большую удельную поверхность и высокую адсорбционную активность, а также высокую способность к аккумуляции [7, 8].

Токсичность наноматериалов, обусловлена в первую очередь развитием окислительного стресса и повреждением ДНК, что может приводить к развитию воспалительной реакции, апоптозу и некрозу клетки. Нельзя исключать и наличие других механизмов токсичности наноматериалов, связанных, в частности, с их повреждающим действием на клеточные мембраны и органеллы, усилением транспорта потенциально токсичных компонентов через барьеры организма, а также возможной генотоксичностью и аллергизирующим действием [1, 7, 8].

Наибольший интерес при изучении токсичности наночастиц, используемых в пищевых нанотехнологиях, и характере их распределения по органам-мишеням представляют металлические (золото, серебро), оксиды металлов (оксид титана), углеродные (нанотрубки), а также кремниевые (оксид кремния) наночастицы. Выбор подобных объектов можно объяснить достаточно широким применением в медицине, пищевых технологиях и косметологии, а также ранее проведенными исследованиями по определению токсичности и распределения данных ТНЧ [20, 21].

В качестве опытных животных обычно используют лабораторных мышей и крыс, суспензии клеток животных и человека, а также отдельные ткани. Исследования по токсичности наноматериалов и их влияния, в первую очередь, проводятся «in vitro».

Изучение степени цитотоксичности различных оксидов металлов ( $\text{CuO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) при введении, а также наличие повреждений ДНК изучали Karlsson с соавторами [22], используя клеточную линию человека — A549 (эпителиальные клетки легких человека). Sharma и соавторы [23] указывают на формирование отека мозга при нарушении гематоэнцефа-

— nano-objects have an ability to accumulate in organs and tissues (bone marrow, nerve cells of the central and peripheral neural system, lymphatic nodes, brain, lungs, liver, kidneys) [49].

However, the risks of using products that contain nanoparticles of food substances in human nutrition or the effects of nanoparticles that migrate from packaging into a product have been studied insufficiently up to now.

This determines a necessity of bioavailability and digestibility assessment of food components obtained by the nanotechnological way.

The studies showed that nanoparticles have a biological effect (including toxic) and often their properties significantly differ from the properties of the same substance in the form of the continuous phases or macroscopic dispersions. Nanoparticles increase the chemical potential of substances on the interface of the deep camber; due to their small sizes and different forms, they have the high specific surface and adsorption activity as well as the high accumulation ability [7, 8].

Toxicity of nanomaterials is primarily conditioned by the development of the oxidative stress and DNA damage, which can lead to the development of the inflammatory reaction, apoptosis and necrosis of cells. One cannot rule out the other nano-material toxicity mechanisms, which are associated, in particular, with their damaging action on cells membranes and organelles, enhancement of translocation of the potentially toxic components through the barriers of the body, as well as with the possible genotoxicity and allergenic action [1, 7, 8].

The metal (gold, silver), metal oxides (titanium dioxide), carbon (nanotubes) and silica (silicon dioxide) nanoparticles are of the utmost interest when studying toxicity of nanoparticles used in food nanotechnologies and the character of distribution in the target organs. The choice of such objects can be explained by quite wide use in medicine, food technologies and cosmetology, as well as by previously performed studies on determination of distribution of these technogenic nanoparticles [20, 21].

As an experimental material, laboratory mice and rats, suspensions of animal and human cells as well as individual tissues are usually used. The experiments on toxicity of nano-materials and their influence are primarily carried out in vitro.

Karlsson et al. [22], studied the degree of cytotoxicity of different metal oxides ( $\text{CuO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) upon their intake, as well as DNA damage on the human cell line A549 (human lung epithelial cell line). Sharma et al. [23] pointed at cerebral edema formation following

лического барьера при введении наночастиц серебра, кремния, углеродных наночастиц, а также наночастиц оксидов металлов.

Исследования *in vitro* с различными типами наночастиц (металл/оксид металла, диоксид титана, углеродных нанотрубок и кремния) на различных клетках (легких и печени) продемонстрировали воспалительные реакции, вызванные окислительным стрессом [26], что объясняется значительной удельной площади поверхности наночастиц на единицу массы и увеличение потенциала для биологического взаимодействия, так как биологическая активность частиц увеличивает при уменьшении размер частиц [13, 15].

Несмотря на наличие большого количества работ, по-прежнему вопрос о прогнозировании органов-мишеней и последующих повреждениях остается открытым и очень часто авторы ссылаются на невозможность предсказать последствия введения ТНЧ в живой организм, а также невозможность определения дозы препарата наночастиц, при которой начинается токсичность, которая зависит не только от физической природы, способа получения, размеров, структуры нанокластеров и наночастиц, но и от биологической модели, на которой проводятся испытания.

Исследования влияния наночастиц диоксида титана, серебра и углеродных нанотрубок показали, что эти материалы могут войти в кровеносную систему, и их нерастворимость может привести к накоплению в органах и тканях [7, 24].

Механизм развития токсичности при использовании наносеребра связан с окислительным стрессом, нарушением функций митохондрий и увеличением проницаемости мембраны. Однако, ингаляционное воздействие наночастицами серебра на крыс в концентрации  $1,73 \cdot 10^4$  —  $1,23 \cdot 10^6$  частиц/см<sup>3</sup> в течение двадцати восьми дней не выявило значимых изменения в массе тела и больших отклонений от контрольной группы биохимических показателей периферической крови. Это соответствует требованиям американской конференции (ACGIH), установившей предельно допустимую концентрацию наночастиц серебра в воздухе —  $2,16 \cdot 10^6$  частиц/см<sup>3</sup>. Токсичность наночастиц серебра зависит от используемых клеточных линий (*in vitro*) и включения наночастиц в дендримеры [27].

Другими исследованиями показано, что нанокристаллическое серебра (NPI 32101) обладает антимикробным и противовоспалительными свойствами и уменьшает воспаление толстой кишки после перорального введения при моделировании язвенного колита на крысах, предполагая, что наносеребро может иметь терапевтический потенциал для лечения этого заболевания [28].

Токсикологические исследования тонких (250 нм) и ультратонких (20 нм) TiO<sub>2</sub> при ингаляционном введении крысам показали, что частицы размером 20 нм способны накапливаться в лимфоидных тканях, обла-

blood-brain barrier disruption upon administration of silver and silica nanoparticles, carbon nanoparticles and nanoparticles of metal oxides.

Experiments *in vitro* with different types of nanoparticles (metal/metal oxide, titanium oxide, carbon nanotubes and silica) on various cells (lungs and liver) demonstrated the inflammatory response induced by the oxidative stress [26], which can be explained by the significant specific surface area of nanoparticles per weight unit and an increase in the potential of the biological interactions as the biological activity of particles increases with a decrease in the particle size [13, 15].

Despite the large number of works, the issue of predicting the target organs and subsequent damage remains open and often authors refer to the impossibility to predict the consequences of intake of technogenic nanoparticles by a living organism, as well as the impossibility to determine a dose of a nanoparticle preparation, at which the toxicity emerges, which depends not only on the physical nature, a method of production, sizes, the structure of nanoclusters and nanoparticles, but also on the biological model, on which the experiments are carried out.

Studies on the effect of the nanoparticles of titanium dioxide, silver and carbon nanotubes showed that these materials can enter the blood circulatory system and their insolubility can lead to accumulation in organs and tissues [7, 24].

The mechanism of toxicity development when using nano-silver is associated with the oxidative stress, disorders of mitochondrial function and an increase in membrane permeability. However, inhalation exposure of rats to silver nanoparticles in concentration of  $1,73 \cdot 10^4$  —  $1,23 \cdot 10^6$  particles/cm<sup>3</sup> for 28 days did not reveal significant changes in body weight and large deviations of the biological indicators of the peripheral blood compared to the control group. This corresponds to the requirements of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) established the allowable concentrations for silver nanoparticles in air of  $2,16 \cdot 10^6$  particles/cm<sup>3</sup>. Toxicity of silver nanoparticles depends on cell lines (*in vitro*) and inclusion of nanoparticles into dendrimers [27].

Other studies showed that nanocrystal silver (NPI 32101) had antimicrobial and anti-inflammatory effects and reduced inflammation of colon after peroral administration when modeling ulcerative colitis on rats, which suggests that silver can have a therapeutic potential for treatment of this disease [28].

Toxicological investigations of thin (250 nm) and ultrathin (20 nm) TiO<sub>2</sub> in inhalative administration in mice showed that the particles with the size of 20 nm are able to

дают повреждающим действием по отношению к ДНК лимфоцитов и клеток мозга. Основным механизмом токсического действия наночастиц оксида титана является индукция активных форм кислорода, причем реактивность зависит не только от размеров наночастиц, но и от того какой структурой представлен  $TiO_2$  [27].

Исследования цитотоксичности диоксида кремния (in vitro) на двух линиях эпителиальных клеток человека показали, что концентрация 190 мкг/мл является предельной, ниже которой токсические эффекты не наблюдаются. Более высокие концентрации вызывали разрушение мембраны и некроз клеток. Использование культуры клеток бронхоальвеолярной карциномы человека показали цитотоксический эффект наночастиц диоксида кремния размером 15 и 46 нм. Наночастицы на основе полистирола (30, 100 и 300 нм) при пероральном введении способны проникать в печень и селезенку [27].

Воздействие различных концентраций суспензий микрочастиц, наночастиц и ионов цинка на водные культуры дафний и бактерий выявило летальные концентрации — 8,8, 3,2 и 6,1 мг/л для дафний и 1,8, 1,9 и 1,1 мг/л для бактерий, соответственно.

Металлические наночастицы, такие как медь, цинк и диоксид титана показали острое оральное токсическое воздействие на грызунов при повышенных дозировках [16]. Токсичность биополимерных наночастиц, таких как сополимера молочной и гликолевой кислот (PLGA) была минимальна [33].

Различия в токсичности наночастиц и микрочастиц цинка были показаны на взрослых мышах. При этом микрочастицы цинка оказались токсичнее, чем наночастицы. В обоих случаях наблюдалось поражение почечной функции, также нано-цинк вызывал анемию и нарушение системы свертывания крови [27].

Напротив, некоторые исследования показали, что наночастицы отдельных элементов могут быть менее токсичны, чем макроформы. Так сообщалось, например, что наночастицы селена менее токсичны для крыс, чем селенит [26].

Исследования миграции наночастиц из упаковки в пищевые продукты показали, что мигрирует только небольшое количество наночастиц кремния глинистых нанокomпозитов, наносеребра и  $ZnO$ , количество которых находится в пределах, установленных Европейской комиссией (ЕК) [7, 29] и зависит от температуры и продолжительности хранения [30].

При разработке способов изготовления нанокomпозиционных упаковочных материалов с бактерицидными свойствами на основе наночастиц серебра и исследовании их свойств показано, что для продуктов, обладающих агрессивными свойствами, миграция серебра будет выше, чем для относительно неагрессивных продуктов. Этот вывод сделан на основании эксперимента с миграцией серебра в модельные сре-

accumulate in the lymphoid tissues and have a damaging effect on DNA of lymphocytes and brain cells. The main mechanism of the toxic effect of titanium dioxide nanoparticles is generation of the active forms of oxygen; with that, the reactivity depends not only on a nanoparticle size, but also on the structure of  $TiO_2$  [27].

Investigations of cytotoxicity of silicon dioxide in vitro on two lines of the human epithelial cells showed that the concentration of 190  $\mu\text{g/ml}$  is a threshold, below which the toxic effects were not observed. Higher concentrations induced damage of the membrane and necrosis of cells.

The use of the cultured human bronchoalveolar carcinoma-derived cells showed the cytotoxic effect of silicon dioxide nanoparticles with the sizes of 15 and 46 nm. The nanoparticles on the basis of polystyrol (30, 100 and 300 nm) were able to enter liver and spleen in peroral administration [27].

The exposure of aqueous cultures of daphnia and bacteria to different concentrations of suspensions of microparticles, nanoparticles and zinc ions revealed the lethal concentrations of 8.8, 3.2 and 6.1 mg/l for daphnia and 1.8, 1.9 and 1.1 mg/l for bacteria, respectively.

The metal nanoparticles such as copper, zinc and titanium dioxide showed acute oral toxic effect on rodents in increased doses [16]. Toxicity of biopolymer nanoparticles such as a co-polymer of lactic and glycolic acids (PLGA) was minimal [33].

The differences in toxicity of zinc nanoparticles and microparticles were demonstrated on adult mice with zinc microparticles being more toxic than nanoparticles. An impairment of the kidney function was observed in both cases. Nano-zinc also induced anemia and damage of the blood coagulation system [27].

On the contrary, several studies showed that the nano-forms of the individual elements can be less toxic than the macro-forms. For example, it was reported that selenium nanoparticles were less toxic for rats than selenite [26].

Investigations of nanoparticle migration from packages into food products showed migration of only small amounts of silica nanoparticles, clay nanocomposites, nano-silver and  $ZnO$ , which amounts were in the limits established by the European Commission (EC) [7, 29] and depended on the storage temperature and duration [30].

When developing the methods for production of nanocomposite packaging materials with bactericidal properties based on the silver nanoparticles and investigating their properties, it was shown that for products having the aggressive properties, silver migration would be higher than those for the relatively non-aggressive products. This conclusion was made on the basis of the experiments with

ды. Из данных эксперимента, очевидно, что миграция серебра в готовые продукты (модельная среда — 1% раствор уксусной кислоты в воде) будет выше, чем в охлажденное мясо и рыбу (модельная среда — 0,3% раствор молочной кислоты в воде). По результатам проведенных исследований определен оптимальный дизайн для контейнеров с наночастицами серебра и предназначенных для хранения охлажденного мяса [31].

Несмотря на существенную выгоду от применения нанотехнологии, для обеспечения надлежащей оценки безопасности нанопродуктов, необходимы новые методы и способы определения безопасности такой продукции. Так, существуют наночастицы, которые обладают способностью преодолевать гематоэнцефалический барьер и могут служить носителями для других молекул. Таким образом, нужны научные данные о биоаккумуляции и потенциальных токсических последствиях попадания в организм свободных искусственно созданных наночастиц и об их последствиях для здоровья людей [46].

Наночастицы могут иметь непредсказуемое влияние не только на людей и животных, но на окружающую среду [34, 35]. Например, ионы серебра могут высвобождаться из утилизируемой упаковки и накапливаться в биосреде (почве, воде), где они будут продолжать убивать микроорганизмы, нарушая баланс естественной микрофлоры, особенно в водной системе. Наножелезо, углеродные нанотрубки и некоторые другие наночастицы, в основном, из нанопестицидов могут накапливаться в почве, откуда они могут проникать в растения и попадать в пищевую цепь [36]. Выдвинуто предположение, что наноматериалы не метаболизируются микроорганизмами и не подвергаются процессам детоксикации, что ведет к их накоплению в растительном, животном или микробном организме и, тем самым, увеличивается их поступление по пищевой цепи в организм человека.

#### **Обеспечение безопасности пищевых нанотехнологий**

Увеличивающиеся масштабы развития нанотехнологий заостряют внимание на проблеме безопасности. При этом исследования по безопасности наноматериалов существенно отстают от их разработки и коммерциализации. Вместе с тем общепризнанным является подход, согласно которому наночастицы должны рассматриваться как новые потенциально опасные материалы. Однако ни в одной из стран пока не разработана единая законодательная и нормативно-методическая база в области безопасности нанотехнологий, обязательная для использования всеми государственными и коммерческими организациями и предприятиями, ни в одной из зарубежных стран до настоящего времени не создано единой системы обеспечения нанобезопасности [43].

silver migration into the model media. It is obvious from the data of the experiment that silver migration into finished products (a model medium — 1% acetic acid solution in water) would be higher than into chilled meat and fish (a model medium — 0.3% lactic acid solution in water). Based on the results of the performed research, the optimal design for containers with silver nanoparticles intended for storage of chilled meat was determined [31].

Despite the significant advantage of using nanotechnology to ensure proper assessment of meat product safety, new methods and ways of safety determination for such products are necessary. For example, there are nanoparticles, which have an ability to overcome the blood-brain barrier and can be carriers for other molecules. Therefore, it is necessary to obtain scientific data on the bioaccumulation and potential toxic consequences of entering free artificially created nanoparticles into the body as well as about their consequences for human health [46].

Nanoparticles can have an unpredictable effect not only on humans and animals, but also on the environment [34, 35]. For example, the silver ions can release from utilized packages and accumulate in biological media (water, soil), where they will continue destroying microorganisms and, therefore, disturb a balance of the natural microflora, especially in a water system. Nano-iron, carbon nanotubes and several other nanoparticles, mainly, from nanopesticides can accumulate in soil, from which they can penetrate plants and enter the food chain [36]. It was suggested that nanomaterials are not metabolized by microorganisms and are not subjected to the processes of detoxification, which leads to their accumulation in the plant, animal or microbial organism; thereby, their entrance into the human body increases throughout the food chain.

#### **Assurance of safety of food nanotechnologies**

An increasing scale of nanotechnology requires attention to the problem of safety. With that, investigations on safety of nanomaterials are significantly lagging behind their development and commercialization. At the same time, an approach, according to which nanoparticles are to be considered new potentially hazardous materials, is widely accepted. However, no country has developed a legislative and normative and methodical base in the field of nanotechnology safety, which would be obligatory for the use by all state and commercial organizations and enterprises, no foreign country has created a unified system for assurance of nano-safety up to now [43].

В настоящее время во всех странах, занимающихся разработкой наноматериалов, ведутся активные работы, направленные на регламентацию и контроль содержания наночастиц и наноматериалов в упаковке пищевых продуктов и материалах, контактирующих с пищей.

Обеспечение безопасности в сфере нанотехнологий процедура затратная. Большое внимание проблеме безопасности наноматериалов уделяется за рубежом. В этом направлении проводятся исследования в США, Евросоюзе, а также в ряде международных организаций (ВОЗ, ФАО, ILSI). В 2005 г. федеральное финансирование этих исследований составляло 34,8 млн долл., в 2012 г. финансирование ставило уже 123,5 млн долл. Подобные исследования в России ведутся в значительно меньших масштабах.

В настоящее время в мире проблемой безопасности наноматериалов и нанотехнологий занимается множество международных и государственных организаций и программ. Одной из них является Рабочая группа по промышленным наноматериалам (РГПН) при Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Она координирует работы по биобезопасности применения наноматериалов, которые на данный момент либо уже производятся промышленностью, либо собираются поступить на рынок. Исследования проводятся с учетом таких критериев, как объемы продукции, их доступность для тестирования и уже имеющаяся о них информация [43].

В Российской Федерации необходимость приведения работ по оценке наноматериалов обосновывается в Постановлении главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 54 от 23. 07. 2007 г. «О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы» и информационном письме Роспотребнадзора «О надзоре за производством и оборотом продукции, содержащей наноматериалы» [37]. Учитывая возможные риски при использовании наноматериалов, Роспотребнадзор (приказ № 280 от 12 октября 2007 г.) утвердил методические рекомендации «Оценка безопасности наноматериалов». Постановлением главного государственного санитарного врача РФ от 31 октября 2007 г. № 79 была утверждена Концепция токсикологических исследований, методология оценки риска, методы идентификации и количественного определения наноматериалов.

Общественное восприятие применения нанотехнологий в пищевой промышленности является основным фактором, определяющим коммерческий успех этой области исследований. Безопасность применения нанотехнологий в пищевой промышленности требует глубокого изучения потенциальных рисков и побочных эффектов, сопряженных с их использованием. Будет ли польза, от того что предлагают нанотехнологии или ее перевешивают риски, которые они могут вызвать? Именно это формирует потребительское мнение и готовность к покупке нанопищи.

At present, all countries developing nano-materials carry out the work aimed at regulation and control of the content of nanoparticles and nanomaterials in a package for food products and materials contacting with food.

Safety assurance in the sphere of nanotechnologies is a costly procedure. Abroad a lot of attention is given to the problem of nano-materials. In this direction, the investigations are carried out in the USA, EU and in several international organizations (WHO, FAO, ILSI). In 2005, Federal financing of these investigations was 34.8 million dollars, while in 2012, financing was as high as 123.5 million dollars. The similar research has been carried out in Russia on a significantly lower scale.

Today, many international and state organizations deal with the problem of nano-material and nanotechnology safety. One of them is the Working Party on Manufactured Nanomaterials of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). It coordinates the work on bio-safety of using nanomaterials, which have been already produced by industries, or are about to be launched to the market. Investigations are carried out with consideration for such criteria as product volumes, their availability for testing as well as availability of information about them [43].

In the Russian Federation, the necessity to perform the work on evaluation of nanomaterials is substantiated in the Decree of the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation No 54 of 23. 07. 2007 «About surveillance of the products produced using nanotechnologies and contained nanomaterials» and informational letter of Rospotrebnadzor «About surveillance of production and turnover of products containing nanomaterials» [37].

Taking into account the possible risks of nanomaterials, Rospotrebnadzor (order No 280 of October 12, 2007) approved the methodical recommendations «Assessment of safety of nanomaterials». The decree of the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation No 79 of 31.10.2007 approved the Concept of the toxicological investigations, the methodology of risk assessment, methods for identification and quantitative detection of nanomaterials.

The public perception of the use of nanotechnologies in food industry is one of the main factors determining the commercial success of this field of investigations. Safety of the nanotechnology use in the food industry requires profound investigation of the potential risks and side effects associated with its use. Will there be a benefit from what nanotechnologies offer or the risks will overweight it — the answer to this question forms a consumer opinion and willingness to buy nanofood.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Окара А.И. Нанотехнологии в производстве пищевых продуктов: состояние нормативной базы и проблемы // Вестник ХГАЭП. — 2011. — № 1 (52). — С. 79–85.
2. Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Aitken, R., Watkins, R., Applications and implications of nanotechnologies for the food sector // *Food Addit. Contam.* — 2008; Vol. 25. — P. 241–258.
3. Chaudhry Q, Castle L. Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries // *Trends Food Sci Technol.* — 2011. — Vol. 22. — P. 595–603.
4. Chen H., Weiss J., Shahidi F. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods // *Food Technol.* — 2006. — Vol. 60. — P. 30–36.
5. Ozimek L., Pospiech Ed., Narine S. Nanotechnologies in food and meat processing // *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* — 2010. — Vol. 9. — P. 401–412.
6. Senturk Ah., Yalcin B., Otlas S. Nanotechnology As A Food Perspective // *Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology.* — 2013. — Vol. 2:6.
7. Ramachandiraiah K., Sung Gu Ha, Koo Bok Chin Nanotechnology in Meat Processing and Packaging: Potential Applications — A Review // *Asian Australas. J. Anim. Sci.* — 2015. — Vol. 28. — P. 290–302.
8. Siegrist M., Cousin ME., Kastenhof H., Wiek A. Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. *Appetite.* — 2007. — Vol. 49. — P. 459–466.
9. Petica A., Gavrilu S., Lungu M., Buruntea N., Panzaru C. Colloidal silver solutions with antimicrobial properties // *Materials science and engineering.* — 2008. — Vol. 152. — P. 22.
10. Raghupathi K.R. Size-Dependent Bacterial Growth Inhibition and Mechanism of Antibacterial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles // *Langmuir*, 2011. — Vol. 27 (7). — P. 4020–4028.
11. Brayner R. Toxicological Impact Studies Based on Escherichia coli Bacteria in Ultrafine ZnO Nanoparticles Colloidal Medium // *Nano Lett.* — 2006. — Vol. 6 (4). — P. 866–870.
12. Бабушкина И.В., Бородулин В.В., Коршунов Г.В., Пучиньян Д.М. Изучение антибактериального действия наночастиц меди и железа на клинические штаммы Staphylococcus aureus // Саратовский научно-медицинский журнал. — 2010. — Т. 6. — № 1. — С. 11–14.
13. Simon-Deckers A., Loo S., Mayne-L'hermite M., Herlin-Boime N., Menguy N., Reynaud C., Gouget B. Size-, Composition- and Shape-Dependent Toxicological Impact of Metal Oxide Nanoparticles and Carbon Nanotubes toward Bacteria *Environ // Sci. Technol.* — 2009. — Vol. 43 (21). — P. 8423–8429.
14. Сергеев Г.Б. Нанохимия. М.: Издательство МГУ, 2003. — ISBN: 5-211-04852-0. — С. 288.
15. Kittler S., Greulich C., Diendorf J., Koller M., Epple M. Toxicity of Silver Nanoparticles Increases during Storage Because of Slow Dissolution under Release of Silver Ions // *Chem. Mater.* — 2010. — Vol. 22 (16). — P. 4548–4554.
16. Будкевич, Р.О., Евдокимов И.А. Безопасность использования наноразмерных частиц // Молочная промышленность, — 2010. — № 1. — С. 46–49.
17. Подкопаев Д.О., Шабурова Л.Н., Лабутина Н.В., Суворов О.А., Сидоренко Ю.И., Крайнева О.В. Применение неорганических наночастиц для придания упаковочным материалам антимикробных свойств // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов.* — 2013. — № 4 (21). — С. 28.
18. Крутяков Ю.А., Кудринский А.А., Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы // *Успехи химии.* — 2008. — № 77 (3). — С. 242–269.
19. Bouwmeester H., Dekkers S., Noordam MY., Hagens WI., Bulder AS., de Heer C., Voorde TSE., Wijnhoven SW., Marvin HJ., & Sips AJ. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production // *Regul Toxicol Pharmacol.* — 2009. — Vol. 53. — P. 52–62.
20. Geiser, M., Kreyling W. Deposition and biokinetics of inhaled nanoparticles // *Part Fibre Toxicol.* — 2010. — Vol. 7(1). — P. 2.
21. Yang, Z., et al., A review of nanoparticle functionality and toxicity on the central nervous system, in Nanotechnology, the Brain, and the Future // *Editors.* — 2013. — Springer Netherlands. — P. 313–332.
22. Karlsson, H.L., et al., Copper oxide nanoparticles are highly toxic: a comparison between metal oxide nanoparticles and carbon nanotubes // *Chem Res Toxicol.* — 2008. — Vol. 21(9). — P. 1726–1732.
23. Sharma H.S., et al., Influence of nanoparticles on blood-brain barrier permeability and brain edema formation in rats // *Acta Neurochir Suppl.* — 2010. — Vol. 106. — P. 359–364.

## REFERENCES

1. Okara A.I. Nanotechnologies in production of food products: state of the normative base and problems // *Vestnik HGAEP* — 2011. — No 1 (52). — P. 79–85
2. Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Aitken, R., Watkins, R., Applications and implications of nanotechnologies for the food sector // *Food Addit. Contam.* — 2008; Vol. 25. — P. 241–258.
3. Chaudhry Q, Castle L. Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries // *Trends Food Sci Technol.* — 2011. — Vol. 22. — P. 595–603.
4. Chen H., Weiss J., Shahidi F. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods // *Food Technol.* — 2006. — Vol. 60. — P. 30–36.
5. Ozimek L., Pospiech Ed., Narine S. Nanotechnologies in food and meat processing // *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* — 2010. — Vol. 9. — P. 401–412.
6. Senturk Ah., Yalcin B., Otlas S. Nanotechnology As A Food Perspective // *Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology.* — 2013. — Vol. 2:6.
7. Ramachandiraiah K., Sung Gu Ha, Koo Bok Chin Nanotechnology in Meat Processing and Packaging: Potential Applications — A Review // *Asian Australas. J. Anim. Sci.* — 2015. — Vol. 28. — P. 290–302.
8. Siegrist M., Cousin ME., Kastenhof H., Wiek A. Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. *Appetite.* — 2007. — Vol. 49. — P. 459–466.
9. Petica A., Gavrilu S., Lungu M., Buruntea N., Panzaru C. Colloidal silver solutions with antimicrobial properties // *Materials science and engineering.* — 2008. — Vol. 152. — P. 22.
10. Raghupathi K.R. Size-Dependent Bacterial Growth Inhibition and Mechanism of Antibacterial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles // *Langmuir*, 2011. — Vol. 27 (7). — P. 4020–4028.
11. Brayner R. Toxicological Impact Studies Based on Escherichia coli Bacteria in Ultrafine ZnO Nanoparticles Colloidal Medium // *Nano Lett.* — 2006. — Vol. 6 (4). — P. 866–870.
12. Babushkina I.V., Borodulin V.B., Korshunov G.V., Puchinyan D.M. Study on the antibacterial effect of nanoparticles of copper and iron on the clinical strains of Staphylococcus aureus // *Saratov State-Medical Journal* — 2010. — Vol. 6. — № 1. — P. 11–14.
13. Simon-Deckers A., Loo S., Mayne-L'hermite M., Herlin-Boime N., Menguy N., Reynaud C., Gouget B. Size-, Composition- and Shape-Dependent Toxicological Impact of Metal Oxide Nanoparticles and Carbon Nanotubes toward Bacteria *Environ // Sci. Technol.* — 2009. — Vol. 43 (21). — P. 8423–8429.
14. Sergeev G.B. Nanochemistry. M.: Publishing House MGU, 2003. — ISBN: 5-211-04852-0. — P. 288.
15. Kittler S., Greulich C., Diendorf J., Koller M., Epple M. Toxicity of Silver Nanoparticles Increases during Storage Because of Slow Dissolution under Release of Silver Ions // *Chem. Mater.* — 2010. — Vol. 22 (16). — P. 4548–4554.
16. Budkevich, R.O., Evdokimov I.A. Safety of using nano-sized particles // *Dairy Industry*, — 2010. — № 1. — P. 46–49.
17. Podkopaev D.O., Shaburova L.N., Labutina N.V., Suvorov O.A., Sidorenko Yu.I., Kraineva O.V. Use of non-organic nanoparticles for imparting antimicrobial properties to packaging materials // *Technology and merchandizing of innovative food products* — 2013. — № 4 (21). — P. 28.
18. Krutyakov Yu.A., Kudrinsky A.A., Olenin A.Yu., Lisichkin G.V. Synthesis and properties of silver nanoparticles: achievements and prospects // *Uspekhi khimii.* — 2008. — No. 77 (3). — P. 242–269.
19. Bouwmeester H., Dekkers S., Noordam MY., Hagens WI., Bulder AS., de Heer C., Voorde TSE., Wijnhoven SW., Marvin HJ., & Sips AJ. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production // *Regul Toxicol Pharmacol.* — 2009. — Vol. 53. — P. 52–62.
20. Geiser, M., Kreyling W. Deposition and biokinetics of inhaled nanoparticles // *Part Fibre Toxicol.* — 2010. — Vol. 7(1). — P. 2.
21. Yang, Z., et al., A review of nanoparticle functionality and toxicity on the central nervous system, in Nanotechnology, the Brain, and the Future // *Editors.* — 2013. — Springer Netherlands. — P. 313–332.
22. Karlsson, H.L., et al., Copper oxide nanoparticles are highly toxic: a comparison between metal oxide nanoparticles and carbon nanotubes // *Chem Res Toxicol.* — 2008. — Vol. 21(9). — P. 1726–1732.
23. Sharma H.S., et al., Influence of nanoparticles on blood-brain barrier permeability and brain edema formation in rats // *Acta Neurochir Suppl.* — 2010. — Vol. 106. — P. 359–364.

24. Rhim J.W., Park H.M., Ha C.S. Bio-nanocomposites for food packaging applications // *ProgPolym Sci.* – 2013. – Vol. 38. – P. 1629–1652.
25. Dimitrijeva M., Karabasila N., Boskovic M., Teodorovica V., Vasileva D., Djordjevic V., Kilibardac N., Cobanovica N. Safety aspects of nanotechnology applications in food packaging // *Procedia Food Science.* – 2015. – Vol. 5. – P. 57–60.
26. Фролов Д. И. Наноматериалы и нанотехнологии в пищевой промышленности и оценка их безопасности // *Инновационная техника и технология.* – 2016. – № 1. – С. 11–14
27. Онищенко Г.Г., Бикотько Б.Г., Покровский В.И., Потапов А.И. Концепция токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов. – [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/kontseptsiya-toksikologicheskikh-issledovanii-nanomaterialov> (дата обращения 09.08.2016).
28. Bhol, K.C., Schechter, P.J. Effects of nanocrystalline silver (NPI 32101) in a rat model of ulcerative colitis // *Dig Dis Sci.* – 2007. – Vol. 52(10). – P. 2732–2742
29. Panea B., Ripoll G., González J., Fernández-Cuello A., Albertí P. Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Agon chicken breast meat quality // *J. Food Eng.* – 2013. – Vol. 123. – P. 104–112.
30. Huang Y., Chen S., Bing X., Gao C., Wang T., & Yuan B. Nanosilver migrated in to food-simulating solutions from commercially available food fresh containers // *Packaging Technol Sci.* – 2011. – Vol. 24. – P. 291–297.
31. Подкопаев Д.О. Разработка и потребительская оценка полимерных упаковочных материалов для продовольственных целей, полученных с применением нанотехнологий / *Диссертация на соиск. уч. степ. канд. техн. наук.* – М.: ФГБОУ ВПО «МГУПП», 2014. – С. 173.
32. Paull, J., Lyons, K. Nano-in-food – Threat or Opportunity for Organic Food? // 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16–20, 2008, [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://orgprints.org/view/projects/conference.html> (дата обращения 16.06.2016).
33. Danhier F., Ansorena E., Silva J.M., Coco R., Breton AL., & Préat V. PLGA-based nanoparticles: An overview of biomedical applications // *J. Control Release.* 2012. – Vol. 161. – P. 505–522.
34. Coles D., Frewer L. J. Nanotechnology applied to European food production. A review of ethical and regulatory issues, *Trends in Food Science & Technology*, [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2013.08.006>. (дата обращения 16.06.2016).
35. Klaine S. J., Alvarez P. J. J., Batley G. E., Fernandes T. F., Handy R. D., Lyon D. Y., Nanomaterial's in the environment: behaviour, fate, bioavailability, and effects // *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2008. – Vol. 27. – P. 1825–1851.
36. Baltic Z. M., Boskovic M., Ivanovic J., Dokmanovic M., Janjic J., Loncina1 J., Baltic T. Nanotechnology and its potential applications in meat industry // *Tehnologija mesa.* – 2013. – Vol. 54. – P. 168–175.
37. Онищенко Г.Г., Тутельян В.А., Гмошинский И.В., Хотимченко С.А. Развитие системы оценки безопасности и контроля наноматериалов и нанотехнологий в Российской Федерации // *Гигиена и санитария.* – 2013. – № 1. – С. 4–11.
38. Chen L., Remondetto G., Subirade M. Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems // *Trends Food Science & Technology.* – 2006. – Vol.17. – P. 272–283.
39. Weiss J., Takhistov P., McClemens D. J. Functional materials in food nanotechnology // *Journal of Food Science.* – 2006. – Vol. 71. – P.107–116.
40. Bieberstein A., Roosen J., Marette S., Blanchemanche S., Vandermoere F. Consumer choices for nano-food and nano-packaging in france and germany // *European Review of Agricultural Economics.* – 2013. – Vol. 40. – P. 73–94.
41. Siegrist M., Stampfli N., Kastenholz H. Acceptance of nanotechnology foods: a conjoint study examining consumers' willingness to buy // *British Food Journal.* – 2009. – Vol. 111. – P. 175–194.
42. Cook A.J., Fairweather J.R. Intentions of New Zealanders to purchase lamb or beef made using nanotechnology // *British Food Journal.* – 2007. – Vol. 109. – P. 675–88.
43. Бенда А.Ф. Материалы нанотехнологий в полиграфии. Наноматериалы. Проблемы безопасности, экологии и этики в применении нано-материалов: учеб. пособие. – М.: МГУП имени Ивана Федорова, 2014. – Ч. 2. – 130 с.
44. Тихомирова Н.А. Нанотехнологии в переработке молочного сырья // *Молочная промышленность.* – 2008. – № 4. – С. 68–70.
24. Rhim J.W., Park H.M., Ha C.S. Bio-nanocomposites for food packaging applications // *ProgPolym Sci.* – 2013. – Vol. 38. – P. 1629–1652.
25. Dimitrijeva M., Karabasila N., Boskovic M., Teodorovica V., Vasileva D., Djordjevic V., Kilibardac N., Cobanovica N. Safety aspects of nanotechnology applications in food packaging // *Procedia Food Science.* – 2015. – Vol. 5. – P. 57–60.
26. Frolov D.I. Nanomaterials and nanotechnology in food industry and assessment of their safety // *Innovative technique and technology* – 2016. – № 1. – P. 11–14.
27. Onishchenko G.G., Bikotko B.G., Pokrovsky V.I., Potapov A.I. A concept of toxicological investigations, risk assessment methodology, methods of identification and quantitative detection of nanomaterials – [Electronic resource]. – 2007. – access mode: <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/kontseptsiya-toksikologicheskikh-issledovanii-nanomaterialov> (date of access: 09.08.2016).
28. Bhol, K.C., Schechter, P.J. Effects of nanocrystalline silver (NPI 32101) in a rat model of ulcerative colitis // *Dig Dis Sci.* – 2007. – Vol. 52(10). – P. 2732–2742
29. 29. Panea B., Ripoll G., González J., Fernández-Cuello A., Alberti P. Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Agon chicken breast meat quality // *J. Food Eng.* – 2013. – Vol. 123. – P. 104–112.
30. Huang Y., Chen S., Bing X., Gao C., Wang T., & Yuan B. Nanosilver migrated in to food-simulating solutions from commercially available food fresh containers // *Packaging Technol Sci.* – 2011. – Vol. 24. – P. 291–297.
31. Podkopaev D.O. Development and consumer assessment of polymer packaging materials for food purposes obtained using nanotechnologies / *Dissertation in support of candidature for an academic degree in technical sciences.* – M.: FGBOU VPO «MGUPP», 2014 – P. 173.
32. Paull, J., Lyons, K. Nano-in-food – Threat or Opportunity for Organic Food? // 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16–20, 2008, [Electronic resource]. – 2008. – access mode: <http://orgprints.org/view/projects/conference.html> (date of access 16.06.2016).
33. Danhier F., Ansorena E., Silva J.M., Coco R., Breton AL., & Préat V. PLGA-based nanoparticles: An overview of biomedical applications // *J. Control Release.* 2012. – Vol. 161. – P. 505–522.
34. Coles D., Frewer L. J. Nanotechnology applied to European food production. A review of ethical and regulatory issues, *Trends in Food Science & Technology*, [Electronic resource]. – 2013. – access mode: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2013.08.006>. (date of access 16.06.2016).
35. Klaine S. J., Alvarez P. J. J., Batley G. E., Fernandes T. F., Handy R. D., Lyon D. Y., Nanomaterial's in the environment: behaviour, fate, bioavailability, and effects // *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2008. – Vol. 27. – P. 1825–1851.
36. Baltic Z. M., Boskovic M., Ivanovic J., Dokmanovic M., Janjic J., Loncina1 J., Baltic T. Nanotechnology and its potential applications in meat industry // *Tehnologija mesa.* – 2013. – Vol. 54. – P. 168–175.
37. Onishchenko G.G., Tutelyan V.A., Gmshinsky I.V., Khotimchenko S.A. Development of a system of safety assessment and control of nanomaterials and nanotechnologies in the Russian Federation // *Hygiene and sanitary.* – 2013. – № 1. – P. 4–11.
38. Chen L., Remondetto G., Subirade M. Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems // *Trends Food Science & Technology.* – 2006. – Vol. 17. – P. 272–283.
39. Weiss J., Takhistov P., McClemens D. J. Functional materials in food nanotechnology // *Journal of Food Science.* – 2006. – Vol.71. – P.107–116.
40. Bieberstein A., Roosen J., Marette S., Blanchemanche S., Vandermoere F. Consumer choices for nano-food and nano-packaging in france and germany // *European Review of Agricultural Economics.* – 2013. – Vol. 40. – P. 73–94.
41. Siegrist M., Stampfli N., Kastenholz H. Acceptance of nanotechnology foods: a conjoint study examining consumers' willingness to buy // *British Food Journal.* – 2009. – Vol. 111. – P. 175–194.
42. Cook A.J., Fairweather J.R. Intentions of New Zealanders to purchase lamb or beef made using nanotechnology // *British Food Journal.* – 2007. – Vol. 109. – P. 675–88.
43. Benda A.F. Materials of nanotechnology in printing industry. Nanomaterials. Problems of safety, ecology and ethics in the use of nano-materials: Teaching Guide/ – M.: MGUP named after Ivan Fedorov, 2014. – Part 2. – P. 130.
44. Tikhomirova N.A. Nanotechnologies in dairy raw material processing // *Dairy Industry.* – 2008. – № 4. – P. 68–70.

45. Нанотехнологии в сельском хозяйстве / Сост. Н. И. Кугутина. — Курск: Курская областная научная библиотека им. Н.Н. Асеева, 2012. — С. 19.
46. Информационная записка ИНФОСАН № 1/2008 — Нанотехнология [Электронный ресурс]. — 2008. — Режим доступа: [http://www.who.int/foodsafety/fs\\_management/No\\_01\\_nanotechnology\\_Feb08\\_ru\\_rev1.pdf](http://www.who.int/foodsafety/fs_management/No_01_nanotechnology_Feb08_ru_rev1.pdf) (дата обращения 29.09.2016)
47. Балабанов В., Балабанов И Нанотехнологии: правда и вымысел. — М.: Эксмо, 2010. — ISBN: 978-5-699-40756-9. — С. 384.
48. Кричевский Г.Е. Опасности и риски нанотехнологий и принципы контроля за нанотехнологиями и наноматериалами // Нанотехнологии и охрана здоровья. — 2010. — Т. 2. — № 3. — С. 10–24.

45. Nanotechnologies in agriculture/ Compiled by N.I. Kugutina — Kursk, Kursk regional scientific library named after N.N. Asseev, — 2012. — 19 pages.
46. Information note of INFOSAN No. 1/2008 — Nanotechnology [Electronic resource]. — 2008. — access mode: [http://www.who.int/foodsafety/fs\\_management/No\\_01\\_nanotechnology\\_Feb08\\_ru\\_rev1.pdf](http://www.who.int/foodsafety/fs_management/No_01_nanotechnology_Feb08_ru_rev1.pdf) (date of access 29.09.2016)
47. Balabanov V., Balabanov I. Nanotechnologies: The truth and fiction. — M.: Eksmo, 2010. — ISBN: 978-5-699-40756-9. — P. 384.
48. Krichevsky G.E. Hazards and risks of nanotechnologies and principles of control for nanotechnologies and nanomaterials // Nanotechnologies and health care. — 2010. — Vol. 2. — № 3. — P. 10–24.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

##### Принадлежность к организации

**Горбунова Наталия Анатольевна** — кандидат технических наук, Ученый секретарь, Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26.  
Тел.: 8-495-676-93-17  
E-mail: ngorbunova@vniimp.ru

**Туниева Елена Карленовна** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26.  
Тел.: 8-495-676-71-11  
E-mail: lenatk@bk.ru

##### Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

##### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 16.08.2016

#### AUTOR INFORMATION

##### Affiliation

**Gorbunova Nataliya Anatolyevna** — candidate of technical sciences, Scientific secretary, The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute 109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: 8-495-676-93-17  
E-mail: ngorbunova@vniimp.ru

**Tunieva Elena Karlenovna** — candidate of technical sciences, leading research scientist, The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute 109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: 8-495-676-71-11  
E-mail: lenatk@bk.ru

##### Contribution

Authors in equal shares are related to writing of the manuscript and equally bear responsibility for plagiarism.

##### Conflict of interest

The authors declares no conflict of interest.

Received 16.08.2016

# INFLUENCE OF DIFFERENT FOOD ADDITIVES AND INGREDIENTS ON THE TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANIMAL PROTEINS

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК И ИНГРЕДИЕНТОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИВОТНЫХ БЕЛКОВ

Drozdova N. A., Nasonova V. V.

The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute, Moscow, Russia

**Ключевые слова:** коллагенсодержащий белок, температура денатурации коллагена, действие солей/кислот/щелочей на коллаген.

**Keywords:** collagen protein, pH, denaturation temperature, influence salts/acids/alkalis on collagen.

### Аннотация

В данной статье представляется информация о функционально-технологических свойствах коллагенсодержащих белков. Рассмотрены особенности строения коллагена, зависимость температуры денатурации от содержания пролина и гидроксипролина. Представлены данные об изменениях в структуре коллагена в условиях тепловой обработки. После охлаждения сваренного коллагена в результате образуются прочные студни, способные удерживать большое количество воды.

Описано влияние уровня pH на температуру денатурации, растворимость коллагена в воде, прочностные характеристики коллагенсодержащих белков.

Приведены данные о степени влияния различных пищевых добавок и химических веществ, а именно кислот и щелочей, солей, фосфатов, гидроколлоидов на структуру и функционально-технологические свойства коллагенсодержащего белка. Влияние кислот, щелочей, солей на свойства коллагена зависит от природы и силы ионов и их сродства с ионами коллагенового белка. Взаимодействие коллагеновых белков и гидроколлоидов приводит к синергетическому эффекту. Фосфаты вместе с коллагеном образуют прочные структуры.

### Введение

Благодаря своим уникальным свойствам, коллагенсодержащие препараты находят широкое применение в медицине, ветеринарии, отраслях пищевой и легкой промышленности. Однако, коллаген сложно выделить из соединительной ткани и перевести в растворенное состояние [1]. Существуют различные способы получения коллагенсодержащего белка, от которых зависят его характеристики и свойства. Специфичность коллагена обусловлена его высокой молекулярной массой, значительным количеством активных полярных групп, низкой термостабильностью и др [1].

Применение коллагеновых белков в мясоперерабатывающей промышленности позволяет улучшить консистенцию и структурно-механические свойства мясной продукции, исключить бульоно-жировые оттеки при изготовлении колбасных изделий, достичь желаемой монолитности, нарезаемости и «кусаемости» мясного продукта. Одно из преимуществ использования коллагеновых

### Abstract

In the present review, we focus on the features of the collagen structure. In particular, we report the correlation between the amount of proline and hydroxyproline and the temperature of denaturation, as well as the changes of collagen structure after thermal treatment. After cooling, denaturated collagen forms dense jellies which may absorb a large amount of water. The influence of pH on the denaturation temperature, solubility and the strength characteristics of collagen-containing proteins are described. The review also describes the data on the influence of various food additives and chemicals (acids, alkalis, salts i.a. phosphates, hydrocolloids) on the collagen protein structure and technological properties.

The effect of acids, alkalis, salts on the properties of collagen depends on the nature and strength of the ions and their affinity for the collagen ions. The interactions between the collagen proteins and hydrocolloids result in the synergetic effect. Phosphates and collagen form solid structures.

### Introduction

Due to its unique properties, collagen-containing preparations find wide use in medicine, veterinary, sectors of food and light industries. However, it is difficult to extract collagen from the connective tissue and transform it into the solubilized condition [1]. Collagen protein can be obtained by different methods, on which its characteristics depend. The specificity of collagen is conditioned by its high molecular weight, significant amount of the active polar groups, low thermal stability and so on [1].

The use of collagen proteins in the meat processing industry allows improving consistency and structural and mechanical properties of meat products, prevent broth-fatty purge in production of sausage products and achieve the desired monolithic structure, cutting and biting properties of meat products. One of the advantages of using collagen proteins is a decrease in cooking and storage losses, which results in high yields and stable quality of finished

белков это снижение потерь при термической обработке и хранении и, как результат, высокий выход и стабильное качество готовой продукции, улучшение экономических показателей производства мясных изделий.

Высокая функциональность коллагеновых белков позволяет использовать их в производстве эмульгированных, реструктурированных, цельномышечных изделий и полуфабрикатов. На основе коллагеновых белков готовят гели, эмульсии, гранулы или используют их без предварительной подготовки в сухом виде, внося непосредственно в фарш или в рассол [2].

В формировании функционально-технологических свойств коллагеновых белков важную роль играет строение коллагена. Известно более 27 видов коллагенов, но наиболее распространенным в мясоперерабатывающей промышленности является фибриллярный коллаген типа I. Промежуточные молекулы коллагена состоят из трех-цепочечной спиральной структуры, в основе которой находится многочисленно повторяющийся трипептид Gly-X-Y, где в большинстве случаев X является пролином, а Y гидроксипролином [3, 4, 5]. Эта последовательность является основным фактором термостабильности [6, 7].

Содержание пролина и гидроксипролина особенно важно для желеобразующего эффекта. Между тем, гидроксипролин, как полагают Hashim, Mohd Ridzwan и др [6], играет особую роль в стабилизации тройной спирали коллагена благодаря способности образовывать водородные связи через -ОН группы [3, 6]. Суммарное содержание данных пирролидиновых остатков оказывает влияние и на температуру денатурации: чем больше их количественное содержание в белке, тем выше температура денатурации [5]. Денатурация коллагена происходит при различных температурах в пределах 58...67°C. Кроме содержания пролина и гидроксипролина температура денатурации зависит от того, из какого сырья получен белок.

При нагревании до температуры денатурации часть водородных связей коллагена, удерживающих полипептидные цепи в третичной структуре, ослабевает и разрывается. Коллагеновый белок в растворе сваривается, его структурные связи полностью разрушаются. В результате изменения нативной структуры коллагена (пептизации) происходит увеличение количества активных групп (-COOH и -ОН), играющих роль гидрофильных центров [8]. Процесс деструкции коллагена необратимый и считается началом денатурации фибриллярного белка [8, 9]. После тепловой обработки при температуре денатурации происходит трансформация коллагена с образованием соединений меньшей молекулярной массой: желатина, желатозы, глютина, которые после охлаждения образуют прочные студни [2, 8, 10]. Переход коллагена в глютин ускоряет не только температура, но и кислая среда.

Функционально-технологические свойства коллагенсодержащих белков, а также мясных (фаршевых)

products and improved economic indicators in meat product manufacture.

High functionality of collagen proteins allows their use in production of emulsified, restructured and whole muscle products, as well as semi-prepared products. Based on the collagen proteins, gels, emulsions and granules are prepared and used in a dried form without preliminary preparation by adding directly into minced meat or brine [2].

The collagen structure plays an important role in formation of the functional and technological properties of collagen. More than 27 types of collagens are known; however, fibrillar collagen type I is the most common in the meat industry.

The transient molecules of collagen consist of the triple-helical structure, the basis of which is multiply repeated tripeptide Gly-X-Y, where in most cases X is proline and Y is hydroxyproline [3, 4, 5]. This sequence is the main factor of thermal stability [6, 7].

The proline and hydroxyproline content is especially important for the gelling effect. At the same time, hydroxyproline, as Hashim, Mohd Ridzwan et al. [6] suggest, plays a specific role in stabilization of the collagen triple helix due to the ability to form the hydrogen bonds through -OH groups [3, 6].

The total content of pyrrolidine residues also affects the denaturation temperature: the more their quantitative content in protein, the higher the denaturation temperature [5]. Denaturation of collagen occurs at different temperatures in a range of 58...67°C. In addition to the proline and hydroxyproline content, the denaturation temperature depends on raw material, from which protein was obtained.

When heating up to the denaturation temperature, part of the collagen hydrogen bonds, which hold polypeptide chains in the tertiary structure, weakens and ruptures. Collagen protein in a solution shrinks; its structure is fully destroyed. As a result of the changes in the collagen native structure (peptization), an amount of the active groups (-COOH and -OH), which play a role of the hydrophilic centers, increases [8]. The process of collagen destruction is irreversible and is considered the beginning of fibrillar protein denaturation [8, 9]. After thermal treatment at the denaturation temperature, the transformation of collagen occurs with formation of compounds with the lower molecular weights: gelatin, gelatose and glutin, which form strong gels after cooling [2, 8, 10]. Transition of collagen into glutin is accelerated not only by a temperature, but also by an acid medium.

The functional and technological properties of collagen proteins, as well as meat (forcemeat) systems obtained with their use, significantly depend on the pH value of their aqueous solutions. It is known that the isoelectric point

систем, получаемых с их использованием, существенным образом зависят от значения рН их водных растворов. Известно, что изоэлектрическая точка мышечных белков приходится на значения рН от 5,0 и ниже (кислая среда), тогда как изоэлектрическая точка коллагенсодержащих белков лежит в области рН от 6,0 до 6,75. При уменьшении рН снижается изометрическое напряжение коллагеновых волокон [9]. Сдвиг рН в щелочную или кислую сторону приводит к изменению распределения положительных и отрицательных зарядов на поверхности молекулы белка и, следовательно, к изменению их функциональных свойств [11]. Так, при рН = 3 температура денатурации коллагена ( $T_d$ ) снижается до 35–40°C, при рН = 1  $T_d$  составляет 30°C [12, 13].

Уровень рН оказывает влияние и на растворимость коллагена в воде. Увеличение ионной силы влияет на снижение растворимости коллагена. В работе [14] процент растворимого коллагена был ниже при рН = 7,4, чем при 5,6.

Проведены исследования [15] на модельных образцах сырокопченых колбас с использованием животного белка с различным уровнем рН. В промышленных условиях гели, образованные животным белком с рН = 3,5, получались более прочными и равномерными по сравнению с гелями белка, рН которого составлял 6,4 [15].

При низких значениях рН происходит разрушение ковалентных связей и некоторых специфических пептидных связей [9]. Обобщая влияние уровня рН, можно сказать, что низкое значение рН увеличивает процент растворимого коллагена, ускоряет процесс разваривания коллагена и образования глютена и желатина, тем самым оказывая влияние на образование прочных гелей.

Безусловно, не только уровень рН влияет на прочностные характеристики гелей животного белка, но и добавляемые к белку другие ингредиенты. По этой причине представляется интерес изучить влияние различных пищевых добавок и условий на функционально-технологические характеристики коллагенсодержащих белков.

#### **Влияние кислот и щелочей на коллаген**

Коллаген обладает способностью реагировать как с кислотами, так и с щелочами. Карбоксильные и основные группы аминокислотных остатков, примыкающие к  $\alpha$ -углеродным атомам конечных аминокислот, заметного влияния на взаимодействие коллагена с кислотами и щелочами не оказывают. Также на протеолитическое равновесие в структуре коллагена незначительно влияние амидов некоторых остатков аспарагиновой и глутаминовой кислот, гидроксильных и пептидных [12].

В случае, если рН нейтрального значения, происходит взаимная компенсация противоположных зарядов боковых цепей остатков аминокислот (таких как аргинин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты и др. (рис. 1а). [16, 17].

of muscle proteins is at a pH value of 5.0 or lower (acid medium); while, the isoelectric point of collagen proteins is in a pH range of 6.0 to 6.75. With a decrease in pH, the isometric tension of collagen fibers reduces [9]. The pH shift to an alkaline or acidic region leads to the changes in distribution of the positive and negative charges on a protein molecular surface and, consequently, to the changes in their functional properties [11]. For example, at pH = 3, a temperature of collagen denaturation ( $T_d$ ) reduces to 35–40°C; at pH = 1,  $T_d$  is 30°C [12, 13].

The pH value also influences collagen solubility in water. An increase in the ionic strength affects a decrease in the collagen solubility. In the work [14], the percentage of soluble collagen was lower at pH 7.4 than at pH = 5.6.

The study [15] on the model samples of uncooked smoked sausages with the use of animal protein with different values of pH was carried out. In the industrial conditions, the gels produced by animal proteins with pH = 3.5 were stronger and more homogeneous compared to the protein gels with pH = 6.4 [15].

At low pH values, the covalent bonds and several specific peptide bonds are broken down [9]. Generalizing an effect of a pH value, it can be said that low pH values increase a percentage of dissolved collagen, accelerate the process of collagen digestion and formation of gluten and gelatin, thereby, influencing formation of strong gels.

Undoubtedly, not only pH values affect the strength characteristics of animal protein gels, but also other ingredients added to protein. Therefore, it seems interesting to study an impact of different food additives and conditions on the functional and technological characteristics of collagen proteins.

#### **Effect of acids and alkalis on collagen**

Collagen has an ability to react both with acids and alkalis. Carboxyl and basic groups of amino acid residues, adjacent to  $\alpha$ -carbon atoms of the terminal amino acids do not affect significantly an interaction of collagen with acids and alkalis. Several residues of aspartic and glutamic acids, hydroxyls and peptide residues also influence the proteolytic equilibrium in the collagen structure [12].

In case of neutral pH, the mutual compensation of the opposite charges of the side chains of amino acids (such as arginine, aspartic and glutamic acids and so on) takes place (Fig. 1a) [16, 17].

However, in the presence of a strong acid, the groups of the basic character become ionized, and those of an acid character are suppressed (Fig. 1b). Molecular chains are deformed due to the electrostatic repulsion, collagen fibers become thicker and, as a consequence, their length reduces [12, 16]. Gradual destruction of the intermolecular hydrogen bonds and water-bridged structure begins. In this connection, the temperature of collagen denaturation decreases.

Однако, в присутствии сильной кислоты группы основного характера становятся ионизированными, а кислотного — подавленными (рис. 16). Молекулярные цепи деформируются за счет электростатического отталкивания, происходит утолщение коллагенового волокна и, как следствие, уменьшение его длины [12, 16]. Начинается постепенное разрушение внутримолекулярных водородных связей и водно-мостиковой структуры. В связи с этим снижается температура денатурации коллагена.

Деформацию цепей белка можно объяснить подавлением заряда карбоксильных групп боковых цепей или заряда групп основного характера белка при добавлении кислоты или щелочи соответственно [12, 17]. При взаимодействии с кислотами и щелочами степень набухания коллагена увеличивается, однако, степень влияния зависит от силы электролита [17]. Так, например, по интенсивности влияния на степень набухания одноосновные щелочи будут расположены в следующем порядке убывания степени влияния: KOH, NaOH, NH<sub>4</sub>OH [12]. Увеличение концентрации кислоты и щелочи вызывает набухание коллагена и в дальнейшем его растворение [17].

Набухание в кислотах происходит в результате суммарного действия осмотических и электростатических сил [17]. Длительная обработка кислотой, например, соляной, вызывает набухание и последующее растворение коллагена [17].

В концентрированных растворах кислот преобладает молекулярная адсорбция с коллагеном в основном по пептидным связям: взаимодействие происходит в направлении водородного связывания карбонильных групп одной цепи с иминогруппами другой [17]. Однако процесс набухания протекает с различной интенсивностью, которая зависит от степени родства аниона кислоты к коллагену. Так, например, большее сродство аниона серной кислоты по сравнению с соляной приводит к большему разрыхлению структуры коллагена, к увеличению степени набухания, а температура сваривания коллагена в серной кислоте ниже, чем в соляной не зависимо от концентрации [17].

Тем не менее, в разбавленном растворе соляной кислоты набухание будет наблюдаться интенсивнее, чем в серной. Это объясняется тем, что для разбавленных кислот основную роль играют процессы ионной сорбции [17].

Изменения в структуре коллагена, вызванные обработкой разбавленными растворами соляной и уксусной кислот, будут однотипными. В разбавленных растворах уксусной кислоты (CH<sub>3</sub>COOH) взаимодействие происходит у боковых цепей коллагена [17]. Степень диссоциации карбоксильной группы увеличивается при введении электроноакцепторных групп в α-положение, таким образом усиливается действие разбавленных растворов кислот. Так, α-оксипропионовая (молочная) кислота [CH<sub>3</sub>CH(OH)COOH] снижает T<sub>d</sub> до 15 °С,

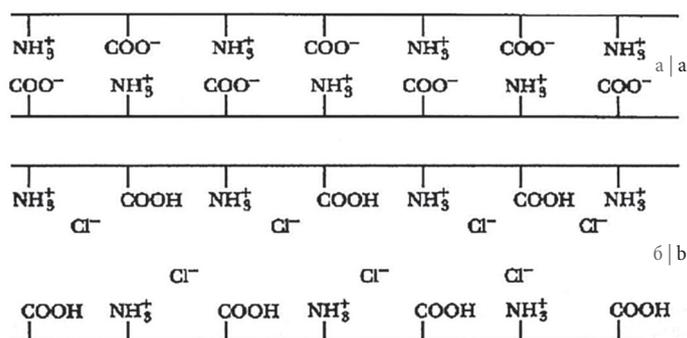


Figure 1. Compensation of the opposite charges in a collagen macromolecule (a) and interaction of protein with an excess of hydrochloric acid (b) [16]

Рис. 1. Компенсация противоположных зарядов в макромолекуле коллагена (а) и взаимодействия белка с избытком соляной кислоты (б) [16]

Deformation of protein chains can be explained by suppression of a charge of the carboxylic groups of the side chains or a charge of the protein groups of the basic character when adding an acid or alkali, respectively [12, 17]. In interaction with acids and alkalis, the degree of collagen swelling increases; however, the degree of the effect depends on the strength of electrolyte [17]. For instance, in terms of the effect intensity, the monobasic alkalis will be arranged in the following order of a decrease in the effect degree: KOH, NaOH, NH<sub>4</sub>OH [12]. An increase in the acid or alkali concentration causes swelling of collagen and its following dissolution [17].

Swelling in acids occurs as a result of the summary action of osmotic and electrostatic forces [17]. Durable treatment with an acid, for example, hydrochloric acid, causes swelling and following dissolution of collagen [17].

In the concentrated acid solutions, molecular absorption with collagen (mainly, by peptide bonds) prevails: interaction occurs in the direction of hydrogen bonding of the carbonyl groups of one chain with amino groups of another [17]. However, a process of swelling occurs with different intensity, which depends on the degree of the affinity of the acid anions for collagen. For instance, the high affinity of the anion of sulfuric acid compared to hydrochloric acid leads to significant loosening of the collagen structure and an increase in the degree of swelling; while the thermal shrinkage temperature of collagen in sulfuric acid is lower than in hydrochloric acid independent of concentration [17].

Nevertheless, in the dissolved solution of hydrochloric acid, swelling will be more intensive than in sulfuric acid. This can be explained by the fact that the main role in dissolved acids plays the processes of ionic sorption [17].

Changes in the collagen structure caused by treatment with the dissolved solutions of hydrochloric and acetic acids will be similar. In the dissolved solutions of acetic acid

и при 20°C коллагеновое волокно уже растворяется. Аналогично действие  $\alpha$ -оксиуксусной (гликолевой)  $[\text{OHCH}_2\text{COOH}]$  и трихлоруксусной  $[\text{CCl}_3\text{COOH}]$  кислот. Меняя заместителей в  $\alpha$ -положении, можно добиться оптимального воздействия органических кислот на коллаген (денатурация, диспергирование, частичное растворение) [16].

Органические слабодиссоциированные кислоты (например, уксусная кислота) сорбируясь как в виде ионов, так и в неионизированной форме, не могут полностью подавить ионизацию основных групп белка. Для разрушения коллагеновой структуры требуются значительная концентрация уксусной кислоты и длительное время воздействия, но полного растворения коллагенового волокна в итоге всё равно не произойдет [16].

В кислой среде белки будут заряжены положительно, находясь в ионизированном состоянии и образуя с анионами добавленной кислоты соединения типа соли. При добавлении сильного основания заряд белков станет отрицательным, а карбоксильные группы белка в ионизированном состоянии будут представлять собой соединения типа соли с катионом добавленной щёлочи [12].

Однако, изучение взаимодействия различных кислот и щелочей с коллагенсодержащим белком носит индивидуальный характер, т.к. в структуре белка находятся разнообразные функциональные группы. Необходимо учитывать сродство ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  с ионогенными группами коллагена в отличие от большинства других ионов, которые взаимодействуют с заряженными центрами структуры коллагена и тем самым нарушают ионное равновесие. По этим причинам представлялся интерес доказать отсутствие влияния  $\text{NaCl}$  на функционально-технологические свойства коллагенсодержащих белков.

### Воздействие неорганических солей

Коллагеновый белок в растворах солей подвергается модификациям, которые зависят главным образом от концентрации и вида аниона и катиона. Эти изменения оказывают влияние в первую очередь на набухание коллагена [12].

Установлено, что из разбавленного раствора хлорида натрия коллаген поглощает преимущественно ионы хлора [12, 18]. Хлорид натрия уменьшает прочность геля коллагеновых белков в связи с тем, что способен отключать гидрофобные и водородные связи. Препятствие стабилизации коллагеновых гелей происходит непосредственно за счет предотвращения образования водородных связей и/или из-за изменения структуры воды в непосредственной близости от этих участков [19, 20].

Степень влияния солей можно разделить на три группы по Михайлову А. Н. [12]:

— к первой группе относятся роданаты, иодиды, хлораты, соли бария, кальция, магния и лития — соединения, вызывающие сильное набухание коллагена при любых концентрациях;

$(\text{CH}_3\text{COOH})$ , interactions will take place at the side chains of collagen [17]. The degree of dissociation of the carboxyl group increases when adding electron-accepting groups in  $\alpha$ -position; thus, the action of the dissolved acid solutions increases.

For example,  $\alpha$ -oxypropionic (lactic) acid  $[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}]$  decreases  $T_d$  to 15° C and a collagen fiber is already dissolved at a temperature of 20°C. The actions of  $\alpha$ -oxyacetic (glycolic)  $[\text{OHCH}_2\text{COOH}]$  and trichloroacetic  $[\text{CCl}_3\text{COOH}]$  acids are similar. By changing substituents in the  $\alpha$ -positions, it is possible to achieve an optimal effect of the organic acids on collagen (denaturation, dispersion, partial dissolution) [16].

The organic weakly dissociated acids (for example, acetic acid) sorbing both in a form of ions and in the non-ionized form cannot fully suppress ionization of protein basic groups. To destroy the collagen structure, a significant concentration of acetic acid and durable time of its exposure are required, but, eventually, the full dissolution of collagen fibers will not occur [16].

In the acid medium, proteins will be charged positively being in the ionized condition and forming compounds like salts with anions of the added acid. On addition of a strong base, a protein charge will become negative and carboxyl groups of proteins in the ionized condition will present compounds like salts with a cation of an added alkali [12].

However, a study of the interaction of different acids and alkalis with collagen protein has an individual character as various functional groups are in the structure of proteins. It is necessary to take into consideration the affinity of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  ions for the ionogenic groups of collagen in contrast to the majority of other ions, which interact with the charged centers of the collagen structure and, thus, disturb the ionic balance. For these reasons, it was interesting to prove an absence of the  $\text{NaCl}$  effect on the functional and technological properties of collagen proteins.

### Effect of inorganic salts

Collagen protein in the salt solutions was subjected to modifications, which mainly depend on a concentration and a type of anion and cation. These changes primarily influence swelling of collagen [12].

It was established that collagen absorbs mainly the chlorine ions from the dissolved sodium chloride solution [12, 18]. Sodium chloride reduces the strength of collagen protein gels due to its ability to switch off the hydrophobic and hydrogen bonds. A hurdle for stabilization of collagen gels occurs directly due to prevention of formation of the hydrogen bonds and/or changes in water structure in the direct closeness of these regions [19, 20].

The degree of the influence of salts can be divided into three groups according to Mikhailov A.N. [12]:

- ко второй группе — хлорид натрия и другие соли, которые не оказывают значительного влияния на свойства коллагена;
- в третью группу входят соли, ион которых не отличается повышенной адсорбируемостью и обладает высаливающими свойствами, например, сульфаты, тиосульфаты, ацетаты и карбонаты.

В случае солей первой группы коллагеновые волокна при набухании укорачиваются и утолщаются, а температура сваривания резко снижается, коллаген способен свариваться уже при комнатной температуре. При взаимодействии коллагена с солями второй группы происходит небольшое набухание при низких концентрациях соли, в случае использования высоких концентраций — небольшое обезвоживание.

### Взаимодействие с гидроколлоидами

Коллагенсодержащие белки положительно взаимодействуют с различными гидроколлоидами, например, в ряде работ [2, 4, 21, 22, 23] описан синергетический эффект животного белка с ними.

Так, при добавлении 1% каррагинана в 2,5%-ный гель животного белка марки ScanPro T95 прочность и пластичность геля увеличивалась в 6,3 раза и в 5,9 раза по сравнению с 2,5%-ным гелем животного белка. Также показан синергетический эффект животного белка и каррагинана в присутствии 2% поваренной соли [23].

Каррагинаны и другие полисахариды, такие как, например, геллановая камедь, гидроксипропилметилцеллюлоза увеличивают прочность гелей и их термостабильность, что было показано на примере рыбного коллагенсодержащего белка [4].

В работе [22] рассмотрено положительное влияние альгинатов на функциональность белковой системы. На примере белка марки ScanPro CE 40 показано взаимодействие с альгинатами и получение более сильного геля уже после двух часов выдержки. Из-за более эффективного процесса гелеобразования стало возможным сократить время производства и сэкономить затраты на электроэнергию. Другим преимуществом взаимодействия животного белка и альгинатов является термостабильность гелей или эмульсий [2, 22].

Авторами Changdao, Fang и др [21] описано получение гидрогеля из коллагенового белка и диальдегидного крахмала. Образование прочного геля достигается за счет реакции альдегидных групп крахмала со свободными аминогруппами в коллагене. При этом третичная структура коллагена не меняется. В результате получается термостабильный гель.

### Влияние фосфатов

В работе [24] готовили четыре эмульсии с различным содержанием коллагена и щелочным фосфатом. Добавление 0,25% триполифосфата натрия улучшало стабильность эмульсии. Применение коллагена с полифосфатами в сравнении с коллагеном без фосфатов или

- The compounds that cause strong swelling of collagen in any concentrations (rhodanates, iodides, chlorates, barium salts) are in the first group;
- Sodium chloride and other salts, which do not significantly affect the collagen properties, are in the second group;
- The salts, which ions do not have increased absorbability and has salting-out properties, for example, sulfates, thiosulfates, acetates and carbonates are in the third group.

In case of the salts from the first group, collagen fibers shorten and thicken when swelling, and the shrinkage temperature sharply reduces; collagen is able to shrink already at room temperature. Upon interaction of collagen with the salts of the second group, small swelling at low concentrations of salts and small dehydration in case of high concentrations occur.

### Interaction with hydrocolloids

Collagen proteins positively interact with different hydrocolloids. In several works [2, 4, 21, 22, 23], a synergetic effect of animal proteins with them is described. For example, when adding 1% of carrageenan into 2.5% animal protein gel of ScanPro T95 brand, the strength and plasticity of gel increased by 6.3 times and 5.9 times compared to 2.5% animal protein gel. Also, a synergetic effect of an animal protein and carrageenan in the presence of 2% of table salt was showed [23].

Carrageenans and other polysaccharides, such as gellan gum and hydroxy propyl methyl cellulose, increase the strength and thermal stability of gels, which was shown by the example of fish collagen proteins [4].

In the work [22], a positive effect of alginates on functionality of a protein system was examined. By the example of protein of ScanPro CE 40, an interaction with alginates and production of a stronger gel already after two hours of holding was demonstrated. Due to more effective process of gel formation, it became possible to reduce the time of production and electricity costs. Another benefit of interaction of an animal protein and alginates is thermal stability of gels and emulsions [2, 22].

Changdao, Fang et al. [21] describe production of a hydrogel from collagen protein and dialdehyde starch. Formation of a strong gel is achieved due to the reaction of the aldehyde groups of starch with free amino groups in collagen. With that, the tertiary structure of collagen does not change. As a result, a thermally stable gel is obtained.

### Effect of phosphates

In the work [24], four emulsions with different content of collagen and alkaline phosphate were prepared. Addition of 0.25% sodium tripolyphosphate improved the emulsion stability. The use of collagen with polyphosphates

с ортофосфатами увеличивало количество связанной воды, улучшало консистенцию готовой продукции [1].

В работе [25] проводили исследования получения прочных композитов, образованных коллагеном и двухосновным фосфатом натрия ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) с pH около 14. Предварительно коллаген типа I выдерживали в растворе, содержащем анионы  $\text{PO}_4^{3-}$ , затем погружали в раствор, насыщенный катионами  $\text{Ca}^{2+}$ , чтобы таким образом образовалось осаждение минерала.

### Выводы

В результате проведенного анализа литературы установлены особенности функционально-технологических свойств коллагеновых белков в зависимости от сложности их структуры. Последовательность трипептида, состоящего из глицина, пролина и гидроксипролина, влияет на термостабильность коллагена и желирующий эффект.

Температура денатурации зависит от содержания пролина и гидроксипролина, а также от исходного сырья. При большом содержании пирролидиновых остатков температура денатурации будет выше.

После денатурации коллагена образуются соединения меньшей молекулярной массой: желатина, желатозы, глютина, которые после охлаждения образуют прочные студни, способные удерживать большое количество воды в своей структуре. На трансформацию коллагена в глютин влияют температура и уровень pH.

Выявлена зависимость степени растворимости, температуры сваривания коллагеновых животных белков и прочностных характеристик их гелей от уровня pH. Процент растворимого коллагена выше при значениях pH=5,4, чем при 7,4. В кислой среде денатурация коллагена происходит при низких температурах так, например, при pH=3 температура сваривания составляет 35...40°C, при pH=1  $T_d$  равна 30°C.

Влияние кислот, щелочей и солей на функциональные свойства коллагеновых белков носит индивидуальный характер, зависит от природы и силы анионов и катионов, их сродства с коллагеновым белком. Например, хлораты, йодиды, соли кальция и магния вызывают сильное набухание коллагена, в то время как хлорид натрия не вызывает значительных изменений в строении коллагена.

Имеет место синергетический эффект животного белка с гидроколлоидами. Использование животного белка в комбинации с каррагинанами или другими полисахаридами (геллановая камедь, гидроксипропилметилцеллюлоза, крахмалы) увеличивает прочность гелей и их термостабильность.

Фосфаты вместе с коллагеном способны образовывать прочные композиты.

Представляет интерес дальнейшее изучение влияния других видов солей, фосфатов и гидроколлоидов на прочностные характеристики гелей коллагеновых белков.

increased an amount of bound water and improved consistency of finished products compared to collagen without phosphates or ortophosphates [1].

The work [25] studied production of the strong composites formed by collagen and sodium phosphate dibasic ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) with pH about 14. Preliminary collagen of type I was held in a solution contained anions  $\text{PO}_4^{3-}$ ; then, it was dipped into a solution saturated with cations  $\text{Ca}^{2+}$  to precipitate the mineral.

### Conclusions

As a result of the performed analysis of the literature, the peculiarities of the functional and technological properties of collagen proteins dependent on the complexity of their structure were established. The sequence of tripeptide that is composed from glycine, proline and hydroxyproline affects the thermal stability of collagen and the gelling effect.

The denaturation temperature depends on the content of proline and hydroxyproline as well as on the initial raw material. Upon the high content of the pyrrolidin residues, the denaturation temperature will be higher.

After collagen denaturation, the compounds with lower molecular weight are formed: gelatin, gelatinose and glutin, which, after cooling, form strong gels capable of retaining high amounts of water in their structure. The collagen transformation into glutin is influenced by a temperature and pH value.

The dependency of the degree of dissolubility, shrinkage temperature of collagen animal proteins and strength characteristics of their gels on a pH value was established. Percentage of dissolved collagen is higher at pH 5.4 compared to pH 7.4. In the acidic medium, collagen denaturation occurs at low temperatures; for example, the shrinkage temperature at pH 3 is 35...40°C; at pH 1,  $T_d$  is 30°C.

An effect of acids, alkalis and salts on the functional properties of collagen proteins has an individual character, depends on the nature and strength of anions and cations and their affinity for collagen protein. For instance, chlorates, iodides, calcium and magnesium salts cause strong swelling of collagen; while, sodium chloride does not cause significant changes in the collagen structure.

The synergetic effect of animal proteins with hydrocolloids exists. The use of animal proteins with combination of carrageenans or other polysaccharides (gellan gum, hydroxypropyl methyl cellulose and starches) increases the strength and thermal stability of gels.

Phosphates with collagen are able to form strong composites.

It should be interesting to further study an effect of other types of salts, phosphates and hydrocolloids on the strength characteristics of collagen protein gels.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глотова И.А. Реологические характеристики полифункциональных дисперсионных систем на основе коллагеновых белков животных тканей / И.А. Глотова, Ю.В. Болтыхов // Успехи современного естествознания. — 2008. — №2. — С. 43–44.
2. Омаров Р.С. Белки животного происхождения в производстве мясopодуктов / Р.С. Омаров, О.В. Сычева, С.Н. Шлыков // Мясная индустрия. — 2011. — №3. — С. 36–38.
3. Неклюдов А.Д., Иванкин А.Н. Коллаген: получение, свойства и применение. — М.: ГОУ ВПО МГУЛ. — 2007. С. 12.
4. Gomez-Guillen M.C. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources / M.C. Gomez-Guillen, B. Gimenez, M.E. Lopez-Caballero, M.P. Montero // Food Hydrocolloids. — 2011. — №25. — P. 1813–1827.
5. Rizk M. A, Mostafa N. Y. Extraction and Characterization of Collagen from Buffalo Skin for Biomedical Applications. Orient J Chem 2016;32(3).
6. Hashim et al. Collagen in food and beverage industries / P. Hashim, M. S. Mohd Ridzwan, J. Bakar, D. Mat Hashim // International Food Research Journal. — 2015. — V.22(1). P. 1–8.
7. Zhang Y. General Solution for Stabilizing Triple Helical Collagen. / Y. Zhang, M. Herling, D.M. Chenoweth // J. Am. Chem. Soc. 2016. 138 (31). P. 9751–9754.
8. Сметанина Л.Б. Новые направления в производстве ветчинных консервов / Л.Б. Сметанина, И.Г. Анисимова, О.В. Воробьева // Всё о мясе. — 2007. — № 5. — С. 28–31.
9. Lepetit J. Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects // Meat Science. — 2008. — V. 80. — P. 960–967.
10. Жаринов А.И. Термическая обработка мясных изделий // Мясные технологии. — 2011. — № 1 (97). — С. 28–33.
11. Постников С.И. Современные белковые препараты животного происхождения для вареных колбасных изделий / С.И. Постников, И.В. Рыжикова // Мясная индустрия. — 2009. — № 11. — С. 43–45.
12. Михайлов А.Н. Химия и физика коллагена кожного покрова. М. — 1980. С. 166–183.
13. Wallace D.G. Multiple denaturational transitions in fibrillar collagen / D.G. Wallace, R.A. Condell, J.W. Donovan, A. Paivinen, W. M. Rhee, S. B. Wade // Biopolymers. — 1986. — №25 (10). — P. 1875–1893.
14. Latorrea M.E. New recommendations for measuring collagen solubility / M.E. Latorrea, A.L. Lifschitzb, P.P. Purslowc // Meat Science. — 2016. V. 118. P. 78–81.
15. Семенова А.А. Функциональные свойства животного белка с низким рН и перспективы его использования в технологии сырокопченых колбас / А.А. Семенова, Е.К. Туниева, А.И. Рогатин // Все о мясе. — 2011. — №5. — С.40–41.
16. Игнатъева Н.Ю. Коллаген — основной белок соединительной ткани (обзор). // Эстетическая медицина. — 2005. — Т. VI. — № 3. — С. 247–256.
17. Зайдес А.Л. Структура коллагена и её изменения при обработках. М. — 1960. — С.170–194.
18. Баблюян О.О. Производство клея и желатина на кожевенных заводах / О.О. Баблюян, Д. П. Радкевич, Н.А. Тимохин // М.: 1972. 174 с.
19. Sarbon N. M. Effects of different types and concentration of salt on the rheological and thermal properties of sin croaker and shortfin scad skin gelatin / Sarbon N. M., Cheow C. S., Kyaw Z. W., Howell N. K. // International Food Research Journal. — 2014. — V.21 (1). P. 317–324.
20. Choi S. S. Physicochemical and sensory characteristics of fish gelatin / Choi S. S., Regenstein J. M. // Journal of Food Science. — 2000. — V. 65 (2). P. 194–199.
21. Changdao Mu. Collagen Cryogel Cross-Linked by Dialdehyde Starch / Changdao Mu, Fang Liu, Qingsu Cheng, Hongli Li, Bo Wu, Guangzhao Zhang, Wei Lin // Macromolecular Materials and Engineering. — 2010, V. 295 (2). P. 100–107.
22. Stephan Busche. Collagen based functional proteins. // Fleisch wirtschaft international. — 2011. — №3. P. 48.
23. Семенова А.А. Влияние пищевых животных ингредиентов на гелеобразующую способность каппа-каррагинана / А.А. Семенова, М.В. Трифонов // Все о мясе. — 2006. — №4. — С. 13–14.
24. Ladwig K. M. Effects of Collagen and Alkaline Phosphate on Time of Chopping, Emulsion Stability and Protein Solubility of Fine-Cut Meat Systems / Ladwig K. M., Knipe C. L., Sebranek J. G. // Journal of Food Science. — 1989. V. 54 (3). P. 541–544.
25. Du C. Formation of calcium phosphate/collagen composites through mineralization of collagen matrix / Du C, Cui F. Z., Zhang W., Feng Q. L., Zhu X. D., de Groot K. // Journal of Biomedical Materials Research. — 2000. V. 50 (4). P. 518–527.

## REFERENCES

1. Glotova I.A. Rheological characteristics of polyfunctional disperse systems on the basis of collagen animal proteins/ I.A. Glotova, Yu.V. Boltykhov// Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. — 2008. — No. 2. — pp. 43–44.
2. Omarov R.S. Proteins of animal origin in meat product manufacture . R.S. Omarov, O.V. Sycheva, S.N. Shlykov// Meat Industry. — 2011. — No. 3. — pp. 36–38.
3. Nekludov A.D., Ivankin A.N. Collagen: production, properties and use. — M.: GOU VPO MGUL. — 2007. pp. 12.
4. Gomez-Guillen M.C. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources / M.C. Gomez-Guillen, B. Gimenez, M.E. Lopez-Caballero, M.P. Montero // Food Hydrocolloids. — 2011. — №25. — P. 1813–1827.
5. Rizk M. A, Mostafa N. Y. Extraction and Characterization of Collagen from Buffalo Skin for Biomedical Applications. Orient J Chem 2016;32(3).
6. Hashim et al. Collagen in food and beverage industries / P. Hashim, M. S. Mohd Ridzwan, J. Bakar, D. Mat Hashim // International Food Research Journal. — 2015. — V. 22(1). P. 1–8.
7. Zhang Y. General Solution for Stabilizing Triple Helical Collagen. / Y. Zhang, M. Herling, D.M. Chenoweth // J. Am. Chem. Soc. 2016. 138 (31). P. 9751–9754.
8. Smetanina L.B. New directions in canned ham manufacture / L.B. Smetanina, I.G. Anisimova, O.V. Vorobieva // All about meat. — 2007. — No. 5. — pp. 28–31.
9. Lepetit J. Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects // Meat Science. — 2008. — V. 80. — P. 960–967.
10. Zharinov A.I. Thermal treatment of meat products // Meat technologies. — 2011. — No. 1 (97). — pp. 28–33.
11. Postnikov S.I. Modern protein preparations of animal origin for cooked sausage products / S.I. Postnikov, I.V. Ryzhinkova // Meat Industry. — 2009. — No. 11. — pp. 43–45.
12. Mikhailov A.N. Chemistry and physics of skin collagen. M. — 1980. pp. 166–183.
13. Wallace D.G. Multiple denaturational transitions in fibrillar collagen / D.G. Wallace, R.A. Condell, J.W. Donovan, A. Paivinen, W. M. Rhee, S. B. Wade // Biopolymers. — 1986. — № 25 (10). — P. 1875–1893.
14. Latorrea M.E. New recommendations for measuring collagen solubility / M.E. Latorrea, A.L. Lifschitzb, P.P. Purslowc // Meat Science. — 2016. V. 118. P. 78–81.
15. Semenova A.A. Functional properties of animal protein with low pH and prospects for its use in the technology of uncooked smoked sausages / A.A. Semenova, E.K. Tunieva, A.I. Rogatin // All about meat. — 2011. — No.5. — pp. 40–41.
16. Ignatieva N.Yu. Collagen — the main protein of the connective tissue (a review). // Esteticheskaya medicina. — 2005. — Vol. VI. — No. 3. — pp. 247–256.
17. Zaides A.L. Structure of collagen and its changes upon treatments. M. — 1960. — pp. 170–194.
18. Babloyan O.O. Production of glue and gelatin in tanneries / O.O. Babloyan, D. P. Radkevich, N.A. Timokhin // M.: 1972. 174 pages.
19. Sarbon N. M. Effects of different types and concentration of salt on the rheological and thermal properties of sin croaker and shortfin scad skin gelatin / Sarbon N. M., Cheow C. S., Kyaw Z. W., Howell N. K. // International Food Research Journal. — 2014. — V. 21 (1). P. 317–324.
20. Choi S. S. Physicochemical and sensory characteristics of fish gelatin / Choi S. S., Regenstein J. M. // Journal of Food Science. — 2000. — V. 65 (2). P. 194–199.
21. Changdao Mu. Collagen Cryogel Cross-Linked by Dialdehyde Starch / Changdao Mu, Fang Liu, Qingsu Cheng, Hongli Li, Bo Wu, Guangzhao Zhang, Wei Lin // Macromolecular Materials and Engineering. — 2010, V. 295 (2). P. 100–107.
22. Stephan Busche. Collagen based functional proteins. // Fleisch wirtschaft international. — 2011. — №3. P. 48.
23. Semenova A.A. Effect of food animal ingredients on gel forming capacity of kappa-carrageenan / A.A. Semenova, M.V. Trifonov // All about meat. — 2006. — No.4. — pp. 13–14.
24. Ladwig K. M. Effects of Collagen and Alkaline Phosphate on Time of Chopping, Emulsion Stability and Protein Solubility of Fine-Cut Meat Systems / Ladwig K. M., Knipe C. L., Sebranek J. G. // Journal of Food Science. — 1989. V. 54 (3). P. 541–544.
25. Du C. Formation of calcium phosphate/collagen composites through mineralization of collagen matrix / Du C, Cui F. Z., Zhang W., Feng Q. L., Zhu X. D., de Groot K. // Journal of Biomedical Materials Research. — 2000. V. 50 (4). P. 518–527.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Принадлежность к организации**

**Дроздова Надежда Александровна** — кандидат технических наук, научный сотрудник направления «Технология колбас, полуфабрикатов и упаковки» отдела «Научно-прикладных и технологических разработок», Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова  
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: 8-495-676-61-11  
E-mail: drozdova@vniimp.ru

**Насонова Виктория Викторовна** — кандидат технических наук, руководитель направления «Технология колбас, полуфабрикатов и упаковки» отдела «Научно-прикладных и технологических разработок», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова»  
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: 8-495-676-65-51  
E-mail: nasonova@vniimp.ru

**Критерии авторства**

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Поступила 09.08.2016**

**AUTOR INFORMATION**

**Affiliation**

**Drozdova Nadezhda Alexandrovna** — candidate of technical sciences, research scientist of the Direction of Technology of Sausage Products, Semi-Finished Products and Packaging of the Department of Scientific Applied and Technological Developments, The V.M. Gorbato All-Russian Meat Research Institute  
109316, Moscow, Talalikhina str. , 26  
Tel.: 8-495-676-61-11  
E-mail: drozdova@vniimp.ru

**Nasonova Viktoria Viktorovna** — candidate of technical sciences, leading research scientist, the Head of the Direction of Technology of Sausage Products, Semi-Finished Products and Packaging of the Department of Scientific Applied and Technological Developments, The V.M. Gorbato All-Russian Meat Research Institute  
109316, Moscow, Talalikhina str. , 26  
Tel.: 8-495-676-65-51  
E-mail: nasonova@vniimp.ru

**Contribution**

Authors in equal shares are related to writing of the manuscript and equally bear responsibility for plagiarism.

**Conflict of interest**

The authors declares no conflict of interest.

**Received 09.08.2016**

# ASSESSMENT OF RADIATION SAFETY OF CHILLED MEAT USING THE METHOD OF ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE

## ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОХЛАЖДЕННОГО МЯСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Timakova R.T.<sup>1</sup>, Tikhonov S.L.<sup>1</sup>, Tararkov A.N.<sup>2</sup>, Kudryashov L.S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Spektr LLC, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup> The V. M. Gorbатов All-Russian Meat Research Institute, Moscow, Russia

**Ключевые слова:** электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), спектрометр, мясо, метод радиационной стерилизации, спектр, g-фактор

**Keywords:** electron paramagnetic resonance (EPR) spectrometer, meat, method of radiation sterilization, spectrum, g-factor

### Аннотация

В мировой практике активно применяются радиационные технологии обработки пищевых продуктов, при этом в продукции обнаруживаются свободные радикалы. Ученые не приняли окончательного решения о полной безопасности метода радиационной стерилизации, поэтому очень важен контроль облученных пищевых продуктов для выявления факта облучения и определения остаточных явлений. Полученные экспериментальные данные на отечественном спектрометре ЭПР серии Labrador Expert X, разработанным ООО «Спектр» при содействии научного коллектива авторов Института естественных наук УрФУ им. Ельцина Б.Н. свидетельствуют о наличии свободных радикалов в образцах мяса говядины бескостной, что возможно связано с возникновением прижизненных технологических и убойных стрессов у животных. Проведенное в лабораторных условиях облучение образцов мяса кур, позволяет сравнить полученные спектры до и после облучения. Доза облучения мяса птицы составляет 12 кГр. Указанная доза выбрана, исходя из сложившейся практики признания безопасной дозой облучения во многих странах в 10–12 кГр. Установлено, что в диапазоне магнитного поля от 3272 до 3280 Гс присутствует слабый сигнал ЭПР с амплитудой  $7,28 \cdot 10^{-5}$  и  $D$  менее 1. Такой фоновый сигнал может быть объяснен стрессом птицы, особенностями кормления и другими факторами. После облучения дозой 12 кГр сигнал ЭПР усилился в диапазоне магнитного поля от 3273 до 3286 Гс и  $D$  более 1.

Эта технология, или по-другому радипертизация, является промышленной стерилизацией пищевых продуктов для длительного хранения при положительных температурах, исключающих повторное инфицирование микроорганизмами. После облучения наблюдается пятикратное возрастание амплитуды ЭПР сигнала, появляются еще два сигнала с малой амплитудой. Факт облучения/необлучения образцов также подтвержден расчетным путем по ГОСТу Р 52529-2006.

Необходимость продолжения дальнейших исследований мяса и мясopодуlктов методом ЭПР очевидна: для установления факта стерилизации или радиуризации, для определения дозы облучения, для накопления достоверно установленной информации о радиационной чувствительности и для разработки методологической базы использования спектрометра ЭПР.

### Abstract

In the world practice, the radiation technologies for food product processing are extensively used; with that, free radicals are found in products. Scientists have not made a final conclusion about the complete safety of the method of radiation sterilization, so it is very important to control irradiated food products to determine a fact of irradiation and residual effects. The experimental data obtained on the domestic spectrometer EPR series Labrador Expert X, which was developed by Spektr LLC with the assistance of the research team of the authors from the Institute of Natural Sciences of UrFU named after Yeltsin B. N., indicate the presence of free radicals in the samples of boneless beef, which is probably associated with occurrence of ante-mortem technological and slaughter stress in animals. Irradiation of the chicken meat samples carried out in laboratory conditions allows a comparison of the spectra before and after irradiation. The dose of irradiation of poultry was 12 kGy. This dose was selected based on the practice of recognizing the radiation doses of 10-12 kGy as safe, which was established in many countries. It was found that in the range of the magnetic fields from 3272 to 3280 Gs, there was a weak EPR signal with an amplitude of  $7.28 \cdot 10^{-5}$  and  $D$  less than 1. Such a background signal can be explained by stress in the birds, peculiarities of feeding and other factors. After irradiation at a dose of 12 kGy, the ESR signal increased in the range of the magnetic fields from 3273 to 3286 Gs and  $D$  was higher than 1.

This technology or, in other words, radappertization, is an industrial sterilization of food products for long storage at positive temperatures, which precludes re-contamination by microorganisms. After irradiation, the fivefold increase in the amplitude of the ESR signal was observed and two additional signals with small amplitude appeared. The fact of irradiation/absence of irradiation of the samples was also confirmed by calculation according to GOST R 52529-2006.

The need for further research of meat and meat products by the EPR method is obvious: to determine a fact of sterilization or radurization, to determine a radiation dose, to accumulate reliably established information on radiation sensitivity and to develop a methodological base for the use of an EPR spectrometer.

## Введение

Одной из безопасных современных технологий консервирования мяса является ионизирующее облучение [1, 2]. Порча облученного мяса при длительном хранении при плюсовых температурах обусловлена протеолизом белковых макромолекул [3, 4]. По данным некоторых авторов доза радиации, обеспечивающая полную стерилизацию мяса не инактивирует тканевые ферменты [5]. Как повышение дозы облучения, так и ее понижение приводит к негативным последствиям.

В настоящее время одним из направлений современной науки о питании является разработка новых способов исследования безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. К одному из эффективных методов относится электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), который может быть использован не только для фундаментальных исследований различных веществ и процессов в физике, химии, биологии, геологии и других науках, но и, на наш взгляд, имеет прикладной характер для оценки радиационной безопасности пищевой продукции, в том числе мясной.

ЭПР — явление поглощения энергии сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения (9–10 ГГц) веществом, помещенного в магнитное поле, при некотором определенном для данных парамагнитных центров значении индукции магнитного поля. В современных условиях облучение ионизирующими излучениями пищевых продуктов (около 40 видов: специи и сушеные овощи, зерно и фрукты, мясо и рыба, корнеплоды) разрешено в 60 государствах, в частности: в Китае и США (до 70 % от общего количества центров для облучения пищевых продуктов), Индии, Германии, Франции, ЮАР, Бразилии, Индонезии, Мексике, Чили, Бельгии, Испании, Вьетнаме, Таиланде, Бангладеш, Англии, Перу. За рубежом метод радиационной стерилизации мяса птицы начали осваивать с 1992 года, а охлажденного и замороженного красного мяса (говядина, баранина, свинина) с 1999 года.

Проблемам облучения мяса и мясopодуKтов посвящены труды отечественных ученых: В.В. Светличного, А.М. Смирнова, А.С. Лескова, Ю.Г. Костенко, Л.П. Поляковой и др. Исследованиями ученых было установлено, что при передозировке уровня облучения в мясе на кости могут образовываться свободные радикалы и радиотоксины [3, 4]. С.М. Орехова и А.П. Нечипоренко предложили гибридный метод радиационного консервирования измельченной мышечной ткани свинины, сочетающий облучение электронным пучком в режимах радиуризации и обработку 40 % раствором этанола. Комплексное использование двух стерилизующих агентов и аскорбиновой кислоты в качестве антиоксиданта позволяет продлить срок анаэробного хранения мясopодуKтов при низких положительных температурах (плюс 4 °C) в 5–6 раз с сохранением качества по всем органолептическим и микробиологическим показателям [6].

## Introduction

One of safe modern technologies of meat preservation is ionizing radiation [1,2]. Spoilage of irradiated meat during prolonged storage at temperatures above zero is determined by proteolysis of the protein macromolecules [3,4]. According to data of several authors, the radiation dose that ensures complete sterilization of meat does not inactivate tissue enzymes [5]. Both an increase and decrease in a dose of irradiation lead to negative consequences.

At present, one of the areas of modern science of nutrition is the development of new methods for investigation of safety of food raw materials and food products. One of the most effective methods is electron paramagnetic resonance (EPR), which can be used not only for fundamental studies of various substances and processes in physics, chemistry, biology, geology and other sciences, but, in our opinion, is applicable to assessment of radiation safety of food products, including meat.

EPR is a phenomenon of energy absorption of microwave (MW) radiation (9-10 GHz) by a substance placed in a magnetic field at some value of the magnetic field induction determined for specific paramagnetic centers. Under current conditions, an exposure of food products to ionizing radiation (about 40 types of spices and dried vegetables, grain and fruit, meat and fish, root vegetables) are allowed in 60 countries, particularly in China and the USA (up to 70 % of the total number of centers for food irradiation), India, Germany, France, South Africa, Brazil, Indonesia, Mexico, Chile, Belgium, Spain, Vietnam, Thailand, Bangladesh, England and Peru. The foreign countries have begun to develop the method of radiation sterilization of poultry meat since 1992, chilled and frozen red meat (beef, lamb, pork) since 1999.

The problems of irradiation of meat and meat products were examined in the works of Russian scientists (V.V. Svetlichnyi, A.M. Smirnov, A.S. Leskova, Yu.G. Kostenko, L.P. Polyakova and others). The research carried out by the scientists demonstrated that free radicals and radiotoxins can be formed when the level of irradiation of bone-in meat is overdosed [3, 4]. С.М. Orekhova and А.Р. Nechiporenko proposed a hybrid method for radiation preservation of minced pork muscle tissue, which is a combination of irradiation by the electron beam in the regimes of radurization and treatment with 40 % ethanol solution. The combined use of two sterilizing agents and ascorbic acid as an antioxidant can extend the duration of anaerobic storage of meat at a low positive temperature (+4 °C) by 5–6 times while maintaining quality in terms of all organoleptic and microbiological indicators [6].

А.С. Казиахмедов, проводя экспериментальные исследования по обработке мяса цыплят-бройлеров ионизирующим излучением, установил, что для увеличения сроков хранения мяса цыплят-бройлеров рекомендуется стерилизация ионизирующим излучением в дозах 2,5 и 6 кГр; мясо, облученное ионизирующим излучением в указанных дозах допускается использовать на пищевые цели без ограничения [7].

В 2011 году был принят основополагающий международный стандарт ISO 14470:2011, целью которого является обеспечение требований по облучению пищевых продуктов в соответствии с действующими нормами и практикой; обеспечение направлений технического соглашения между клиентом и оператором по облучению; создание системы документации для поддержки управления на процесс облучения продуктов питания.

Следует отметить, что в разных странах мира максимально допустимая доза облучения продуктов питания различная, так в США она составляет 30 кГр, в Бельгии и Голландии — 10 кГр, во Франции — 11 кГр. В России эта величина в настоящее время не регламентируется. Вместе с тем отсутствует целостная картина — насколько «вредны» те или иные облученные пищевые продукты и сырье, каковы последствия для организма человека при постоянном употреблении в пищу облученных пищевых продуктов. В 1959 году «Journal of Nutrition» сообщил об исследовании, проводившемся по заказу Главного хирурга армии США. В этом эксперименте крысы, которых кормили облученной говядиной, прожили не более 34 дней. Они также все погибли от внутреннего кровоизлияния. В отчете FDA за 1968 год указывалось, что многие крысы, которых кормили облученной говядиной погибали от внутреннего кровоизлияния в течение 46 дней.

Ученые сомневаются и окончательно не приняли решение о полной (безусловной) безопасности метода радиационной стерилизации. Свободные радикалы обладают очень высокой химической активностью. Имеются данные о высоком риске возникновения онкологических заболеваний. Поэтому, очень важен анализ и контроль облученных пищевых продуктов и пищевого сырья на регулярной основе для выявления факта облучения и определения остаточных явлений.

В начале 90-х годов за рубежом был принят ряд стандартов по подготовке образцов, условиям проведения измерений и однозначной идентификации облученных пищевых продуктов с применением метода ЭПР, одобренный Всемирной организацией здравоохранения, но только при условии жесткого контроля за облученными пищевыми продуктами. Россия значительно отстала от общемировой тенденции и находится на начальной стадии формирования рынка пищевых продуктов, обработанных с помощью использования радиационных технологий. Существенной проблемой

A. S. Kaziakhmedov found in the experimental research on treatment of broiler chicken meat by ionizing radiation that sterilization by ionizing radiation in doses of 2.5 and 6 kGy is recommended for increasing shelf life of broiler chicken meat. It is permitted to use meat subjected to ionizing radiation at the indicated doses for food purposes without restrictions [7].

In 2011, the fundamental International Standard ISO 14470:2011 was adopted, which purpose is to ensure the requirements for food irradiation in accordance with the applicable norms and practices; provide directions for a technical agreement between a customer and an operator of radiation treatment; establish a documentation system to support operation of the food irradiation process.

It should be noted that in different countries of the world, the maximum allowable dose for food irradiation is different; for example, it is 30 kGy in the US, 10 kGy in Belgium and the Netherlands, 11 kGy in France. In Russia, this value is currently not regulated. In addition, there is no holistic picture of how «hazardous» are certain irradiated food products and raw materials, what are the consequences for a human body at a constant consumption of irradiated food. In 1959, «Journal of Nutrition» reported on a study that was commissioned by the Surgeon General of the U.S. Army. In this experiment, rats that were fed irradiated beef lived not more than 34 days. They also all died of internal bleeding. The FDA report for 1968 indicated that many rats that were fed irradiated beef died of internal hemorrhage within 46 days.

Scientists are in doubt and have not made a final conclusion on the complete (unconditional) safety of the method of radiation sterilization. Free radicals have a very high chemical activity. There are data on a high risk of cancer. Therefore, it is very important to analyze and control irradiated food products and food raw materials on a regular basis to determine a fact of irradiation and residual effects.

In the early 1990s, foreign countries adopted a number of standards for sample preparation, conditions of measurement and unequivocal identification of irradiated food with the use of the ESR method, which was endorsed by the World Health Organization, but only under conditions of strict control of irradiated food. Russia has significantly lagged behind the global trends and is at the initial stage of formation of the market of food products processed using radiation technologies. A significant problem is the

является неактуальная нормативно-правовая база, а также частичное или полное отсутствие необходимых стандартов для облучения определенных пищевых продуктов и пищевого сырья.

Так, в законодательной базе России отсутствуют разделы об облучении пищевого сырья и продуктов питания. Статья 1 Закона «О качестве и безопасности пищевых продуктов» безопасность пищевых продуктов трактует как «состояние обоснованной уверенности в том, что пищевые продукты при обычных условиях их использования не являются вредными и не представляют опасности для здоровья нынешнего и будущих поколений» [8]; в доктрине «О продовольственной безопасности Российской Федерации» сказано, что одной из задач обеспечения продовольственной безопасности является обеспечение безопасности пищевых продуктов, а для формирования здорового типа питания населения страны потребуются развитие фундаментальных и прикладных научных исследований по медико-биологической оценке безопасности новых источников пищи и ингредиентов [9]. В Техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» безопасность пищевой продукции определяется как «состояние пищевой продукции, свидетельствующие об отсутствии недопустимого риска, связанного с вредным воздействием на человека и будущие поколения» [10].

Для оценки радиационной безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов страны используются спектрометры ЭПР, отличающиеся своим характеристиками. Della Wai-mei Sin, Yiu-chung Wong, Michael Wai-yin Yao, Eric Marchioni применяли ЭПР для обнаружения факта облучения в костях сельскохозяйственных животных и птицы, рыбы и раковины моллюска [11].

Мировой рынок спектрометров, основанных на явлении электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), сегодня поделен между немецкими и японскими производителями. Всемирно известная компания Bruker предлагает разнообразные спектрометры ЭПР, в том числе и портативный ЭПР спектрометр X-диапазона e-Scan, предназначенный для использования в медицине и фармакологии.

Интеграция России в мировую практику использования облученных пищевых продуктов и пищевого сырья продолжается и в соответствии с решениями по итогам заседания президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию от 11 декабря 2014 года поставлена глобальная задача по внедрению радиационной обработки сельскохозяйственного сырья и готовой продукции в агропромышленное производство. Согласно последним данным, к 2017 году в Российской Федерации будет внедрена современная технология облучения продуктов с целью продления срока их годности.

outdated regulatory framework, and partial or complete absence of necessary standards for irradiation of specific food products and food raw materials. For example, in the Russian legislation, there are no sections about irradiation of food raw materials and food products. Article 1 of the Law «On food quality and safety» defines food safety as «the condition of reasonable confidence that food products under usual conditions of their use are not harmful and do not pose any hazard to the health of present and future generations» [8]; the Food Security Doctrine of the Russian Federation says that one of the objectives of food security is safety of food products, and formation of a healthy type of nutrition of the country's population will require the development of the fundamental and applied research on the medical and biological safety assessment of new food sources and ingredients [9]. In the Technical Regulations of the Customs Union TR TC 021/2011 «On Food Safety», food safety is defined as «the state of food products that indicate no unacceptable risk associated with the harmful effects on humans and future generations» [10].

To evaluate the radiation safety of food raw materials and food products in the country, the EPR spectrometers with different characteristics are used. Della Wai-mei Sin, Yiu-chung Wong, Michael Wai-yin Yao, Eric Marchioni used EPR to detect the fact of irradiation in the bones of farm animals and poultry, fish and mollusk shells [11].

Today, the world market for spectrometers, which are based on the phenomenon of electron paramagnetic resonance (EPR), is divided between the German and Japanese manufacturers. The world famous company, Bruker, offers various EPR spectrometers, including the portable X-band EPR spectrometer, e-Scan, for the use in medicine and pharmacology.

Integration of Russia into the global practice of using irradiated food products and food raw materials continues. In accordance with the decisions following the meeting of the Presidium of the Council under the Russian President for Economic Modernization and Innovative Development of 11 December 2014, the global task was set to introduce radiation processing of agricultural raw materials and finished products in the agro-industrial production. According to the latest data, the modern technology of food irradiation for shelf life extension will be introduced in the Russian Federation by 2017.

В связи с этим своевременными и актуальными являются исследования, направленные на внедрение современных методов оценки безопасности охлажденного мяса, в частности методом ЭПР.

### Материалы и методы

В г. Екатеринбурге инженерами и программистами ООО «Спектр» при содействии научного коллектива авторов Института естественных наук УрФУ им. Ельцина Б.Н. разработан портативный автоматизированный спектрометр ЭПР серии Labrador Expert X-диапазона (длина волны 3 см), предназначенный для прямой регистрации параметров спектров ЭПР веществ, имеющих в своем составе свободные радикалы, что позволяет осуществлять радиобиологический контроль веществ (рис. 1).

Общие технические характеристики спектрометра ЭПР приведены в таблице 1.

**Table 1. General technical characteristics of the EPR spectrometer**  
Табл. 1. Общие технические характеристики спектрометра ЭПР

Type of spectrometer   Тип спектрометра	X-band spectrometer   спектрометр X-диапазона
Sensitivity, spins/0.1 mT, not more   Чувствительность, спин/0,1 мТл, не более	5 × 1010
Frequency of signal channel of microwave, GHz   Частота сигнального канала СВЧ, ГГц	9.2
Maximum power of microwave, mW   Максимальная мощность СВЧ, мВт	50
Induction of constant magnetic field, Tl   Индукция постоянного магнитного поля, Тл	0.328 ± 0.03
Absolute error of magnetic field, mTl, not more   Абсолютная погрешность магнитного поля, мТл, не более	0.05

Целью настоящих исследований является изучение возможности использования спектрометра ЭПР для проведения радиобиологического контроля мяса. Хотя в России официально пищевая продукция не облучается и, соответственно, отсутствует информация о факте облучения, нельзя с достоверностью сказать, что продукция, поступающая из-за пределов России, не прошла радиационную стерилизацию или могла быть поставлена из неблагополучных в радиационной отношении районов.

Метод электронного парамагнитного резонанса по ГОСТу 52529-2006 применяется для выявления факта облучения мяса, содержащих костную ткань. Нами был расширен диапазон исследуемых образцов, т.е. к исследованию были отобраны также и образцы бескостного мяса.

Для эксперимента отобраны образцы: охлажденное мясо говядины (лопаточный отруб), бедренная часть мяса кур. Эксперимент проводился по 2-м направлениям: установка самого факта радиационной стерилизации представленных образцов (мясо) и ра-

In this regard, the studies aimed at the introduction of modern methods of evaluation of chilled meat safety, in particular by EPR, are timely and relevant.

### Materials and methods

In Ekaterinburg, the engineers and programmers of Spektr LLC with the assistance of the research team of the authors from the Institute of Natural Sciences of UrFU named after Yeltsin B. N. have developed a portable automated EPR spectrometer of the series Labrador Expert X-band (wavelength: 3 cm), designed to directly record the parameters of the ESR spectra of the substances that have free radicals in their composition, which allows the radiobiological control of substances (Fig. 1).

General technical characteristics of the EPR spectrometer are given in Table 1.



**Figure 1. Appearance of the EPR spectrometer**  
Рис. 1. Внешний вид спектрометра ЭПР

The purpose of this research is to study the possibility of using an EPR spectrometer for radiobiological control of meat. Although, in Russia, food products officially are not irradiated and, therefore, there is no information about the facts of irradiation, it is impossible to say with certainty that products coming from outside into Russia, were not subjected to radiation sterilization, or could have been supplied from disadvantaged areas in terms of radiation.

According to GOST 52529-2006, the method of electron paramagnetic resonance is used to determine the fact of irradiation of meat containing the bone tissue. We have extended the range of test samples (i.e., the samples of boneless meat were also selected for the study).

For the experiment, the following samples were selected: chilled beef (shoulder cut) and the thigh part of chicken. The experiment was conducted in 2 directions: establishing the fact of radiation sterilization of the submitted samples (meat) and radiobiological monitoring of the poultry meat samples before and after irradiation according to GOST R 52529-2006 « Meat and meat products.

диобиологический контроль образцов мяса птицы до облучения и после проведенного облучения согласно ГОСТ Р 52529-2006. «Мясо и мясные продукты. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных мяса и мясopодуKтов, содержащих костную ткань».

Облучение проводилось в новом ускорителе при поддержке Центра радиационной стерилизации Уральского Федерального университета.

Для сравнения сигналов использовался контрольный образец (высокостабильный эталон): мера количества парамагнитных центров (КПЦ) на основе оксида марганца. Исследования проводились в десятикратной повторности при частоте СВЧ, приближенной к 9200 МГц; в разных диапазонах магнитного поля (с центром в 3280 Гс); с изменяющимися временем преобразования, амплитудой модуляции и коэффициентом усиления. Мощность СВЧ устанавливалась в диапазоне 4–8 дБм путем апробации для нормализации показателя — сигнал/шум.

### Результаты и обсуждение

Установление факта облучения образца мяса (D) проводили расчетным путем по ГОСТу Р 52529-2006, в результате чего было выявлено, что факт облучения — D меньше 1. Проведенными исследованиями не подтвержден факт облучения образца мяса говядины, факт облучения подтверждается при выполнении условия: D больше 1. В образцах говядины в диапазоне магнитного поля от 3260 до 3290 Гс присутствует незначительный сигнал ЭПР с амплитудой  $4,09 \cdot 10^{-5}$  (g-фактор = 2,0066) (рис. 2), который свидетельствует о наличии свободных радикалов, что возможно связано с возникновением прижизненных технологических и убойных стрессов у животных.

В ходе эксперимента для анализа возможностей спектрометра проводилось сравнение спектров для необлученных и облученных образцов мяса кур (рис. 3). Доза облучения мяса птицы составляет 12 кГр.

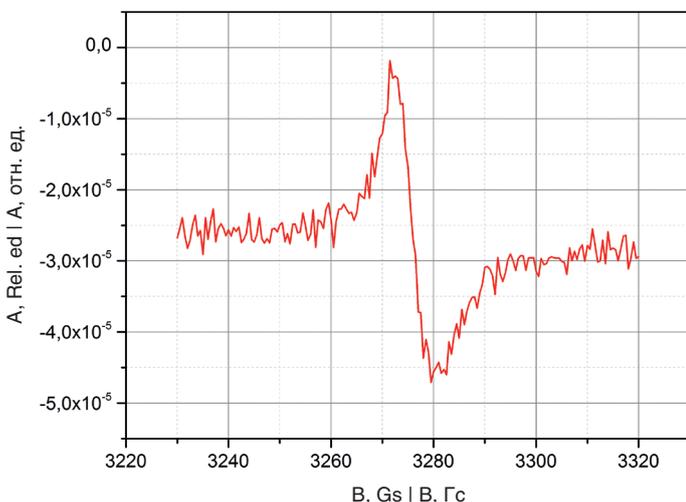


Figure 2. Spectrum of boneless beef  
Рис. 2. Спектр говядины бескостной

Method of electron paramagnetic resonance for indication of radiation-treated meat and meat products containing bones.»

Irradiation was carried out in the new accelerator with the support of the Center for Radiation Sterilization of the Ural Federal University.

For comparison of the signals, the control sample (highly stable reference) was used: a measure of the number of the paramagnetic centers (DPC) on the basis of manganese oxide. The studies were conducted in ten replicates at a frequency of the microwave close to 9200 MHz; in different ranges of the magnetic field (3280 Gs field center); variable time conversion, modulation amplitude and gain. The power of the microwave was set in the range of 4-8 dBm by testing for normalization of the indicator signal/noise.

### Results and discussion

The fact of irradiation of the meat samples (D) was determined by the calculative method according to GOST R 52529-2006; as a result, it was revealed that the fact of irradiation (D) was less than 1. The performed analysis did not confirm the fact of irradiation of beef samples; the fact of irradiation is confirmed by the condition: D is higher than 1. In the beef samples, there was a minor EPR signal with an amplitude of  $4.09 \cdot 10^{-5}$  (g-factor = 2.0066) in the range of the magnetic fields from 3260 to 3290 Gs (Fig. 2), which indicated the presence of free radicals probably associated with occurrence of ante-mortem technological and slaughter stress in animals.

In the course of the experiment, the spectra of the non-irradiated and irradiated samples of chicken meat were compared to analyze the capabilities of the spectrometer (Fig. 3). The radiation dose for poultry was 12 kGy.

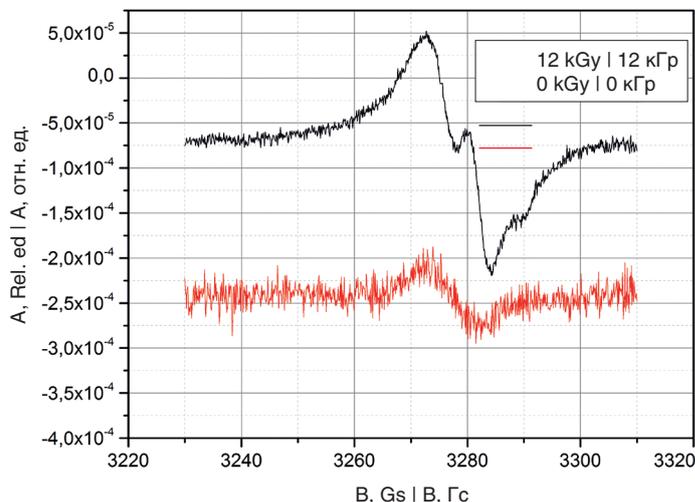


Figure 3. Spectrum of chicken meat before and after irradiation  
Рис. 3. Спектр мяса кур до и после облучения

Указанная доза выбрана, исходя из сложившейся практики признания безопасной дозой облучения во многих странах в 10–12 кГр. Эта технология, или по-другому радаппертизация, является промышленной стерилизацией пищевых продуктов для длительного хранения в обычных условиях, исключающих повторное инфицирование микроорганизмами.

При измерении ЭПР спектра в диапазоне магнитного поля от 3250 до 3300 Гс присутствует слабый сигнал ЭПР с амплитудой  $7,28 \cdot 10^{-5}$  и g-фактором 2,0054 шириной 10 Гс; расчетным путем установлено, что D меньше 1 (по ГОСТу Р 52529-2006). Такой фоновый сигнал может быть объяснен стрессом птицы, особенностями кормления и другими факторами. После облучения дозой 12 кГр наблюдается пятикратное возрастание амплитуды ЭПР сигнала, ширина увеличивается до 12 Гс, g-фактор становится равным  $g = 2,0045$ , появляются еще два сигнала с малой амплитудой и шириной 2 Гс, с  $g^1 = 2,004$   $g^2 = 1,998$ . Факт облучения также подтверждается расчетным путем: D больше 1.

### Выводы

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что ЭПР Labrador Expert, разработанный специалистами ООО «Спектр», возможно использовать для определения радиационной безопасности мяса. В результате проведенных исследований не подтвержден факт облучения образца мяса говядины. Незначительный сигнал ЭПР с амплитудой  $4,09 \cdot 10^{-5}$  (g-фактор = 2,0066) свидетельствует о наличии свободных радикалов, что возможно связано с возникновением прижизненных технологических и убойных стрессов у животных. Установлено, что облученные образцы мяса птицы (доза 12кГр) дают ярко выраженный спектр на спектрометре ЭПР, отличный по амплитуде от исходных необлученных образцов. В диапазоне магнитного поля от 3250 до 3300 Гс присутствует слабый сигнал с амплитудой  $7,28 \cdot 10^{-5}$  и g-фактором 2,0054 шириной 10 Гс. Такой фоновый сигнал может быть объяснен стрессом птицы, особенностями кормления и другими факторами. После облучения дозой 12 кГр наблюдается пятикратное возрастание амплитуды ЭПР сигнала, ширина увеличивается до 12 Гс, g-фактор становится равным  $g = 2,0045$ , появляются еще два сигнала с малой амплитудой и шириной 2 Гс, с  $g^1 = 2,004$   $g^2 = 1,998$ . Факт облучения/ необлучения образцов также подтвержден расчетным путем по ГОСТу Р 52529-2006.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать заключение, что метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) является перспективным для осуществления контроля безопасности облученного мясного сырья. Продолжение исследований мяса и мясопродуктов методом ЭПР обусловлено необходимостью как для установления факта стерилизации (радуризации/ радисидации) отсутствия облучения, а также

This dose was selected based on the practice of recognizing the radiation doses of 10–12 kGy as safe, which was established in many countries. This technology or, in other words, radappertization, is an industrial sterilization of food products for long-term storage under normal conditions precluding re-contamination by microorganisms.

When measuring the EPR spectrum in the magnetic field range from 3250 to 3300 GS, it was found that there was a weak EPR signal with an amplitude of  $7.28 \cdot 10^{-5}$  and g-factor of 2.0054 and a width of 10 Gs; it was established by calculation that D was less than 1 (according to GOST R 52529-2006). This background signal can be explained by stress in the birds, peculiarities of feeding and other factors. After irradiation with a dose of 12 kGy, a five-fold increase in the amplitude of the ESR signal was observed, the width increased to 12 Gs, g-factor became  $g = 2.0045$ ; two additional signals having a small amplitude and a width of 2 Gs, with  $g^1 = 2.004$  and  $g^2 = 1.998$  appeared. The fact of irradiation was also confirmed by calculation: D was higher than 1.

### Conclusions

The obtained experimental data show that the EPR Labrador Expert, which was developed by the specialists of Spektr LLC, may be used to determine radiation safety of meat. As a result of the study, the fact of irradiation of the beef samples was not confirmed. The minor EPR signal with an amplitude of  $4.09 \cdot 10^{-5}$  (g-factor = 2.0066) indicates the presence of free radicals, which is probably associated with occurrence of ante-mortem technological and slaughter stress in animals. It was established that the irradiated samples of poultry meat (a dose of 12 kGr) gave a pronounced spectrum on an EPR spectrometer, which had a different amplitude compared to the original non-irradiated samples. In the range of the magnetic fields from 3250 to 3300 Gs, there was a weak signal with an amplitude of  $7.28 \cdot 10^{-5}$  and g-factor of 2.0054 and a width of 10 Gs. This background signal can be explained by stress in the birds, peculiarities of feeding and other factors. After irradiation with a dose of 12 kGy, a five-fold increase in the amplitude of the ESR signal was observed, the width increased to 12 Gs, g-factor became  $g = 2.0045$ ; two additional signals having a small amplitude and a width of 2 Gs, with  $g^1 = 2.004$  and  $g^2 = 1.998$  appeared. The fact of irradiation/ absence of irradiation of the samples was also confirmed by calculation according to GOST R 52529-2006.

Based on the foregoing, we can conclude that the method of electron paramagnetic resonance (EPR) is promising for implementation of safety control of irradiated meat raw material. The further research of meat and meat products by EPR is conditioned by the need to establish the fact of sterilization (radurization/ radicidation) or the absence of

для определения уровня облучения, для накопления достоверно установленной информации о радиационной чувствительности с учетом условий выращивания и откорма, наличия стресса, и других факторов и, соответственно, разработки методологической базы использования спектрометра ЭПР, а также для изучения влияния доз облучения на сроки хранения и качество мяса и мясопродуктов.

irradiation, and to determine the level of exposure to accumulate reliably established information on radiation sensitivity with regard to the conditions of growing and fattening, stress, and other factors and, accordingly, to develop a methodological base for the use of an EPR spectrometer, as well as to study the effects of radiation doses on shelf life and quality of meat and meat products.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fan X., Sommers C.H. Food Irradiation Research and Technology. — NY.: WileyBlackwell. — 2012. — P. 472.
2. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. — М.: Весь Мир. — 2007. — С. 21.
3. Костенко Ю.Г., Шурдуба Н.А., Шагова Т.С., Телегина М.Д., Филатов В.И. Применение ионизирующих излучений для улучшения санитарно-микробиологических показателей мяса и мясных продуктов. — М.: Мясомолочная промышленность. — 1992. — С. 32.
4. Чиж Т.В., Козьмин Г.В., Полякова Л.П., Мельникова Т.В. Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности. // Вестник Российской Академии. Естественных наук. — 2011. — № 4. — С. 44–49.
5. Kim B.H., Jang A., Lee S.O., Min J.S., Lee M. Combined effect of electron beam (beta) irradiation and organic acids on shelf life of pork loins during cold storage. // J. Food Prot. — 2004. — V. 67, № 1. — P. 168–171.
6. Орехова С.М., Нечипоренко А.П. Радуризация мышечной ткани свинины. // НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». — 2014. — № 1. — С. 273–283.
7. Казиахмедов А. С. Ветеринарно-санитарная оценка качества и безопасности мяса цыплят-бройлеров при обработке ионизирующим излучением: автореферат дис... канд. вет. наук — М.: МГУПП, 2012. — С. 22.
8. О качестве и безопасности пищевых продуктов. Закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ (в ред. от 13.07.2015.) / URL: <https://gov.garant.ru> (дата обращения: 09.08.2016).
9. О продовольственной безопасности Российской Федерации. Доктрина, утв. указом Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. № 120 / URL: <https://gov.garant.ru> (дата обращения: 10.08.2016).
10. О безопасности пищевой продукции. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011/ URL: <http://www.tsouz.ru> (дата обращения: 11.08.2016).
11. Della Wai-mei Sin, Yiu-chung Wong, Wai-yin Yao M., Marchionni E. Identification and stability study of irradiated chicken, pork, beef, lamb, fish and mollusks shells by electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy / D. W. M. Sin [et al.] // European Food Research and Technology. — 2005. — № 221. — P. 684–691.

## REFERENCES

1. Fan X., Sommers C.H. Food Irradiation Research and Technology. — NY.: Wiley Blackwell. — 2012. — P. 472.
2. Codex Alimentarius. Irradiated food. Cooperative programme of FAO/WHO for food standards. — M.: VES MIR. — 2007. — P. 21.
3. Kostenko Yu. G., Shurduba N. A. Shagova T. S., Telegina, M. D., Filatov, V. I. Application of ionizing radiation to improve the sanitary-microbiological parameters of meat and meat products. — M.: Meat and Dairy Industry. — 1992. — P. 32.
4. Chyzh T. V., Koz'min G. V., Polyakova L. P., Melnikova T. V. Radiation treatment as a technological method to improve the level of food safety. // Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. — 2011. — №. 4. — P. 44–49.
5. Kim B.H., Jang A., Lee S.O., Min J.S., Lee M. Combined effect of electron beam (beta) irradiation and organic acids on shelf life of pork loins during cold storage. // J. Food Prot. — 2004. — V. 67, № 1. — P. 168–171.
6. Orekhova S. M., Nechiporenko A. P. Radurization of muscle tissue of pork. // NIU ITMO. A series of «Processes and apparatus of food production». — 2014. — №. 1. — P. 273–283.
7. Kaziakhmedov A. S. Veterinary-sanitary assessment of the quality and safety of meat of broiler chickens in the processing of ionizing radiation: abstract of thesis... Cand.vet.Sciences — Moscow: MGUPP, 2012. — P. 22.
8. On food quality and safety. The law of 02.01.2000 No. 29-FZ (as amended on 13.07.2015.) / URL: <https://gov.garant.ru> (date of access: 09.08.2016).
9. Food Security Doctrine of the Russian Federation approved by the decree of the President of the Russian Federation No. 120 of January 30, 2010 / URL: <https://gov.garant.ru> (date of access: 10.08.2016).
10. On Food Safety. Technical regulations of the Customs Union TR CU 021/2011/ URL: <http://www.tsouz.EN> (date of access: 11.08.2016).
11. Della Wai-mei Sin, Yiu-chung Wong, Wai-yin Yao M., Marchionni E. Identification and stability study of irradiated chicken, pork, beef, lamb, fish and mollusks shells by electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy / D. W. M. Sin [et al.] // European Food Research and Technology. — 2005. — № 221. — P. 684–691.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## Принадлежность к организации

**Тимакова Роза Темерьяновна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры туристического бизнеса и гостеприимства Института торговли, пищевых технологий и сервиса Уральского государственного экономического университета  
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/ул. Народной воли, д. 62/45  
Тел.: 8-912-247-99-74  
E-mail: trt64@mail.ru

**Тихонов Сергей Леонидович** — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Пищевая инженерия» Института торговли, пищевых технологий и сервиса Уральского государственного экономического университета  
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/ул. Народной воли, д. 62/45  
Тел.: 8-912-227-69-89  
E-mail: tihonov75@bk.ru

**Тарарков Андрей Николаевич** — директор ООО «Спектр» 620075, Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 145  
Тел.: 8-912-246-34-15  
E-mail: fic2000@mail.ru

**Кудряшов Леонид Сергеевич** — главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова.  
109316, Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: 8-903-627-33-06  
E-mail: lskudryashov@yandex.ru

## Критерии авторства

Тимакова Р. Т. провела обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, написала рукопись, корректировала ее до подачи в редакцию, несет ответственность за плагиат.

Тихонов С. Л. предложил методику проведения эксперимента.

Кудряшов Л. С. корректировал и дополнял рукопись до момента подачи в редакцию.

Тарарков А. Н. организовал проведение испытаний.

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

Ответственность за работу и предоставленные сведения несут все авторы.

Все авторы в равной степени участвовали в этой работе.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 01.09.2016

## AUTOR INFORMATION

## Affiliation

**Timakova Roza Temer'yanovna** — candidate of agricultural sciences, associate Professor of the Department of Tourism and Hospitality, Institute of Trade, Food Technologies and Service, Ural State University of Economics  
620144, Ekaterinburg, 8-th Marta Str./Narodnoyvoli str., 62/45  
Tel.: 8-912-247-99-74  
E-mail: trt64@mail.ru

**Tikhonov Sergey Leonidovich** — doctor of technical sciences, associate Professor, head of Department of Food Engineering, Institute of Trade, Food Technologies and Service, Ural State University of Economics  
620144, Ekaterinburg, 8-th Marta str./ Narodnoyvoli str., 62/45  
Tel.: 8-912-227-69-89  
E-mail: tihonov75@bk.ru

**Tararkov Andrei Nicolaevich** — director of Spektr LLC 620075, Ekaterinburg, Mamin-Sibiryakstr., 145  
Tel.: 8-912-246-34-15  
E-mail: fic2000@mail.ru

**Kudryashov Leonid Sergeevich** — chief researcher, The V.M. Gorbato All-Russian Meat Research Institute.  
109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: 8-903-627-33-06  
E-mail: lskudryashov@yandex.ru

## Contribution

Timakova R. T. conducted a review of the literature on an investigated problem, carried out the experiment, wrote the manuscript, corrected it before submission to the editor, is responsible for the plagiarism.

Tikhonov S. L. proposed the methodology of the experiment.

Kudryashov L. S. corrected and supplemented the manuscript before submitting to the editor.

Tararkov A. N. organized testing.

The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for the plagiarism.

Responsibility for the work and information are all authors.

All authors equally participated in this work.

## Conflict of interest

The authors declares no conflict of interest.

Received 01.09.2016

# CALCULATION OF PERFORMANCE FOR MECHANICAL DEBONING SCREW PRESSES CONSIDERING COUNTERPRESSURE

## РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШНЕКОВЫХ ПРЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБВАЛКИ С УЧЕТОМ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ

Ostroukh A.S., Abaldova V.A.

All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry – Branch of the Federal Scientific Center «All-Russian Research and Technological Poultry Institute» of Russian Academy of Sciences

**Ключевые слова:** шнек, пресс, механическая обвалка мяса, эмпирическая формула, давление, противодействие.

**Keywords:** screw, press, mechanical deboning meat, empirical formula, pressure, counterpressure.

### Аннотация

В статье представлен анализ и формализация существующих методов расчета производительности различных видов оборудования, для механической обработки сырья со шнековым рабочим органом (волчки, мешалки, насосы). Отмечается, что данные методы не учитывают наличия противодействия на выходе, где наблюдается обратный поток обрабатываемого сырья, поэтому расчет производительности, например, волчков и насосов производят упрощенно за счет использования одного эмпирического коэффициента, связывающего конструктивные параметры, структурно-механические характеристики сырья и величину противодействия с производительностью.

Показано, что существующие методики расчетов производительности разрабатывались для гомогенной среды, с использованием ньютоновской изотермической модели и их согласование с экспериментальными данными производилось путем введения соответствующих эмпирических коэффициентов. Эти рекомендации широко используются, однако они не позволяют производить расчет производительности с учетом противодействия.

Исследование проведено математическим путем на базе методики, в которой за основу принят прием «развертывания винтового канала» в виде прямоугольника, накрытого пластиной (стенкой камеры рабочего цилиндра) и движущегося с постоянной скоростью. Главное внимание обращается на принятое условие, что канал шнека выполнен в виде прямоугольника, одна из сторон которого равна глубине нарезки, а вторая сторона равна шагу нарезки.

Разработано уравнение, связывающее объемную производительность с геометрическими параметрами шнека, формула определения объемной производительности обратного движения массы и уравнение, связывающее фактическую производительность шнека с его геометрическими параметрами, частотой вращения, противодействием и реологическими характеристиками подаваемого сырья. Рассчитана величина потери производительности шнекового пресса при обратном потоке мяса через щель. Впервые разработан метод расчета производительности шнековых прессов механической обвалки, позволяющий учитывать влияние зазоров между гребнем шнека и корпусом, а также зазоров «гильза-шнек» на величину потерь производительности оборудования.

### Abstract

The article presents an analysis and formalization of existing methods for calculating the performance of different equipment for mechanical processing of raw materials with screw working body (grinders, mixers, pumps). It is noted that these methods do not consider the presence of counterpressure at the exit, where the reverse flow of the processed raw material is observed. Thus, the calculation of performance (e.g. grinders and pumps) is carried out more simply through the use of single empirical coefficient linking the design parameters, structural and mechanical properties of raw materials and the value of counterpressure with performance.

It is shown that the existing calculation methods are developed for a homogeneous medium using Newtonian isothermal models and that their adjustment to experimental data was carried out by introducing the relevant empirical coefficients. These recommendations are widely used, but they do not allow the calculation of performance based on the counterpressure.

The study was conducted mathematically by the method based on the technique of «deployment of the screw channel» in the form of a rectangle covered by plate (wall of the working cylinder) and moving at a constant speed. The main attention is drawn to the assumption that the screw channel has the form of a rectangle, one side of which is equal to the depth of thread and the second side is equal to the pitch of thread.

The equation linking volumetric performance with the geometric parameters of the screw, the formula for determining the volumetric performance of the reverse flow and the equation linking the actual performance of the screw with its geometrical parameters, rotation speed, counterpressure and the rheological characteristics of raw materials are developed. The value of performance loss for the screw press is calculated considering reverse flow of meat through the gap. For the first time, a method for calculating the performance of mechanical deboning screw presses is developed allowing to consider the effect of the gaps between the tip of the screw and the chamber, as well as the effect of «sleeve-screw» gaps on the value of the performance loss.

## Введение

Механическую обвалку мяса птицы на птицеперерабатывающих предприятиях проводят с использованием различных типов оборудования: гидравлических установок, барабана с гибкой лентой, шнековых прессов [1]. Наибольшее распространение получили установки для обвалки, основным рабочим органом которых является шнек, выполненный в виде единого блока, состоящего из двух зон: питающей (подающей) и сепарирующей. Питающая зона шнека обеспечивает захват, транспортировку и подпрессовку сырья, сепарирующая часть — обеспечивает создание высокого давления, благодаря чему происходит выделение мясной массы через отверстия гильзы (втулки).

Оставшаяся после сепарирования костная масса с остатками кожи и мышечной ткани удаляется через кольцевую щель между коническими поверхностями хвостовика шнека и клапана (конусной втулки). Перемещением клапана вдоль оси шнека регулируется величина давления прессования, обеспечивая требуемый уровень выхода мяса механической обвалки.

При эксплуатации шнековых прессов для обвалки мяса птицы существует проблема обратного хода сырья, что с экономической точки зрения не эффективно. Поэтому особого внимания заслуживает разработка методики расчета производительности шнековых шнековых установок с учетом противодействия

Анализ методов расчета производительности шнековых устройств различных видов оборудования механической обработки сырья (волчки, мешалки, насосы) показал, что они не учитывают наличия противодействия на выходе, где наблюдается обратный поток продукции, снижающий производительность оборудования. Поэтому при существующей практике расчет производительности шнековых устройств таких, как волчки и насосы, производится весьма упрощенно за счет использования эмпирического коэффициента  $\varphi$ , связывающего конструктивные параметры шнека, скорость его вращения, величину зазора между гребнем шнека и поверхностью рабочего цилиндра, структурно-механические характеристики сырья и величину противодействия с производительностью. Например, значение этого коэффициента для волчков составляет  $0,25 \div 0,35$  [2], что свидетельствует о существенном влиянии противодействия на величину производительности.

Проблема обратного хода сырья в шнековых прессах существует и в разных отраслях промышленности: нефтяной (при добыче и переработке вязких сред) [3], в пищевой промышленности (например, при обезвоживании маниоки) [4, 5], при экструзии полимерных материалов [6]. Так, в статье [4] авторы изучали характер изменения давления вдоль оси шнека при обезвоживании маниоки. Полученный результат представлен распределением давления по

## Introduction

Mechanical deboning at poultry processing plants is carried out using various types of equipment: hydraulic equipment, drum with a flexible tape, and screw presses [1]. The most widely used equipment for deboning has a screw as the main working body, which is designed as a single unit consisting of two areas: feeding zone and separating zone. The feeding part of screw enables capture, transport and prepressing of raw material and separating part generates high pressure, so the meat mass come out through the sleeve opening.

After separation, the remaining part of bone, skin, and muscle tissue is removed through the ring-shaped gap between the conical surfaces of the screw and the conical sleeve. Compaction pressure is adjusted by moving the sleeve along the axis of the screw providing the required level of output rate for mechanically deboned meat.

When using screw presses for poultry deboning, there is a problem of raw material reverse flow that is effective from economic point of view. Therefore, special attention should be paid to develop methodology for calculating performance of screw equipment considering counterpressure.

The analysis of methods for calculating the performance of various types of screw equipment designed for mechanical processing of raw materials (grinders, mixers, pumps) has shown that these methods do not consider the presence of the counterpressure at the output, where reverse flow of product is observed reducing the performance of equipment. Therefore, under the current practice, the calculation of performance of screw equipment such as grinders and pumps, is carried out in a very simplified manner through the use of empirical coefficient  $\varphi$  linking the design parameters of the screw, speed of rotation, the gap between the tip of the screw and the surface of the working cylinder, structural and mechanical characteristics of raw materials, and counterpressure value with the performance. For example, the value of this coefficient for grinders is 0.25 to 0.35 [2], which indicates a significant impact of counterpressure value on the performance.

The problem of reverse flow of raw materials in screw presses exists in different sectors: in oil industry (mining and processing of viscous media) [3], in food industry (for example, dehydration of cassava) [4, 5], in the extrusion of polymer materials [6]. Thus, in [4] the authors studied the nature of pressure variability along the screw axis in dehydration of cassava. The result obtained is shown by the pressure distribution along the screw axis and by the

оси шнека и значениями параметров для проектирования оборудования. В последующих статьях авторы исследовали влияние скорости вращения шнека от 20 об/мин до 100 об/мин и давления на производительность. Величина противодействия установлена экспериментально [5].

В монографии [6] представлены методы расчета, приведены алгоритмы и программное обеспечение, позволяющее производить автоматизированное проектирование шнекового оборудования. Разработанные авторами методики базируются на теоретических и экспериментальных исследованиях процесса экструзии полимерных материалов в одношнековых машинах и смешение и диспергирование высоковязких полимерных композиций в двухшнековых экструдерах.

Расчеты шнековых устройств технологического оборудования мясной промышленности представлены в монографиях [7, 8, 9]. Пелеев А.И. [7] приводит математические модели расчета производительности любых одновинтовых и одношнековых устройств со свободным отводом продукта и шнековых и винтовых устройств, работающих с противодействием. Последняя определена по формуле Шенкеля, включающей три слагаемых: максимально возможную, производительность шнека, потерю производительности в результате обратного движения массы вдоль канавки шнека и потерю производительности вследствие возврата массы через щели.

Приведенные литературные данные [3–9] позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время отсутствует общая математическая теория течения не-ньютоновских жидкостей в шнековом канале, что не дает возможности теоретически достоверно рассчитывать производительность питающей части шнекового пресса и приводит к необходимости разработки математических моделей, использование которых возможно с необходимой дополнительной экспериментальной корректировкой расчетных зависимостей. Дополнительным аргументом в пользу разработки упрощенной модели расчета производительности питающей части шнековых прессов механической обвалки является фактор неоднородности сырья, имеющего различные прочностные характеристики при сжатии.

Цель работы: разработать математическую модель расчета производительности шнекового пресса механической обвалки с учетом противодействия.

### Объекты и методы исследований

Объекты исследования:

- шнековый пресс механической обвалки мяса птицы Уникон, производительностью 1000 кг/ч;
- мясокостное сырье (кости мяса птицы с прирезами мякотных тканей 40% — неоднородная масса, состоящая из мышечной, жировой, соединительной и костной ткани с различными прочностными характеристиками).

parameters for the equipment engineering. In subsequent articles authors investigated the effect of screw speed (20 to 100 rpm) and pressure on the performance. The value of counterpressure is experimentally determined [5].

In [6], methods of calculation, algorithms and software that allows to make computer-aided design of screw equipment are presented. The methods developed by the authors are based on theoretical and experimental studies of polymer materials extrusion process in single-screw machines and mixing and dispersion of high viscosity polymer compositions in double-screw extruders.

Calculations of screw equipment in meat industry are presented in [7, 8, 9]. Peleev A.I. [7] discusses the mathematical models for calculating the performance of any single-screw equipment with a free product output and screw machines operating with counterpressure. The latter model is defined by Schenkel formula consisting of three components: the highest possible screw performance, the loss of performance as a result of the product reverse flow along the groove of the screw, and the loss of performance due to return of the product through the gaps.

These literature data [3–9] allow to conclude that, currently, there is no general mathematical theory of non-Newtonian fluids flow in the screw channel, which makes it impossible to reliably calculate the theoretical performance of the feeding part of screw press. Thus, there is need to develop the mathematical models that can be used with the required additional experimental adjustment of calculated dependences. An additional argument in favor of the development of a simplified model for calculating the performance of the feeding part of mechanical deboning screw press is the fact of raw material heterogeneity resulting in different strength characteristics at compression.

The objective was to develop the mathematical model for calculating the performance of mechanical deboning screw press considering counterpressure.

### Objects and methods

Objects of research:

- Unicon screw press for mechanical deboning of poultry meat with performance of 1000 kg/h;
- Meat and bone materials (poultry bones with remaining muscle tissue 40% — non-homogeneous mass consisting of muscle, fat, connective, and bone tissue with different strength characteristics);

— мясо механической обвалки (однородная тонкоизмельченная гомогенная масса, обладающая структурно-механическими свойствами, отличными от исходного сырья).

Метод исследования — математический.

### Результаты и их обсуждение

Принцип работы шнековых прессов серии Уникон и процесс мехобвалки мяса птицы с их использованием достаточно подробно рассмотрены в работах [9, 10, 11, 12], где показано, что их производительность определяется как конструктивными параметрами шнека (величиной наружного диаметра, глубиной и шагом нарезки, скоростью его вращения), так и прочностными характеристиками перерабатываемого сырья (тушки, части тушек, шеи, каркасы).

Принцип работы указанных прессов заключается в обработке сырья давлением, связанным с объемным его сжатием и по классификации технологического оборудования мясной промышленности они могут быть отнесены к классу специальных прессов [7]. Этот тип оборудования характеризуется воздействием высокого давления на сырье с разрушением его структуры и выделением из нее мягкой фракции, при этом для обеспечения обвалки мяса требуется давление не менее  $300 \times 10^5$  Па.

С другой стороны, по принципу измельчения сырья путем резания, шнековые прессы могут быть отнесены к классу мясо резательных машин. Этот тип оборудования также предполагает наличие давления прессования, необходимого для вдавливания материала в отверстие решетки, однако его величина значительно меньше. В связи с этим для обоснования методики расчета основных технических характеристик прессов серии Уникон целесообразно предварительно ознакомиться с конструкцией и принципом работы наиболее представительных образцов указанных классов: пресс непрерывного действия для обработки шквары и отжима из нее жира МП-4А и волчок МП-82. Шнек пресса МП-4А выполнен с переменным шагом (как и в шнеке пресса типа Уникон) передняя часть которого имеет подающие витки, обеспечивающие захват шквары и подачу ее к прессующим виткам более крутой нарезки. Прессующая часть шнека помещена в зерном (рабочем) цилиндре, состоящем из набора стальных пластин с канавками, выполненными таким образом, что при их сборке образуются продольные щели для вытекания жира при прессовании. Давление прессования и степень отжатия шквары в зерном цилиндре регулируется перемещением конуса (а в шнековом прессе — перемещением кольцевого клапана) установленного на выходе из цилиндра и образующего кольцевую щель, величина которой изменяется с помощью червячного механизма. Таким образом, принцип работы шнека с зерным механизмом сходен с принципом работы сепарирующего пресса, а основ-

— Mechanically deboned meat (finely cut homogeneous mass, which has the structural and mechanical properties different from the original raw material).

The research method is mathematical.

### Results and discussion

The operation principle of Unicon screw presses and the process of mechanical deboning of poultry meat using these presses is detailed in [9, 10, 11, 12]. These works show that the performance of these presses is defined both by design parameters of the screw (the size of the outer diameter, depth and pitch of thread, speed of its rotation) and the strength characteristics of the processed raw materials (carcasses, carcass parts, necks, etc.).

The operation principle of these presses is the processing of raw materials using pressure related to volumetric compression. According to classification of technological equipment in meat industry, these presses can be classified as special presses [7]. This type of equipment is also characterized by the action of high pressure on raw materials with the destruction of its structure and separation of soft fraction. Meat deboning requires pressure of at least  $300 \times 10^5$  Pa.

On the other hand, in view of the principle of raw material grinding by cutting, screw presses may be classified as meat cutting machines. This type of equipment also requires a compaction pressure to force the material into the hole of lattice, but its value is much less. In this connection, to support the method of calculating the basic characteristics of Unicon presses it is advisable to study the construction and the operation principle of most representative equipment in these classes: continuous action press for processing of greaves and fat pressing-out, model MP-4A, and grinder, model MP-82. The screw of MP-4A press is produced with variable pitch (as in the Unicon screw press), the front part of which has feeding turns providing greaves capture and feeding it to pressing turns. The pressing part of screw placed in pressing (working) cylinder consisting of a set of steel plates with grooves made so that when they are assembled they form longitudinal gaps for fat leakage during pressing. Compaction pressure and degree of greaves squeezing in pressing cylinder is adjusted by moving the cone (and in screw press, by moving the annular sleeve) installed at the outlet of the cylinder and forming an annular gap, which size is changed by the worm gear. Thus, the operation principle of the screw with

ное различие в том, что в шнековых прессах серии Уникон шнек выполняет дополнительно и функцию режущего элемента при сепарации.

В этой связи для анализа процесса резания мяса целесообразно рассмотреть принцип работы и конструкцию волчка МП-82, являющегося представительным образцом класса мясо резательных машин. Основными узлами волчка МП-82 являются приемно-подающий и режущий механизмы. Производительность волчка определяется пропускной способностью режущего механизма. Подающий механизм имеет два шнека, расположенных на одном валу, но имеющих разные скорости вращения. Диаметр первого шнека (нагнетающего) значительно больше диаметра второго, благодаря чему обеспечивается равномерная загрузка волчка с подпрессовыванием материала при его подаче в режущий механизм. Режущий механизм отделен от рабочей зоны шнека и состоит из приемной решетки, ножа, промежуточной решетки, второго крестового ножа и выходной решетки с отверстиями диаметром 3 мм. Тип волчка выбран одновинтовым без устройства для принудительной подачи сырья из загрузочного бункера, сходным с шнековым прессом, а его диаметр решетки (82 мм) и скорость вращения шнека наиболее близки к диаметру шнека У-1000 (95,1 мм) и скорости его вращения 180 об/мин. Износ ребер цилиндра и наружной кромки шнека снижает производительность пресса, так как увеличивается щель, через которую под давлением в рабочей части вытесняется обратно «текучая» фракция мяса. Уменьшение производительности при этом прямо пропорционально величине щели, возведенной в куб и величине давления, создаваемого в рабочей части волчка [7]. Из анализа принципа работы и конструкции волчка МП-4А и пресса МП-82 можно сделать вывод, что методика расчета основных параметров технологического оборудования шнековых прессов серии Уникон может быть построена на использовании методик расчета двух типов технологического оборудования: специальных прессов и мясо резательных машин.

Первый тип оборудования характеризуется воздействием очень высокого давления, второй тип также предполагает наличие давления, однако его величина значительно меньше. Кроме того, для обеспечения процесса резания в мясо резательных машинах предусмотрено наличие режущего механизма. Поэтому за основу методики расчета производительности шнекового пресса Уникон может быть принята методика расчета производительности волчков (как наиболее близкая), но с учетом специфики обвалки мяса.

Производительность волчка определяется по производительности режущего механизма. Применительно к решению настоящей задачи целесообразно остановиться на расчете режущего механизма волчка, порядок проведения которого изложен в работе Пелева А.И. [7]. За основу при расчете принято предполо-

pressing mechanism is similar to the operation principle of the separating press, and the main difference is that in Unicon screw presses the screw has an additional function of cutting during the separation.

In this connection, to analyze the process of meat cutting it is useful to consider operation principle and construction of MP-82 grinder, which is a representative example of meat cutting machines. The main components of MP-82 grinder are receiving-feeding and cutting mechanisms. The MP-82 grinder of grinder is defined by cutting mechanism capacity. The feeding mechanism consists of two screws located on the same shaft, but having different rotation speeds. The diameter of the first screw (pumping screw) is considerably higher than the diameter of the second one, which ensures uniform loading of grinder and compacts raw material at it is transported to the cutting mechanism. The cutting mechanism is separated from the working area of the screw and consists of receiving lattice, blade, intermediate lattice, second cruciform blade and outlet lattice with holes of 3 mm in diameter. The grinder is single-screw without the device for forced feed of raw material from the hopper similar to a screw press, and its lattice diameter (82 mm) and a screw rotation speed are closest to diameter (95.1 mm) and rotation speed (about 180/min) of U-1000 screw. Wear of cylinder ribs and the outer edge of the screw reduces the performance of the press as the gap increases, through which the “flowing” meat fraction is forced back by the pressure in the working part. The performance decrease is proportional to the magnitude of the gap cubed and to the pressure generated in the working part of grinder [7]. The analysis of the operation principle and the design of MP-4A grinder and MP-82 press allows to conclude that the calculation method of the main parameters of Unicon screw presses can be built on the use of calculation method of two types of processing equipment: special presses and meat cutting machines.

The first type of equipment is characterized by very high pressure and the second type also requires a pressure but its value is considerably lower. Furthermore, to perform cut, the meat cutting machines have cutting mechanism. Therefore, the basis for the calculation method of the performance of Unicon screw press can represent the calculation method of the performance of grinders (as the closest one) but taking into account the specifics of meat deboning.

The performance of grinder is determined by the performance of cutting mechanism. With regard to the solution of this problem it is advisable to use the calculation of grinder cutting mechanism described by Pelev A.I. [7].

жение, что сила давления, необходимого для прохода продукции через решетку, компенсируется сопротивлением среза по периметру кромки отверстия сепарирующей втулки (то есть сопротивление среза на единицу длины)  $0,3 \div 4 \times 10^3$  Н/м.

Наиболее просто формализуются расчеты производительности шнековых устройств в случае свободного отвода продукции

Обычно при проведении таких расчетов рассматриваются три случая перемещения продукции:

- вдоль оси шнека без проворачивания по направляющим подобно движению гайки при вращении винта;
- по наклонной плоскости шнека без направляющих и без учета трения о рабочую поверхность;
- по наклонной плоскости шнека без направляющих и при наличии трения продукции о рабочую поверхность шнека.

В первом случае скорость осевого смещения сырья (продукции) будет равна:

$$v_0 = v \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (1)$$

где:  $v$  — окружная скорость точки, находящейся на рабочей поверхности и равная

$$v = \omega \cdot r; \quad (2)$$

где:  $\omega$  — угловая скорость вращения шнека,  $\text{сек}^{-1}$ ;

$r$  — наружный радиус шнека, м;

$\alpha$  — угол наклона развертки гребня шнека.

Во втором случае скорость смещения продукции вдоль наклонной плоскости шнека будет равна:

$$v_0 = v \cdot \cos \alpha; \quad (3)$$

и, соответственно, составит вдоль оси шнека

$$v_0 = v \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha; \quad (4)$$

В третьем случае скорость движения продукции по плоскости шнека (по теореме синусов) будет равна:

$$v_1 = v \cdot (\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha); \quad (5)$$

и, соответственно, составит вдоль оси шнека

$$v_1 = v \cdot (\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha); \quad (5)$$

где:  $\mu$  — коэффициент трения.

С учетом различных значений осевой скорости  $v_0$  объемная производительность одновиткового шнекового устройства при свободном отводе продукции будет равна:

$$M_0 = \varphi_0 \cdot v_0^{\text{cp}} \cdot f; \quad (7)$$

где:  $v_0^{\text{cp}}$  — средняя скорость поступательного движения продукции вдоль оси шнека, м/сек;

$f$  — площадь свободного сечения желоба шнека,  $\text{м}^2$ ;

$\varphi_0$  — коэффициент заполнения желоба шнека.

При этом  $v_0^{\text{cp}}$  для рассматриваемых случаев перемещения продукции определяется по формулам:

$$v_0^{\text{cp}} = \omega \cdot r_c \cdot \operatorname{tg} \alpha_c \text{ (первый случай);} \quad (8)$$

The basis of the calculation is the assumption that pressure value required to pass through the lattice is balanced out by shear strength along the perimeter of the edge of separating sleeve opening (i.e., shear strength per length unit)  $0.3$  to  $4 \times 10^3$  N/m.

It is the simplest to formalize the calculation of screw equipment performance in the case of free removal of product.

Usually, during such calculations, three cases of product moving are considered:

- along the screw axis without turning, like the movement of the nut while rotating the screw;
- along the inclined plane of the screw without guides and not considering the friction on the working surface;
- along the inclined plane of the screw without guides in the presence of product friction on the working surface of the screw.

In the first case, the speed of axial displacement of raw material (product) will be equal to:

$$v_0 = v \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (1)$$

where:  $v$  — the circumferential speed of a point on the working surface will be equal to:

$$v = \omega \cdot r; \quad (2)$$

where:  $\omega$  — the angular speed of the screw,  $\text{sec}^{-1}$ ;

$r$  — the outer radius of the screw, м;

$\alpha$  — inclination angle of the screw tip.

In the second case, the speed of product displacement along the inclined plane of the screw will be equal to:

$$v_0 = v \cdot \cos \alpha; \quad (3)$$

and, accordingly, will be along the screw axis

$$v_0 = v \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha; \quad (4)$$

In the third case, the speed of product movement along the screw plane (according to the law of sines) will be equal to:

$$v_1 = v \cdot (\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha); \quad (5)$$

and, accordingly, will be along the screw axis

$$v_1 = v \cdot (\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha); \quad (5)$$

where:  $\mu$  — the friction coefficient.

Taking into account the different axial speed  $v_0$ , the volumetric performance single-turn screw equipment with free output of the product will be equal to:

$$M_0 = \varphi_0 \cdot v_0^{\text{cp}} \cdot f; \quad (7)$$

where:  $v_0^{\text{cp}}$  — average speed of onward movement of the product along the screw axis, м/сек;

$f$  — the area of free cross section of the screw conveyer box,  $\text{м}^2$ ;

$\varphi_0$  — screw conveyer box filling factor.

At the same time,  $v_0^{\text{cp}}$  for the discussed cases of the product movement is determined by the formulas:

$$v_0^{\text{cp}} = \omega \cdot r_c \cdot \operatorname{tg} \alpha_c \text{ (the first case);} \quad (8)$$

$$v_0^{\text{cp}} = \omega \cdot r_c \cdot \sin \alpha_c \cdot \cos \alpha_c \text{ (второй случай); (9)}$$

$$v_0^{\text{cp}} = \omega \cdot r_c \cdot \sin \alpha_c \cdot (\cos \alpha_c - \mu \cdot \sin \alpha_c) \text{ (третий случай); (10)}$$

где:  $r_c$  — среднеквадратичное значение радиуса шнека, равное

$$r_c = 0,71 \sqrt{r_a^2 - r_1^2} \quad (11)$$

где:  $r_a$  и  $r_1$  — наружный и внутренний радиусы шнека;  
 $\alpha_c$  — значение угла развертки шнека при  $r_c$ , определяемое из формулы:

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \frac{r_a - r_1}{2\pi \cdot r_c}; \quad (12)$$

В свою очередь площадь свободного сечения желоба определяется по формуле:

$$f = \pi \cdot (r_a^2 - r_1^2) - \frac{b \cdot (r_a - r_1)}{\cos \alpha_c} \text{ м}^2; \quad (13)$$

где:  $b$  — толщина гребня шнека, м.

Ранее [10] были обоснованы и рассчитаны величины нижнего и верхнего давления прессования, при которых осуществляется процесс резания не разрушенной мышечной ткани сырья кромками сепарирующих отверстий при его вдавливании в отверстия с последующим отсечением фрагментов мяса гребнем вращающегося шнека. Наличие костной ткани в прессуемой массе облегчает процесс отделения мышечной ткани, так как прессуемое сырье кроме поступательного движения вдоль оси желоба шнека совершает и вращательное движение относительно оси желоба, перемешиваясь и перетираясь по мере продвижения к кольцевой щели клапана.

Нижнее давление прессования соответствует началу процесса прессования и обеспечивается питающей (подающей) частью шнека, верхнее — соответствует концу прессования и обеспечивается конструкцией сепарирующей зоны шнека. Величины давлений (нижнего и верхнего) определены исходя из сопротивления резанию не разрушенной структуры мяса птицы. Давление, при котором не разрушенная мышечная ткань начинает выдавливаться (истекать) из круглого отверстия, может быть определено по эмпирической формуле [9, 10, 11, 12, 13]

$$p = \frac{4\Theta}{d}, \text{ Па} \quad (14)$$

где:  $\Theta$  — напряжение начала сдвига на единицу длины (сопротивление резанию), Н/м;  
 $d$  — диаметр отверстия, м.

В частности принято, что для обеспечения начала процесса сепарации величина нижнего уровня давления прессования, определяемого значением предельного напряжения разрыва мышечной ткани от растяжения, (давление подпрессовки сырья перед сепарацией) должно составлять  $3 \cdot 10^5$  Па (для отверстий диаметром 1,2 мм), величина верхнего, определяемого

$$v_0^{\text{cp}} = \omega \cdot r_c \cdot \sin \alpha_c \cdot \cos \alpha_c \text{ (the second case); (9)}$$

$$v_0^{\text{cp}} = \omega \cdot r_c \cdot \sin \alpha_c \cdot (\cos \alpha_c - \mu \cdot \sin \alpha_c) \text{ (the third case); (10)}$$

where:  $r_c$  — root-mean-square value of the screw radius equal to

$$r_c = 0,71 \sqrt{r_a^2 - r_1^2} \quad (11)$$

where:  $r_a$  and  $r_1$  — the outer and inner radii of the screw;  
 $\alpha_c$  — the value of the screw sweep angle at  $r_c$  determined from the formula:

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \frac{r_a - r_1}{2\pi \cdot r_c}; \quad (12)$$

In turn, the area of free cross section of screw conveyer box is determined by the formula:

$$f = \pi \cdot (r_a^2 - r_1^2) - \frac{b \cdot (r_a - r_1)}{\cos \alpha_c} \text{ м}^2; \quad (13)$$

where:  $b$  — the thickness of the screw tip, m.

Previously [10], the values of upper and lower compaction pressure were justified and calculated, at which the cutting process of undamaged muscle tissue of raw material is performed by the edges of separating holes when raw material is pressed into holes followed by cutting off the pieces of meat with the tip of rotating screw. The presence of bone tissue in the pressed mass facilitates separation of muscle tissue, since the pressed raw material, in addition to translational movement along the axis of screw conveyer box, performs rotational movement around the axis of screw conveyer box while raw material is mixed up and grinded as it passes to the ring-shaped gap of sleeve.

Lower compaction pressure corresponds to the beginning of the pressing process and is provided by the feeding part of the screw. Upper compaction pressure corresponds to the end of pressing process and is provided by the design of separating part of the screw. The pressure values (lower and upper) are defined on the basis of shear strength of undamaged poultry meat structure. The pressure, at which undamaged muscle tissue begins to extrude (flow out) of the circular hole, can be determined by the empirical formula [9, 10, 11, 12, 13]

$$p = \frac{4\Theta}{d}, \text{ Па} \quad (14)$$

where:  $\Theta$  — start shear stress per length unit (shear strength), N/m;  
 $d$  — diameter of the hole, m.

In particular, it is assumed that for the beginning of separating, the value of the lower level of compacting pressure determined by the value of the muscle tensile stress (prepressing pressure of raw material before separation) should be  $3 \cdot 10^5$  Pa (for holes with diameter of 1.2 mm) and the value of the upper level of compacting pressure determined by the value of the maximum tensile stress of connective tissue should be  $70 \cdot 10^5$  Pa [7].

значением предельного напряжения разрыва соединительной ткани, —  $70 \cdot 10^5$  Па [7].

Учитывая отсутствие данных по мясу птицы для расчета нижнего и верхнего давления прессования использованы результаты исследований Пелеева В.И. [7], определившие значение сопротивления резания тканей: парного мяса  $5 \div 8 \cdot 10^3$  Н/м, поверхностного жира —  $4,2 \cdot 10^3$  Р/м, различных мускулов  $1,3 \div 8,8 \cdot 10^3$  Н/м, эластичных волокон  $27,5 \cdot 10^3$  Н/м, коллагеновых волокон —  $41 \cdot 10^3$  Н/м. Для расчета верхнего давления прессования в расчетах принято сопротивление резанию на единицу длины лезвия ножа —  $3,6 \div 6 \cdot 10^3$  Н/м.

Экспериментальными исследованиями Лимонова Г.Е., установлено, что при диаметре отверстий от 0,65 до 4,0 мм для охлажденного говяжьего мяса напряжение начала сдвига изменяется в пределах  $\Theta = 0,3 \div 5 \cdot 10^3$  Па [16]. На основании этих данных могут быть рассчитаны минимальные значения давления прессования, при которых происходит процесс истечения (сдвиг) не разрушенной структуры мяса через сепарирующее отверстие. Нижний уровень давления прессования для отверстий диаметром 4 мм составляет  $0,3 \cdot 10^5$  Па, а верхний —  $5 \cdot 10^5$  Па. Для отверстий диаметром 1,2 и 1,5 мм величины нижнего уровня давления прессования (давление подпрессовки), должны составлять  $8 \div 10 \cdot 10^5$  Па, верхнего —  $80 \div 100 \cdot 10^5$  Па. Однако, эти величины могут быть подвергнуты корректировке при уменьшении диаметра сепарирующих отверстий или использовании подмороженного сырья.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами экспериментальных измерений давления при объемном сжатии мяса в шнековом прессе, выполненных Г.Е. Лимоновым [16], которым установлено, что при механической обвалке отрубов говяжьих туш среднее значение давления на конечном участке зернового механизма составило  $p_s = 10 \div 12$  МПа а величина максимального давления достигала  $p_s^{\max} = 20$  МПа.

Таким образом, для обеспечения начала процесса сепарации мяса птицы в шнековом прессе (диаметр отверстия 1,2 мм) давление прессования должно быть не ниже  $0,3 \cdot 10^5$  Па. Однако, давление, создаваемое питающей частью шнека, действует в двух взаимно противоположных направлениях: по направлению движения в зону сепарации и обратно направлению движения (в сторону загрузки сырья).

Если предположить, что течение сырья по шнековому каналу происходит в виде прямого потока в сепарирующую зону, то это же давление создает и обратный поток в сторону загрузочной зоны. Обратное движение происходит как вдоль оси шнекового канала (желоба), так и через кольцевую щель между гребнем шнека и внутренней поверхностью рабочего цилиндра (корпуса). В действительности нельзя рассматривать процесс течения сырья как два отдельных

Taking into account the lack of data on poultry meat for the calculation of lower and upper compaction pressure, the results of studies by Peleev V. I. [7] were used where the values of tissue shear strength were determined: i.e. fresh meat  $5$  to  $8 \cdot 10^3$  N/m, surface fat —  $4.2 \cdot 10^3$  N/m, different muscles  $1.3$  to  $8.8 \cdot 10^3$  N/m, elastic fibers  $27.5 \cdot 10^3$  N/m, collagen fibers —  $41 \cdot 10^3$  N/m. To calculate the upper compaction pressure, shear strength per length unit of the blade in calculations is  $3.6$  to  $6 \cdot 10^3$  N/m.

Experimental studies by Limonov G. E. found that with a diameter of holes from 0.65 to 4.0 mm start shear stress for chilled beef  $\Theta = 0,3$  to  $5 \cdot 10^3$  Pa [16]. On the basis of these data, minimum values of compaction pressure can be calculated, at which the process of flowing out (shear) of undamaged meat structure takes place through the separating hole. For the holes of 4 mm in diameter, the lower level of compaction pressure is  $0.3 \cdot 10^5$  Pa and the upper one is  $5 \cdot 10^5$  Pa. For the holes of 1.2 and 1.5 mm in diameter, the lower level of compaction pressure (prepressing) must be  $8$  to  $10 \cdot 10^5$  Pa and the upper one must be  $80$  to  $100 \cdot 10^5$  Pa. However, these values may be subject to adjustment by reducing the diameter of the separating holes or using the surface-frozen raw material.

The data received are in good agreement with the experimental measurements of pressure at a volumetric compression of meat in screw press carried out by Limonov G.E. [16] who found that during the mechanical deboning of beef cuts the average value of the pressure on the end of pressing mechanism was 10 to 12 MPa and the maximum pressure reached 20 MPa.

Thus, for the beginning of poultry meat separation in a screw press (hole diameter is 1.2 mm) compaction pressure should not be lower than  $0.3 \cdot 10^5$  Pa. However, the pressure generated by the feeding part of the screw is directed in two opposite directions: in the direction of movement to the separation zone and backwards (to the side of the raw material loading).

Assuming that the raw material within the screw channel moves in a direct flow to the separating zone, the same pressure creates a flow in the opposite direction to the loading zone. The reverse movement takes place both along the axis of the screw channel (screw conveyer box) and through the annular gap between the tip of the screw and the inner surface of the working cylinder (chamber). In fact, the process of raw material flow cannot be considered as two separate processes as they are superimposed on each other forming a flow that determines the performance of the feeding part of screw press.

процесса, так как они накладываются друг на друга, формируя поток, определяющий производительность подающей части шнекового пресса.

Изучая существующие методы расчета производительности шнековых устройств, выявлено, что применительно к мясу резательным машинам (волчкам) Пелеев А.И. [8] дает практические рекомендации по параметрам шнека (длине и числу витков) с учетом давления в зоне подпрессовки. Длина шнека заметно влияет на производительность волчка: при незначительной его длине и малом количестве витков возрастает обратный поток сырья, при шнеках с 5–6 витками обратный поток уменьшается, производительность увеличивается; при дальнейшем увеличении длины червяка производительность стабилизируется, но возрастает удельный расход энергии. Это объясняется тем, что при наличии 5–6 витков в зоне подпрессовки наблюдается наибольший эффект шлюзования и влияние противодавления компенсируется лабиринтными устройствами шнека.

Аналогично решается вопрос проектирования шнековых устройств в волчках зарубежных фирм. Так, в универсальных волчках фирмы Wolfking (Дания) в зависимости от вида перерабатываемого сырья устанавливается соответствующая комбинация шнека и рабочего цилиндра, различающихся длиной, числом и шагом витков. Однако у всех шнеков число витков их закрытой части составляет 3–4 или 6. По такой же схеме сконструированы шнековые устройства в волчках фирмы Weiler (США).

Предложенные выше рекомендации могут быть использованы при разработке шнековых прессов механической обвалки мяса птицы, однако они не позволяют производить расчет производительности с учетом величины противодавления. Такие методики расчетов широко используются в пищевой промышленности для расчета производительности шнековых нагнетателей при переработке таких пищевых масс как тесто, кондитерские массы, пасты, фарши и др. [17] Однако, следует учитывать, что эти методики расчетов разрабатывались для гомогенной среды с использованием ньютоновской изотермической модели и их согласование с экспериментальными данными производилось путем введения соответствующих эмпирических коэффициентов.

При разработке этих методик за основу принят прием «развертывания винтового канала» в виде прямоугольника, накрытого пластиной (стенкой камеры рабочего цилиндра) и движущегося с постоянной скоростью  $v$  (1)

$$v = n \cdot \pi \cdot D \cdot \cos \alpha; \quad (15)$$

где:  $n$  — частота вращения шнека, об/сек;  
 $D$  — наружный диаметр шнека, м;  
 $\alpha$  — угол нарезки гребня шнека, град.

При наличии противодавления объемная производительность шнекового нагнетателя для однородной среды определяется по методу Шенкеля [9]:

During the studies of existing methods for calculating the performance of screw equipment, it is revealed that, for the meat cutting machines (grinders), Peleev A. I. [8] provides practical guidance on the screw parameters (length and number of turns) taking into account the pressure in the prepressing zone. Screw length considerably influences the performance of grinder: with insufficient length and small number of turns, the reverse flow of raw material increases; with screw having 5–6 turns the reverse flow is reduced and the performance is increased; with further increase in screw length, the performance is stabilized but specific consumption of energy increases. This is due to the fact that, with 5–6 turns, there is the greatest locking effect in the prepressing zone and the influence of counterpressure is compensated by screw labyrinths.

Foreign companies solve the problem of designing the screw devices in grinders similarly. Thus, in all-purpose grinders by Wolfking (Denmark), depending on the type of raw material being processed, appropriate combination of screw and working cylinder is set differing in length, number and pitch of turns. However, the number of turns in the closed part of all screws is 3–4 or 6. The same design is implemented in the screws of grinders by Weiler (USA).

The proposed recommendations can be used for development of mechanical deboning screw presses for poultry meat but they do not provide the calculation of the performance considering the value of counterpressure. Such calculation methods are widely used in the food industry for the calculation of the performance of screw feeders in the processing of such food products like dough, confectionery masses, pastes, minced meat etc. [17]. However, it should be understood that these calculation methods were developed for homogeneous materials using Newtonian isothermal model and their adjustment to experimental data was carried out by introducing the relevant empirical coefficients.

The development of these methods was carried out based on the technique of “deployment of the screw channel” in the form of a rectangle covered by plate (wall of the working cylinder) and moving at a constant speed  $v$  (1).

$$v = n \cdot \pi \cdot D \cdot \cos \alpha; \quad (15)$$

where:  $n$  — frequency of screw rotation, rps;  
 $D$  — outer diameter of the screw, m;  
 $\alpha$  — angle off the thread of the screw tip, deg.

In the presence of counterpressure, the volumetric performance of screw feeder for a homogeneous material is determined by the Schenkel method [9]:

$$M_d = M_0 - M_n; \quad (16)$$

where:  $M_0$  — the performance of the device operating with the free passage of the product;  
 $M_n$  — the loss of the performance due to the reverse flow of product.

$$M_d = M_0 - M_n; \quad (16)$$

где:  $M_0$  — производительность устройства, работающего со свободным проходом продукции;

$M_n$  — потеря производительности вследствие обратного потока продукции.

Если принять условно канал шнека (рис. 1) выполненным в виде прямоугольника, одна из сторон которого равна глубине нарезки ( $H$ , м) а вторая сторона равна шагу нарезки  $W$ , м ( $W = \pi \cdot D \cdot \sin \alpha$ ), то уравнение, связывающее объемную производительность с геометрическими параметрами шнека, будет иметь вид:

$$M_0 = \frac{\pi^2 D^2 \cdot n \cdot H \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{2}; \quad (17)$$

Скорость обратного потока гомогенной среды (теста, фарш, пасты) ( $v_{обр.}$ ) определяется по уравнению Пуазейля [7]

$$v_{обр.} = \frac{\Delta p \cdot H^2}{12 \cdot \mu_{ж} \cdot l}; \quad (18)$$

где:  $\Delta p$  — потеря давления, Па;

$H$  — глубина нарезки шнека, м;

$\mu_{ж}$  — коэффициент вязкости транспортируемой по желобу массы;

$l$  — длина пути движения массы, м.

Если умножить  $v_{обр.}$  на площадь свободного сечения желоба шнека  $f$  (формула 7), ( $f = H \cdot t = h \cdot D \cdot \sin \alpha$ ) и учесть, что

$$l = \frac{L}{\sin \alpha},$$

где:  $t$  — шаг шнека, м;

$h$  — зазор «шнек-рабочий цилиндр» и «шнек-гильза», м,

то получим формулу определения объемной производительности обратного движения массы:

$$M_n = \frac{\Delta p \cdot H^3 \cdot \pi \cdot D \cdot \sin^2 \alpha}{12 \cdot \mu_{ж} \cdot L}; \quad (19)$$

где:  $L$  — длина рабочего цилиндра (корпуса) пресса, м.

Тогда уравнение, связывающее фактическую производительность шнека ( $M_{\phi}$ ) с его геометрическими параметрами, частотой вращения, противодавлением и реологическими характеристиками подаваемого сырья (с учетом эмпирических коэффициентов) будет иметь вид

$$M_{\phi} = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n \cdot H \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{2} \cdot F_c \cdot \psi - \frac{\pi \cdot D^3 \cdot H \cdot \sin^2 \alpha}{12 \cdot \mu_{ж} \cdot L} \cdot \Delta p \cdot F_q; \quad (20)$$

где:  $F_c$  и  $F_q$  — эмпирические коэффициенты формы нарезки шнека, соответственно, для свободного потока и потока под давлением;

$\psi$  — поправочный коэффициент, учитывающий неньютоновское течение массы;

$\Delta p$  — потеря давления, Па;

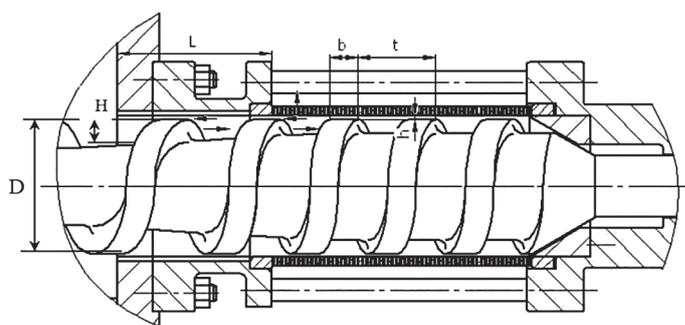


Figure 1. Schematic diagram of the working body of deboning press  
Рис. 1. Принципиальная схема рабочего органа обвалочного пресса

Assuming that the screw channel (Figure 1) has the form of a rectangle, one side of which is equal to the depth of thread ( $H$ , м) and the second side is equal to the pitch of thread  $W$ , м ( $W = \pi \cdot D \cdot \sin \alpha$ ), the equation linking the volumetric performance with geometric screw parameters will be:

$$M_0 = \frac{\pi^2 D^2 \cdot n \cdot H \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{2}; \quad (17)$$

Reverse flow speed of the homogeneous material (dough, minced meat, pasta) ( $v_{обр.}$ ) is determined by the Poiseuille equation [7]

$$v_{обр.} = \frac{\Delta p \cdot H^2}{12 \cdot \mu_{ж} \cdot l}; \quad (18)$$

where:  $\Delta p$  — pressure loss Pa;

$H$  — depth of screw thread, м;

$\mu_{ж}$  — viscosity of material conveyed by the screw conveyor box;

$l$  — length of material path, м.

If we multiply  $v_{обр.}$  by the area of free cross section of the screw conveyor box  $f$  (Formula 7), ( $f = H \cdot t = h \cdot D \cdot \sin \alpha$ ) and take into account that

$$l = \frac{L}{\sin \alpha},$$

Where:  $t$  — pitch of the screw, м;

$h$  — gap between the screw and the working cylinder and between the screw and sleeve, м,

then we will obtain the formula for determining the volumetric performance of reverse product flow:

$$M_n = \frac{\Delta p \cdot H^3 \cdot \pi \cdot D \cdot \sin^2 \alpha}{12 \cdot \mu_{ж} \cdot L}; \quad (19)$$

where:  $L$  — length of the working cylinder (chamber) of the press, м.

Thus, the equation linking the actual the performance of the screw ( $M_{\phi}$ ) with its geometrical parameters, speed of rotation, counterpressure and rheological characteristics of raw material (considering empirical coefficients) will be:

$$M_{\phi} = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n \cdot H \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{2} \cdot F_c \cdot \psi - \frac{\pi \cdot D^3 \cdot H \cdot \sin^2 \alpha}{12 \cdot \mu_{ж} \cdot L} \cdot \Delta p \cdot F_q; \quad (20)$$

where:  $F_c$  and  $F_q$  — empirical coefficients for the shape of thread of the screw for the free flow and pressurized flow respectively;

В данной формуле коэффициенты формы  $F_c$  и  $F_q$  всегда будут меньше единицы, так как площадь сечения желоба шнека меньше площади прямоугольника. Коэффициент вязкости  $\mu_{ж}$  также может считаться эмпирическим коэффициентом, так как произвести его расчет для кускового мяса птицы с костями не представляется возможным. Коэффициент  $\psi$  также меньше единицы и его величина зависит от соотношения глубины и шага нарезки и, в первом приближении, может быть принята 0,7. Полученная формула не учитывает утечек мясной массы через зазор между гребнем шнека и внутренней поверхностью рабочего цилиндра.

Скорость движения текучей массы через щель также можно определить по классическому уравнению Пуазейля [7], а именно:

$$v_{щ} = \frac{\Delta p \cdot h^2}{12 \cdot \mu_{щ} \cdot l} \text{ м/с}; \quad (21)$$

где  $h$  — величина зазора между гребнем шнека и рабочим цилиндром, м;

$l$  — путь движения массы, м;

$\mu_{щ}$  — вязкость текучей массы, Па·с.

Отсюда объемная производительность движения текучей массы равна

$$M_{щ} = f_{щ} \cdot v_{щ} = \frac{\Delta p \cdot h^3 \cdot b \cdot \sin^2 \alpha}{12 \cdot \mu_{щ} \cdot L}; \quad (22)$$

где  $f_{щ}$  — площадь сечения щели между шнеком и рабочим цилиндром, м<sup>2</sup>;

$b$  — ширина щели (ширина гребня шнека), м.

В отличие от сырья, транспортируемого по желобу шнека, фракция мяса «текущая» в щели, как правило, не содержит костных включений и поэтому ее вязкость можно принять равной эффективной вязкости говяжьего фарша, которая находится в пределах  $\mu_{щ} = 10 \div 20 \cdot 10^5$  Па·с. Исходя из этого рассчитана величина потери производительности шнекового пресса при обратном потоке мясной массы через щель. Для проведения расчетов по определению величины утечек мясной массы через зазоры «шнек-корпус» и «шнек-гильза» необходимо определиться с величиной противодействия в зоне до начала сепарации и непосредственно в зоне сепарации. Тогда, на примере параметров пресса У-1000 может быть рассчитана потеря производительности вследствие утечек мясной массы через щель  $h_{к} = 2$  мм на участке «шнек-корпус» и щель  $h = 0,7$  мм на участке «шнек-гильза», величина которой составила, соответственно,  $M_{щ}^к = 18$  кг/ч и  $M_{щ}^с = 4,5$  кг/ч. Учитывая малую величину потока мясной массы через щель, соизмеримую с погрешностями измерения производительности пресса за ограниченное время, этой составляющей формулы производительности можно пренебречь.

Таким образом, изложенная выше двухчленная формула (20) по определению производительности

$\psi$  — correction coefficient to account for non-Newtonian flow;  
 $\Delta p$  — pressure loss, Pa;

In this formula, coefficients of the shape  $F_c$  and  $F_q$  are always less than one as the sectional area of screw conveyer box is smaller than the area of rectangle. The viscosity coefficient  $\mu_{ж}$  can also be considered an empirical coefficient as its calculation for poultry meat cuts with bones is not possible. The  $\psi$  coefficient is also smaller than one and its value depends on the ratio of depth of thread and pitch of thread. As approximation, its value can be considered to be 0.7. The obtained formula does not account for the meat mass leakage through the gap between the tip of the screw and the inner surface of the working cylinder.

Speed of raw material flow across the gap can also be determined by the classical Poiseuille equation [7], as follows:

$$v_{щ} = \frac{\Delta p \cdot h^2}{12 \cdot \mu_{щ} \cdot l} \text{ м/с}; \quad (21)$$

where  $h$  — gap size between the tip of the screw and the working cylinder, m;

$l$  — path of raw material movement, m;

$\mu_{щ}$  — viscosity of flowing raw material, Pa·s

Hence, the volumetric performance of flowing raw material movement is

$$M_{щ} = f_{щ} \cdot v_{щ} = \frac{\Delta p \cdot h^3 \cdot b \cdot \sin^2 \alpha}{12 \cdot \mu_{щ} \cdot L}; \quad (22)$$

Where  $f_{щ}$  — sectional area of gap between the screw and the working cylinder, m<sup>2</sup>;

$b$  — width of gap (width of tip of the screw), m.

In contrast to raw material transported through screw conveyer box, meat fraction flowing to the gap, as a rule, does not contain bone inclusions and therefore its viscosity may be considered to be the effective viscosity of ground beef, which is within  $\mu_{щ} = 10 \div 20 \cdot 10^5$  Pa·s. On this basis, the loss of screw press performance is calculated which due to the reverse flow of meat through the gap. To calculate the value of meat leakage through the gaps between the screw and chamber and between the screw and sleeve, it is necessary to determine the value of counterpressure in pre-separation zone and directly in separation zone. Then, by the example of U-1000 press parameters the loss of the performance can be calculated arising due to leakage of the meat through the gap  $h_{к} = 2$  mm in the zone “from screw to chamber” and through the gap  $h = 0,7$  mm in the zone “from screw to sleeve”. The value of the performance loss amounted 18 kg/h and 4.5 kg/h respectively. Taking into account the small flow of meat through the gap comparable to the errors of press performance measurement for a limited time, this part of the formula of the performance can be neglected.

Thus, the above binomial formula (20) for calculation of the performance of the feeding part of the screw can be adopted in its final form.

питающей части шнека может быть принята в окончательном виде.

На основании принятой формулы была рассчитана массовая производительность подающей части шнека для пресса У-1000 при свободном отводе продукции. Она составила  $M = 2812$  кг/ч. Для уточнения расчетных данных проведен эксперимент на прессе У-1000 с полностью открытым клапаном, регулирующим давление прессования, что соответствует размерам конусной щели  $\Delta = 9$  мм. В этом случае производительность (по сырью) составила  $M = 1465$  кг/ч. Исходя из этого был определен коэффициент, учитывающий форму нарезки шнека при отводе продукции, который в первом приближении может считаться равным и коэффициенту формы нарезки шнека для потока под давлением. Их значения определяются из соотношения

$$F_c = F_q = \frac{M}{M_c \cdot \psi} = \frac{1465}{2812 \cdot 0,7} = 0,74 \quad (23)$$

Одновременно при работе пресса У-1000 на этом же сырье была определена производительность при рабочем положении гайки регулирования давления прессования, величина которой составила  $M_{\text{раб.}} = 620$  кг/ч.

Исходя из опытных данных была рассчитана потеря массовой производительности вследствие обратного потока продукции

$$M_n = M - M_{\text{раб.}} = 845 \text{ кг/ч} \quad (24)$$

По полученной величине потери производительности  $M_n$  может быть рассчитано эмпирическое значение условной вязкости сырья, транспортируемого в сепарирующую зону ( $\mu_{\text{усл.}}$ ). Условная вязкость может быть определена из формулы расчета потери производительности вследствие обратного потока продукции, то есть:

$$\mu_{\text{усл.}} = \frac{\Delta p \cdot H^3 \cdot \pi \cdot D \cdot \sin^2 \alpha}{M_n \cdot 12L} \cdot F_q \quad (25)$$

Для проведения расчета необходимо определиться с величиной противодавления за вычетом давления при полностью открытом клапане:

$$\Delta p = p_n - p_0 \quad (26)$$

где:  $p_n$  — нижний уровень давления прессования (начало сепарации);

$p_0$  — давление в предсепарирующей зоне при полностью открытом клапане устройства, которым регулируется зазор «шнек-клапан», обеспечивающий необходимое давление прессования. Давление рассчитывается исходя из величины сопротивления резанию и диаметра сепарирующих отверстий [12].

Для пресса У-1000 с комбинированной гильзой (диаметр отверстий  $1,5 \div 1,3 \div 1,1$  мм) нижний уровень давления составит  $p_n = 8 \cdot 10^5$  Па, а с учетом поправочного коэффициента на деструкцию мышечной ткани (тонкое измельчение) был принят равным  $3 \div 4 \cdot 10^5$  Па.

On the basis of the adopted formula, the weight performance of the screw feeding part of U-1000 press was calculated with free output of product. It is  $M = 2812$  kg/h. To adjust calculated data, an experiment was conducted for U-1000 press with a fully open sleeve regulating the compaction pressure, which corresponds to the size of the conical gap  $\Delta = 9$  mm. In this case, the performance (for raw material) is  $M = 1465$  kg/h. Based on this, coefficient has been determined that taking into account the shape of thread of the screw during output of products. As approximation, this coefficient can be considered equal to coefficient of screw thread shape for the flow under pressure. Their values are determined by the relation:

$$F_c = F_q = \frac{M}{M_c \cdot \psi} = \frac{1465}{2812 \cdot 0,7} = 0,74 \quad (23)$$

Simultaneously, during U-1000 press operation, for the same raw material the performance was determined at the working position of the nut regulating the compaction pressure, the value of which amounted  $M_{\text{раб.}} = 620$  kg/h.

Based on the experimental data, the loss of the weight performance was calculated, which is due to the reverse flow of the product:

$$M_n = M - M_{\text{раб.}} = 845 \text{ кг/ч} \quad (24)$$

From the resulting loss of the performance  $M_n$ , the empirical value of relative viscosity of raw material transported in separation zone ( $\mu_{\text{усл.}}$ ) can be calculated. Relative viscosity can be determined from the formula of calculation of the performance loss due to the reverse flow of product, i.e.:

$$\mu_{\text{усл.}} = \frac{\Delta p \cdot H^3 \cdot \pi \cdot D \cdot \sin^2 \alpha}{M_n \cdot 12L} \cdot F_q \quad (25)$$

For the calculation it is necessary to determine the value of counterpressure excluding the pressure when the sleeve is fully open:

$$\Delta p = p_n - p_0 \quad (26)$$

where:  $p_n$  — the lower level of compaction pressure (the start of separation);

$p_0$  — pressure in pre-separation zone with fully open sleeve, which regulates the gap between screw and sleeve providing necessary compaction pressure. The pressure is calculated from the value of shear strength and the diameter of the separating holes [12].

For U-1000 press with combined sleeve (hole diameter  $1.5 \div 1.3 \div 1.1$  mm) lower level of pressure will be  $8 \cdot 10^5$  Pa. Based on a correction factor for the degradation of muscle tissue (fine grinding) level of pressure is assumed to be 3 to  $4 \cdot 10^5$  Pa.

Давление  $p_0$  при полностью открытом клапане определяется величиной давления подпрессовки, необходимого для преодоления сил трения продукции.

В первом приближении это значение может составить  $p_0 = 0,5 \div 1,0 \cdot 10^5$  Па.

Однако, с учетом притупления режущих кромок сепарирующих отверстий и гребня шнека, увеличивающих порог нижнего уровня давления сепарации, можно принять величину противодействия  $p_n = 3 \div 4 \cdot 10^5$  Па. Используя значения  $p_n$  и  $\Delta p$  в ранее приведенной формуле (18) можно рассчитать величину условной вязкости кускового мясокостного сырья. Она составит  $\mu_{усл.} = 100 \div 130 \cdot 10^5$  Па·с.

Сравнивая величину полученного значения условной вязкости с пластической вязкостью говяжьего фарша видно, что условная вязкость мясокостного сырья птицы в 5–6 раз выше, что обусловлено наличием в желобе шнека крупных кусков мясокостного сырья и разрушенной костной ткани, что существенно повышает коэффициент внутреннего трения сырья.

В заключении необходимо отметить, что расчеты условной вязкости мясокостного сырья птицы, а также значения коэффициентов формы нарезки  $F_c$  и  $F_q$  были приведены для пресса У-1000 с длительным временем эксплуатации, не обеспечивающего паспортной производительности 1000 кг/ч., у которого номинальный зазор между шнеком и гильзой был 0,75 мм, при нормируемом 0,1 мм.

В связи с этим, был восстановлен рабочий зазор «шнек-гильза» 0,1 мм и повторно замеряли его производительность при свободном отводе продукции  $M_{своб.} = 1644$  кг/ч и рабочем положении клапана  $M_{раб.} = 1200$  кг/ч. Потери производительности вследствие обратного потока продукции составили, соответственно,  $M_n^e = 444$  кг/ч вместо  $M_n = 845$  кг/ч. По полученному значению потери производительности для восстановленного пресса было рассчитано новое значение условной вязкости мясокостного сырья, которое составило  $\mu_{усл.}^e = 760 \cdot 10^5$  Па·с. Такое расхождение в величине условной вязкости при работе с изношенным и восстановленным рабочим трактом свидетельствует о существенном изменении структурно-механических характеристик сырья, вызванным его «мятием» при изношенном тракте. При этом из мышечной ткани выделяется жидкая фракция, которая увеличивает водно-белковую прослойку продукта, тем самым, снижая величину условной вязкости. Из сказанного следует, что по величине условной вязкости сырья или по величине потери производительности вследствие обратного хода можно производить оценку степени изношенности рабочего тракта пресса.

## Выводы

Впервые разработан метод расчета производительности шнековых прессов механической обвалки мяса птицы с учетом противодействия. Данный метод

Pressure  $p_0$  for fully open sleeve is determined by the prepressing pressure required to overcome the friction of production.

As approximation, this value can be  $p_0 = 0.5$  to  $1.0 \cdot 10^5$  Pa.

However, given the dulling of the cutting edges of the separation holes and screw tip, which increases the lower level of separating pressure, it can be assumed that the value of counterpressure is  $p_n = 3$  to  $4 \cdot 10^5$  Pa. Using  $p_n$  and  $\Delta p$  values in the above formula (18) we can calculate the value of the relative viscosity of meat cuts with bones. It will be  $\mu_{усл.} = 100 \div 130 \cdot 10^5$  Pa·s.

Comparing the obtained value of relative viscosity with plastic viscosity of ground beef it can be seen that relative viscosity of poultry meat with bones is 5–6 times higher due to the presence of large meat and bone pieces in screw conveyer box and destruction of bone tissue, which significantly increases the internal friction of raw material.

In conclusion, it should be noted that the calculations of relative viscosity for poultry meat with bones, as well as the coefficients of thread shape  $F_c$  and  $F_q$ , were given for U-1000 press after long-time operation, which does not provide the nameplate performance of 1000 kg/h, and which has nominal gap between the screw and the sleeve of 0.75 mm, while specification is 0.1 mm.

In this regard, the working gap between the screw and the sleeve of 0.1 mm was reset and its performance was re-measured with the free output of product, 1644 kg/h, and with the working position of sleeve, 1200 kg/h. The performance loss due to reverse flow of product were 444 kg/h respectively instead of 845 kg/h. From the performance loss for repaired press the new value of the relative viscosity of meat and bone raw material was calculated  $760 \cdot 10^5$  Pa·s. Such a difference in relative viscosity when working with worn-out and repaired mechanisms indicates a significant change in the structural and mechanical characteristics of raw material with its rumpling by worn-out mechanism. At the same time, liquid fraction is released from the muscle tissue, which increases the water and protein layer of the product, thereby reducing the relative viscosity. From this it follows that the value of relative viscosity of raw material or the value of the performance loss due to reverse flow can be used to assess the degree of wearing-out of the working mechanism of the press.

## Conclusions

For the first time, the method was developed for calculating the performance of screw presses for mechanical deboning of poultry meat considering counterpressure. This method allows to address the effect of the gaps be-

позволяет учитывать влияние зазоров между гребнем шнека и корпусом, а также зазоров «гильза-шнек» на величину потерь производительности оборудования.

Практическое значение разработанного метода учета противодействия при расчете производительности шнековых прессов механической обвалки заключается в возможности оценки степени влияния параметров конструкции шнека (длины, диаметра, глубины и шага нарезки, скорости его вращения) на производительность.

Использование данного метода позволяет оптимизировать параметры шнековых прессов и давать рекомендации по повышению производительности существующих прессов. Данный вывод подтверждается на примере оценки работоспособности пресса У-1000. Так, экспериментально измеренная низкая производительность серийно выпускаемого образца пресса обусловлена с одной стороны наличием большого зазора в тракте «гильза-шнек» ( $\Delta = 0,75$  мм), а с другой — конструктивными особенностями питающей части шнека (1,5 витка против рекомендуемых  $3,0 \div 4,0$  витков). Для обеспечения паспортной производительности пресса при данной конструкции шнека должны быть установлены жесткие ограничения на величину минимального зазора в тракте «гильза-шнек» ( $\Delta = 0,38$  мм), что экономически невыгодно вследствие быстрого износа шнека и гильзы. Решение данного вопроса в рамках существующей конструкции — в повышении износостойкости (упрочнении) рабочих органов. Кардинальное решение этого вопроса заключается в доработке конструкции подающей части шнека У-1000 (то есть увеличении числа витков).

С увеличением зазоров «шнек-гильза» и «шнек-корпус» возрастает обратный поток сырья, обусловленный его «мятием» и «перетираем», снижающими величину условной вязкости мясокостного сырья в желобе шнека.

tween the tip of the screw and chamber as well as the gaps between the screw and sleeve on the value of the performance loss of the equipment.

The practical importance of this method considering counterpressure in the calculation of the performance of mechanical deboning screw presses is the ability to assess the degree of influence of the screw geometrical parameters (length, diameter, depth and pitch of thread, speed of its rotation) on the performance.

Using this method allows to optimize the parameters of screw presses and make recommendations for improvement of the performance of existing presses. This conclusion is confirmed by the example of U-1000 press performance evaluation. Thus, experimentally measured low performance of commercially available press is, on the one hand, due to the large gap between the screw and sleeve ( $\Delta = 0.75$  mm), and on the other hand, due to the design features of the screw feeding part (1.5 turns versus recommended 3.0 to 4.0 turns). To ensure the nameplate performance of the press with the current screw design, stringent limits should be set on the minimum gap between the screw and sleeve ( $\Delta = 0.38$  mm), which is uneconomical due to the rapid wear of the screw and sleeve. The solution of this issue within the existing design is to increase wear resistance (hardening) of working bodies. A fundamental solution to this problem is to modify the design of the screw feeding part (to increase the number of turns).

With the increase in the gaps between the screw and sleeve and between the screw and chamber, the reverse flow of raw material increases due to its rumpling and grinding, which reduces the relative viscosity of meat and bone raw material in screw conveyer box.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гоноцкий В.А., Федина Л.П., Хвыля С.И., Красюков Ю.Н., Абалдова В.А. Под общей редакцией Давлеева А.Д. Мясо птицы механической обвалки. — Москва: Совет по экспорту домашней птицы и яиц США, 2004, раздел 4. — С. 200. — С. 116–143.
2. Фалеев Г.А. Оборудование предприятий мясной промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1966. — С. 456. — С. 278.
3. www.elibrary.asabe.org, 1987, URL: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=3&AID=30538&CID=t1987&v=30&i=4&T=1> 15.05.2016. K. Sivakumaran, J. W. Goodrum Influence of Internal Pressure on Performance of a Small Screw Expeller / Transactions of the ASAE. 30 (4): 1167–1171. (doi: 10.13031/2013.30538)
4. www.degruyter.com, 2007 URL: <http://www.degruyter.com/view/j/ijfe.2007.3.1/ijfe.2007.3.1.1088/ijfe.2007.3.1.1088.xml?format=INT> 25.05.2016. O.P. Kolawole, Leo A.S. Agbetoye, A. S. Ogunlowo. Cassava Mach Dewatering Parameters// Article International of Food Engineering 3(1) January in (PDF Available) 607 Reads with 2007 DOI 10/2202|1556-3758/1088 Source OA
5. Kolawole O.P., Agbetoye L.A.S., Ogunlowo A.S., Samuel T.M., Effect of Speed and Back Pressure on the Performance of Screw Press in Dewatering of Cassava Mash / Greener Journal of Science, Engineering and Technological Research — 2012. — Vol. 2 (1). — P. 017–023.
6. Соколов М.В., Клинов А.С., Ефремов О.В., Беляев П.С., Однolkо В.Г. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин. — М.: Изд-во «Машиностроение-1», 2004. — С. 248.

## REFERENCES

1. Gonotsky V.A., Fedina L.P., Khvylya S.I., Krasnyukov Y.N., Abaldova V.A. Edited by Davleev A.D. Mechanically deboned poultry meat. — Moscow: Council for poultry and eggs export from US. 2004, section 4, 200 P. — P. 116–143.
2. Faleev G.A. Equipment of meat industry enterprises — M: Food Industry. 1966. — 456 P. — P. 278.
3. www.elibrary.asabe.org, 1987, URL: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=3&AID=30538&CID=t1987&v=30&i=4&T=1> 15.05.2016. K. Sivakumaran, J. W. Goodrum Influence of Internal Pressure on Performance of a Small Screw Expeller / Transactions of the ASAE. 30 (4): 1167–1171. (doi: 10.13031/2013.30538)
4. www.degruyter.com, 2007 URL: <http://www.degruyter.com/view/j/ijfe.2007.3.1/ijfe.2007.3.1.1088/ijfe.2007.3.1.1088.xml?format=INT> 25.05.2016. O.P. Kolawole, Leo A.S. Agbetoye, A. S. Ogunlowo. Cassava Mach Dewatering Parameters// Article International of Food Engineering 3(1) January in (PDF Available) 607 Reads with 2007 DOI 10/2202|1556-3758/1088 Source OAI
5. Kolawole O.P., Agbetoye L.A.S., Ogunlowo A.S., Samuel T.M., Effect of Speed and Back Pressure on the Performance of Screw Press in Dewatering of Cassava Mash / Greener Journal of Science, Engineering and Technological Research — 2012. — Vol. 2 (1). — P. 017–023.
6. Sokolov M.V., Klinkov A.S., Efremov O.V., Belyaev P.S., Odnolkо V.G. Automatized design and calculation of screw machines. M.: Publishing "Mechanical Engineering 1", 2004. — P. 248.

7. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: Учебник для вузов / А. И. Пелеев. — 3-е изд., доп. и перераб. — М.: Пищевая промышленность, 1971. — С. 519. — С. 38–56.
8. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: Учебник для вузов / А. И. Пелеев. — 2-е изд., доп. и перераб. — М.: Пищепромиздат, 1963. — С. 685. — С. 371–406.
9. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Часть 2. Оборудование для переработки мяса: Учебник для вузов / В. И. Ивашов. — СПб.: ГИОРД, 2007. — С. 464. — С.72–82.
10. Абалдова В.А. Остроух А.С. Особенности работы шнековых прессов механической обвалки птицы и рыбы и разработка методики расчета процесса прессования // Новое в технике и технологии переработки птицы и яиц. Сб. научн. трудов ГУ ВНИИПП. — Ржавки — 2006. — Выпуск 34. — С. 48–58.
11. Абалдова В.А. Остроух А.С. Кривая давления прессования в прессах механической обвалки мяса птицы серии УНИКОН // Новое в технике и технологии переработки птицы и яиц. — Сборник научных трудов ГУ ВНИИПП. — Ржавки. — 2007. — Вып. 35. — С. 31–42.
12. Остроух А.С. Абалдова В.А. Обоснование процесса мехобвалки мяса птицы в шнековых прессах // Птица и птицепродукты. — 2008. — № 5. — С. 70–72.
13. Остроух А.С. Абалдова В.А. Обоснование процесса мехобвалки мяса птицы в шнековых прессах // Птица и птицепродукты. — 2008. — № 8. — С. 56–58.
14. Соколов А.А. Физико-химические и биохимические основы технологии мяса и мясосюродуктов — М., Пищевая промышленность, 1965. — С. 495.
15. Абалдова В.А. Остроух А.С. Расчет давления сепарации в шнековых прессах механической обвалки // — Fleischwirtschaft International. — 2009. — № 1. — С. 42–46.
16. Лимонов Г.Е. Исследование объемного сжатия мяса и мясосюродуктов и истечения их через отверстия и насадки. Автореферат диссер. к. т. н. — М.: ВНИИМП, 1967.
17. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — С. 214.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

##### Принадлежность к организации

**Остроух А.С.** — старший научный сотрудник лаборатории механической обвалки Всероссийского научно-исследовательского института птицеперерабатывающей промышленности (ВНИИПП) филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской Академии наук  
141552, Московская область, Солнечногорский район, п. Ржавки  
Телефон: 8-495-944-65-03  
E-mail: vniipp15@mail.ru

**Абалдова Валентина Антоновна** — канд. техн. наук, зав. лабораторией механической обвалки Всероссийского научно-исследовательского института птицеперерабатывающей промышленности (ВНИИПП) филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской Академии наук  
141552, Московская область, Солнечногорский район, п. Ржавки  
Телефон: 8-495-944-65-03  
E-mail: vniipp15@mail.ru

##### Критерии авторства

Остроух А.С. собирал материал, анализировал полученные данные, занимался описательной частью статьи.  
Абалдова В.А. выполняла экспериментальную часть работы, участвовала в обобщении полученного материала и выводах, корректировала рукопись до подачи в редакцию.  
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

##### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 17.06.2016

7. Peleev A.I. Technological equipment of meat industry enterprises: Textbook for high schools / A.I. Peleev. — 3rd ed., Ext. and rev. — M.: Food Industry, 1971. — P. 38–56.
8. Peleev A.I. Technological equipment of meat industry enterprises: Textbook for high schools / A.I. Peleev. — 2nd ed., Ext. and rev. — M.: Pishchepromizdat, 1963. — 685 p. (P. 371–406)
9. Ivashov V.I. Technological equipment of meat industry enterprises. Part 2: Equipment for meat processing: Textbook for high schools / V.I. Ivashov. — SPb.: GIORД, 2007. — 464 p. P. 72–82.
10. Abaldova V.A., Ostroukh A.S. Features of mechanical deboning screw presses for poultry and fish and the development of methods for calculation of compaction process // New in the equipment and technology for poultry and eggs processing. Comp. of GU VNIIPP works. — Rzhavki — 2006. — issue 34. P. 48–58.
11. Abaldova V.A., Ostroukh A.S. The curve of compaction pressure for Unicon poultry mechanical deboning presses // New in the equipment and technology for poultry and eggs processing. Comp. of GU VNIIPP works. — Rzhavki. — 2007 — issue 34. P. 31–42.
12. Ostroukh A.S., Abaldova V.A. Justification of poultry meat mechanical deboning in screw presses // — Poultry and poultry products. — 2008. — № 5. — P. 70–72.
13. Ostroukh AS, Abaldova VA. Justification of poultry meat mechanical deboning in screw presses // Poultry and poultry products. — 2008. — № 8. — P. 56–58.
14. Sokolov A.A. Physical-chemical and biochemical base for technology of meat and meat products — M.: Food Industry, 1965. — P. 495.
15. Abaldova V.A., Ostroukh A.S. Calculation of the separation pressure in the mechanical deboning screw presses // — Fleischwirtschaft International. — 2009. — № 1. — P. 42–46.
16. Limonov G.E. Studying of volumetric compression of meat and meat products and their flow through the holes and nozzles. Abstract of PhD in Technical Sciences dissertation. — M.: VNIIMP, 1967.
17. Machikhin J.A., Machikhin S.A. Engineering rheology of food materials. — M.: Consumer & Food Industry, 1981. — P. 214.

#### AUTOR INFORMATION

##### Affiliation

**Ostroukh A.S.** — the leading researcher, Laboratory of mechanical deboning, All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry – Branch of the Federal Scientific Center «All-Russian Research and Technological Poultry Institute» of Russian Academy of Sciences  
Russia, 141552, Moscow region, Solnechnogorsk district, Rzhavki  
Phone: 8-495-944-65-03  
E-mail: vniipp15@mail.ru

**Abaldova Valentina Antonovna** — PhD in Technical Sciences, Head of Laboratory of mechanical deboning, All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry – Branch of the Federal Scientific Center «All-Russian Research and Technological Poultry Institute» of Russian Academy of Sciences  
Russia, 141552, Moscow region, Solnechnogorsk district, Rzhavki  
Phone: 8-495-944-65-03  
E-mail: vniipp15@mail.ru

##### Contribution

Ostroukh AS collected material, analyzed the data, worked with descriptive part of article.  
Abaldova VA performed experimental part of the work, tool part in the summarizing of the material obtained and findings, corrected the manuscript prior to submission to the editorial board.  
Authors equally contributed to the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiarism.

##### Conflict of interest

The authors declares no conflict of interest.

Received 17.06.2016

# PRINCIPLES OF DETERMINATION OF VALUE IN USE FOR MEAT AND MEAT PRODUCTS BASED ON QUALITY INDICATORS — THE COEFFICIENTS OF CONSUMER PROPERTIES

## ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ СТОИМОСТИ МЯСА И МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА — КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ

Neburchilova N.F., Petrunina I.V.

The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute, Moscow, Russia

**Ключевые слова:** мясо, мясные продукты, потребительная стоимость, показатели качества, полезность, потребительские свойства.

**Keywords:** meat, meat products, value in use, quality indicators, utility, consumer properties.

### Аннотация

Определение цены — это сложный процесс, требующий учета большого количества факторов. В мясной отрасли АПК в различные периоды существовали системы построения цен, которые учитывали только внешние факторы: конкуренцию; ценностную значимость товара; издержки производства. Действовавшая до последнего времени система ценообразования в России основывалась только на затратном принципе. Переход на формирование свободных рыночных цен практически не привел к изменению методологических подходов при определении цен и не повлиял на их структуру. Система ценообразования, сложившаяся в настоящее время в мясной отрасли АПК, не отвечает современным требованиям экономической науки. В связи с этим она является тормозом на пути внедрения объективных экономических законов в условиях рыночных отношений. Достижение эффективности производства возможно при таком использовании имеющихся ресурсов, при котором дифференцированные производственные затраты пропорциональны полезности этих ресурсов. Полезность продуктов определяется комплексом свойств, отражающих их потребительную стоимость. Основными качественными параметрами являются потребительские свойства продуктов. Основным внутренним фактором, влияющим на ценовые параметры, является качественный состав сырья. С целью создания паритета при определении цен на различные группы продуктов разработана единая методика ценовой эквивалентности с учетом качественных параметров сырьевой составляющей. Качественные характеристики мясной продукции складываются из структуры продуктов, их морфологии, химического состава и, в конечном счете, рассчитываемых с учетом всех перечисленных факторов коэффициентов потребительских свойств.

### Abstract

Price setting is as complex process, which requires taking into consideration many factors. In different periods, the systems of price setting existed in the meat sector of the agro-industrial complex, which took into account only the external factors: competition, value of goods and production costs. The system of price formation that was in existence in Russia up to now was based only on the cost-based principle. Transition to formation of the free market prices practically has not led to changes in the methodological approaches in price setting and has not influenced their structure. The current price formation system in the meat sector of the agro-industrial complex does not correspond to the contemporary requirements of the economic science. Thus, it is an obstacle on the way of introduction of the objective economic laws in conditions of the market relations. It is possible to achieve production efficiency with such use of the existing resources when the differentiated production costs are proportional to the utility of these resources. The utility of products is determined by a complex of properties that reflect their value in use. The main qualitative parameters are consumer properties of products. The main internal factor influencing the price parameters is the qualitative composition of raw material. In order to create parity in price setting for different groups of products, the unified method of price equivalence with regard to the qualitative parameters of the raw material constituent was developed. Quality characteristics of meat products are composed of the product structure, morphology and chemical composition, and, finally, coefficients of consumer properties calculated with consideration for all above-mentioned factors.

### Актуальность

Введение рыночных отношений в стране сопровождалось либерализацией цен, которая отличалась от ранее проводимых реформ в области ценообразования. Практически изменилась методология определения цен. Свободное ценообразование стало одной из сложных проблем в отраслевой экономике. В насто-

### Topicality

Introduction of the market relations in the country was accompanied by the liberalization of prices, which differed from the early performed reforms in the field of price formation. Practically, the methodology of price setting has changed. Free price formation has become one of the most complex problems in the sector's economics.

ящее время в РФ используются различные виды цен, основными из которых являются закупочные, оптовые и розничные.

Закупочные цены устанавливаются на сельскохозяйственную продукцию, оптовые или отпускные цены — на продукцию, которую выпускают промышленные предприятия, и розничные цены по которым товары реализуют населению.

В мясной отрасли АПК сложившаяся система ценообразования не отвечает современным требованиям экономической науки. И в связи с этим является тормозом на пути внедрения объективных экономических законов в условиях рыночных отношений.

В середине пятидесятих годов XIX века Госсен Герман Генрих — немецкий экономист занялся разработкой собственной экономической теории. Эту теорию он изложил в вышедшей в 1854 году книге «Развитие законов общественного обмена и вытекающих отсюда правил человеческой деятельности»<sup>1</sup>. Теория Г. Госсена базируется на том, что главным мотивом, определяющим поведение человека является стремление к получению максимума полезности. В связи с этим главной задачей экономической науки является формирование правил максимизации (увеличение общей) полезности. Однако его теория не получила признания у современников. Книга Госсена была найдена профессором Адамом и переиздана в 1889 году, а затем в 1927 году и с тех пор получила широкую известность.

Л. Вальрас, У. Джевонс и другие экономисты начали широко пропагандировать теорию предельной полезности, которую рассматривал Госсен. Используя понятия полезности и, в частности предельной полезности, можно определять потребительские предпочтения. Полезность — это степень удовлетворения, полученного человеком от потребления какого-то блага, таким образом, оценка потребителем степени полезности различных товаров (например, товар X лучше, чем товар Y) и является потребительским предпочтением.

В конце XIX в. представители австрийской школы маржинализма (К. Менгер, Ф. Визер, Е. Бём-Баверк), полагали, что для каждого человека существует определенный количественный измеритель полезности. Австрийские ученые ввели в свой анализ термин маржинализм» (от французского *marginal* — предельный) — направление экономической теории, которое широко применяется в анализе закономерности экономических процессов на основе использования предельных величин. Соответственно все основные

At present, different types of prices are used in the RF, the main of which are purchasing, wholesale and retail prices. Purchasing prices are set for agricultural products, wholesale or transfer prices are set for products manufactured by industrial enterprises and retail prices are prices of products sold to population.

The system of price formation, which was established in the meat sector of the agro-industrial complex, does not correspond to the contemporary requirements of the economic science. Thus, it is an obstacle on the way of introduction of the objective economic laws in the conditions of the market relations.

In the middle of the 1850s, the German economist Hermann Heinrich Gossen began to work on his own economic theory. He described this theory in his book *The Development of the Laws of Human Intercourse and The Consequent Rules of Human Action*<sup>1</sup> published in 1854.

The Gossen's theory is based on the assumption that the main stimulus determining human behavior is striving to achieve the maximum utility. In this connection, the main task of the economic science is formation of the rules of maximization (increasing of the total) utility. However, his theory was not recognized by his contemporaries. The Gossen's book was found by prof. Adamson and republished in 1889 and then in 1927, and since then became widely known.

L. Walras, W. Jevons and other economists began to widely propagandize the theory of marginal utility, which Gossen had examined. Using the concept of utility, in particular, marginal utility, it is possible to determine consumer preferences. Utility is a degree of satisfaction received by a person from consumption of a specific good or service and, therefore, an evaluation of a degree of utility of different goods (for example, a good X is better than a good Y) by a consumer and a consumer preference.

At the end of the 19<sup>th</sup> century, the representatives of the Austrian school of marginalism (C. Menger, E. Böhm-Bawerk, F. Wieser) suggested that a specific quantitative measure of utility existed for each individual. The Austrian scientists introduced in their analysis the term marginalism (from French *marginal* — ultimate), which is a direction of the economic theory widely applied in the analysis of the regularities of the economic processes based on the use of the ultimate values. Accordingly, all

<sup>1</sup> The book «Die Entwicklung der Gesetze des menschlichen Verkehrs, und der daraus fließenden Regeln für menschliches Handeln» by Gossen (1854). In 1983, the translation to English was published. This work can be found in translation to Russian in the book *World economic thought. Through the prism of centuries*. In 5 volumes — M., 2005. — Vol. 2.

<sup>1</sup> Книга Госсена 1854 года «Die Entwicklung der Gesetze des menschlichen Verkehrs, und der daraus fließenden Regeln für menschliches Handeln». В 1983 году был опубликован перевод на английский язык. На русский язык название можно перевести как «Разработка законов общественного обмена и вытекающих из них правил человеческой деятельности». Эту работу можно найти в переводе на русский язык в книге «Мировая экономическая мысль. Сквозь призму веков». В 5 т. — М., 2005. — Т. 2.

категории в маржиналистской теории основаны на применении количественного анализа, при котором ведущая роль отводится использованию понятия пределов. Это такие категории, как предельная производительность, предельные издержки, предельная полезность и пр.

В экономической теории различают две формы полезности: общую и предельную. Общая полезность ( $TU$  — *total utility*) — это сумма предельных полезностей (или полезность всех имеющихся в наличии товаров и услуг). Предельная полезность товара или услуги ( $MU$  — *marginal utility*) — это полезность единицы (наименьшая польза) из имеющегося запаса данного вида товара или услуги [1].

Теоретическую разработку проблемы полезности осуществили ученые-экономисты У. Джевонс, К. Менгер, Ф. фон Визер, Е. фон Бём-Баверк, Л. Вальрас. Согласно этой теории величина ценности каждого товара или услуги определяется величиной их пользы для конкретного потребителя. При этом имеется в виду не величина полезности как таковая, а предельная полезность товара или услуги.

С увеличением общего количества товаров или услуг, которыми располагает потребитель, предельная полезность уменьшается, а общая — увеличивается. Выбор потребителя всегда ограничен доходом, а также ценами. Равный полезный эффект для покупателя можно выразить соотношением:

$$\frac{Pa}{Ca} = \frac{Pb}{Cb},$$

где:  $Pa$  и  $Pb$  — предельная полезность товаров А и В,  $Ca$  и  $Cb$  — цены товаров А и В.

Покупатель стремится получить максимальную полезность, покупая такой товар или услугу, когда отношение предельной полезности к цене максимально близко.

Полезность продуктов — это степень удовлетворения потребностей человека в конкретном товаре. Полезность является субъективным понятием. В Словаре экономических терминов определено понятие полезности. Пищевая ценность продуктов — это комплекс полезных свойств, определяющих их биологическую и энергетическую ценность и обеспечивающих физиологические потребности человека в энергии и в основных питательных веществах.

Таким образом, необходимо различать, что определяет цену товара — предложение (стоимость) или спрос (полезность). При этом важно понимать, что является первичным полезность товара как «функция» стоимости или, напротив, стоимость есть «функция» полезности товара. До настоящего времени в рамках современной экономической теории возможность объединить оба подхода к ценообразованию, совмещив в цене «объективность» (стоимость) и «субъективность» (полезность) товара не рассматривалась.

main categories in the marginalistic theory are based on the use of the quantitative analysis, a leading role in which is given to the use of the concept of borders or margins. It is such categories as marginal productivity, marginal costs, marginal utility and so on.

The economic theory distinguishes two forms of utility: total and marginal. Total utility (TU) is a sum of marginal utilities (or utility of all available goods or services).

Marginal utility (MU) of a good or service is the utility of a unit (the least utility) from an available supply of this type of goods or services [1].

The theoretical development of the issue of utility was carried out by the economic scientists W. Jevons, C. Menger, F. von Wieser, E. von Bawerk, L. Walras. According to this theory, the value of each good or service is determined by the degree of their utility to an individual consumer. With that, it is the marginal utility of goods or services that is meant and not a degree of utility per se.

With an increase of the total amount of goods or services available to a consumer, the marginal utility decreases and the total utility increases. A choice of a consumer is always limited by an income as well as by prices. The equal positive effect for a buyer can be expressed by a ratio:

$$\frac{MUa}{Pa} = \frac{MUb}{Pb},$$

where:  $MUa$  and  $MUb$  — marginal utility of goods A and B,  $Pa$  and  $Pb$  — prices on goods A and B.

A consumer strives to achieve the maximum utility buying a product or services when the ratio of marginal utility to a price is maximally close.

Product utility is a degree of satisfaction of a human need for a specific product. Utility is a subjective concept. The dictionary of the economic terms defines the concept of utility. Food value of products is a complex of useful properties that determine their biological and energy value and satisfy the physiological requirements of an individual in energy and the main nutrients.

Therefore, it is necessary to distinguish what determines a product price — supply (cost) or demand (utility). With that, it is necessary to understand what is primary: utility of a product as a «function» of cost or, on the contrary, cost is a «function» of utility of a product. Up to now, the possibility to combine two approaches to price formation by uniting in a price an «objectivity» (cost) and «subjectivity» (utility) has not been examined in the framework of the modern economic theory.

## Методы

Основу методологии ценообразования составляют методы обоснования цен, которые базируются на основных ценообразующих факторах (рис. 1).

## Methods

The methods of price substantiation, which are based on the main price forming factors, present a foundation for the methodology of price formation (Fig. 1).

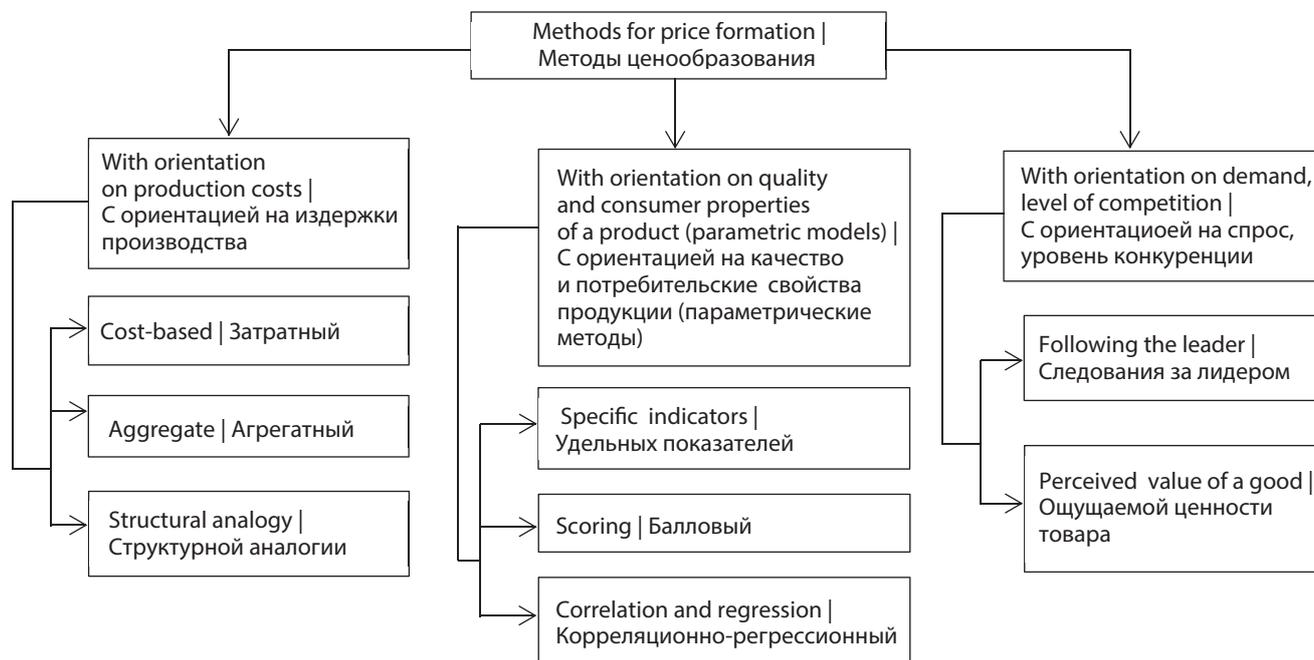


Figure 1. Methods of price formation | Рис. 1. Методы ценообразования

Одним из наиболее распространенных методов ценообразования, которые ориентированы на издержки производства, в отечественной производственной практике, является затратный метод. Суть его заключается в том, что к рассчитанной себестоимости единицы продукции добавляется заданный размер прибыли, а также косвенные налоги и неналоговые платежи, непосредственно увеличивающие цену:

$$Ц = C + П + Н,$$

где:  $C$  — себестоимость единицы товара;  $П$  — прибыль в расчете на единицу товара;  $Н$  — косвенные налоги и неналоговые платежи в цене товара.

Затратный метод является популярным не только в отечественной, но и в зарубежной практике ценообразования. Это связано с рядом причин. Во-первых, производители всегда лучше осведомлены о своих затратах, чем о потребительском спросе. Поэтому затратный метод считается достаточно простым. А также, по мнению специалистов, этот метод является наиболее справедливым как по отношению к продавцу, так и к покупателю.

Однако в настоящее время, в условиях рынка наиболее важную роль при формировании цены играет полезность товара. Дело в том, что покупателя интересует не товар как таковой, а то, в какой степени он будет удовлетворять его потребности, то есть полезность товара [2]. Таким образом, в настоящее время необходимо учитывать все методы построения цен.

In the national production practice, one of the most common methods of price formation that are oriented on production costs is the cost-based method. The essence of the method is that the specified size of profit, as well as indirect taxes and non-tax payments, are added to the calculated unit cost of a product directly increasing the price:

$$P = C + P + N,$$

where:  $C$  — unit cost of a product;  $P$  — profit per unit;  $N$  — indirect taxes and non-tax payments in the price of a product.

The cost-based method is popular not only in the national but also in the foreign practice of price formation. This is associated with several reasons. First, manufacturers are better informed about their costs than about consumer demand. Thus, the cost-based method is considered quite simple. In addition, according to the expert opinion, this method is the fairest both with respect to a seller and a buyer.

Nowadays, however, in the market conditions, the most important role in price formation plays utility of a good. This is because consumers are interested not in a good per se, but in a degree of satisfaction of their needs, that is in utility of a good [2]. Today, therefore, it is necessary to consider all methods for price formation.

Мясо и мясные продукты в настоящее время реализуются по свободным ценам, которые включают в себя себестоимость продукции, прибыль, налог на добавленную стоимость, при этом фактический размер прибыли зависит от уровня согласованной цены с учетом конъюнктуры рынка, то есть спроса на конкретный товар.

В практике построения цен базой служит себестоимость продукции — как нижний предел цены и спрос на продукцию — как верхний предел цены.

В связи с этим цены в настоящее время строятся по затратному методу, без учета каких-либо характеристик самого продукта.

Показатели качества по категориям упитанности мяса, сортов мясных продуктов не отражают истинной принадлежности продукта к той или иной качественной группе.

Классификация мяса по видам, категориям, сортам в настоящее время устанавливается на основе качества, определяемого с учетом энергетической ценности, которая характеризуется количеством энергии высвобождаемой в организме человека из пищевых продуктов для обеспечения его физиологических функций. В связи с этим при разработке нормативно-технической документации на мясо всех видов убойных животных и мясные продукты основным критерием качества являлся показатель энергетической ценности, которая определялась в основном наличием жира в продукте.

Для определения потребительской ценности продуктов необходимо принимать во внимание целый ряд показателей, которые характеризуют биологическую ценность и оптимальную физиологическую полезность продукта, его соответствие нормальным потребностям организма человека с учетом физико-химических показателей. Пищевая ценность мяса и его органолептические показатели тесно связаны со свойствами и количественным соотношением тканей в мясе и их химическим составом, то есть содержанием белков, жиров и углеводов.

Химические методы определения качества мясного сырья и мясных продуктов, широко используемые с середины девятнадцатого века, заложили основу для познания состава и количественного измерения их элементарных компонентов. Однако характеристика качества лишь по химическому составу, то есть с учетом только содержания — жира, общего белка, влаги и золы уже не достаточна. Поэтому более детально исследуются такие показатели, как содержание общего белка по составу — полноценный (мышечный) и неполноценный (соединительнотканый), а жира — по видам жирных кислот: насыщенных и ненасыщенных.

Основным принципом оптимальности набора потребительских свойств должна стать эквивалентность оценок качества сырья и готовой продукции и их потребительских характеристик.

At present, meat and meat products are realized at free-of-control prices, which include a product cost, profit and value-added tax; with that, the real size of profit depends on the level of the agreed price with consideration for market conditions, i.e., the demand of a specific good.

A foundation in the practice of price setting is a product cost as a lower limit of a price and demand for a product as an upper limit of a price.

In this connection, the prices now are set by the cost-based method without consideration for any characteristics of a product per se.

The quality indicators by the categories of meat fatness and grades of meat products do not reflect the true belonging of a product to one or another quality group.

Nowadays, classification of meat by kinds, categories and grades is based on quality determined with regard to the energy value, which is characterized by the quantity of energy released by a human organism from food products for provision of its physiological functions. In this connection, when developing the normative-technical documentation on meat of all kinds of slaughter animals and meat products, the main criteria was the indicator of the energy value, which was detected mainly by the presence of fat in a product.

To detect the consumer value of products, it is necessary to pay attention to several indicators, which characterize the biological value and optimal physiological utility of a product, its correspondence to the normal requirements of a human body with consideration for the physico-chemical indicators. Food value of meat and its organoleptic indicators are closely linked with the properties and quantitative ratio of the tissues in meat and their chemical composition, i.e., content of proteins, fats and carbohydrates.

The chemical methods for detection of meat and meat product quality, which have been widely used since the middle of the 19<sup>th</sup> century, have laid a foundation for revealing the content and quantitative measurement of their elementary constituents. However, characterization of quality only by the chemical composition, i.e., taking into account only the content of fat, total protein, moisture and ash, is not sufficient. Therefore, the indicators such as the content of total protein by composition (complete (muscle) and incomplete (connective tissue)) and fat by the types of fatty acids (saturated and unsaturated) have been studied in more details.

The main principle of the optimum for a set of consumer properties has to be equivalence of quality assessment of raw material and finished products and evaluation of their consumer characteristics.

До настоящего времени ни в одной стране мира при оценке возможной стоимости продукта не учитывались его потребительские свойства. Однако следует отметить, что в начале двухтысячных годов австралийские ученые в своих научных исследованиях в определенной степени затрагивают необходимость учета при построении цен качественных характеристик продуктов и указывают на необходимость определения уровня цен с учетом потребительских свойств мясных продуктов.

Как пишут в своих исследованиях Н. Дж. Симмонс, С.С. Дейли, С.Р. Мудфорд, И. Ричардс и другие, результаты которых опубликованы в статье журнала «Meat Science», в которой указывают на необходимость при построении цен на мясо и мясные продукты принимать во внимание качественные характеристики продуктов, то есть их потребительские свойства [3]. Авторы утверждают, что «компонент пищевого сырья, входящий в истинную потребительскую стоимость, должен быть получен путем точной оценки отдельной мышцы, и эти данные можно свести воедино, чтобы определить стоимость туши убойного животного в целом».

Однако их исследования распространяются только на мясо различных видов убойных животных. Оценку качества мяса австралийские ученые провели по отдельным отрубам, получаемым при разделке и на натуральные мясные продукты, то есть полуфабрикаты, не подвергнутые термической обработке.

По результатам были разработаны австралийские стандарты на мясо (Meat Standards Australia — MSA) — система оценки потребительских характеристик [4]. В 2014–2015 гг. впервые в истории страны проводился Аудит Австралийской говядины по потребительским характеристикам (Australian Beef Eating Quality Audit). Оценка говядины осуществлялась по MSA. Было оценено 3,2 миллиона голов крупного рогатого скота на соответствие MSA (цвет мяса, pH, жир на туше). Подобные аудиты планируется проводить как минимум до 2020 года [5].

Исследования, которые проводились на протяжении многих лет специалистами ВНИИМП им. В.М. Горбатова, позволили установить, качественные характеристики мяса и мясной продукции на основе их структуры, тканевого и химического состава, что, в конечном счете, дало возможность определить комплекс потребительских свойств конкретных мясных изделий.

Учет потребительских свойств, продукции в форме коэффициентов потребительских свойств позволяет оперативно определять основу цены мясной составляющей всех видов продукции выпускаемой на предприятиях мясной промышленности. Таким образом, может быть ликвидировано несоответствие в соотношении цен на животноводческое сырье и продукты его переработки по принципу ценовой эквивалентности с учетом качественных параметров.

Up to date, no country in the world has taken into account the consumer properties of a product in assessment of its possible cost. However, it is necessary to note that at the beginning of 2000s, the Australian scientists in their scientific research to some extent touched upon the necessity to consider the qualitative characteristics of a product in price setting and pointed at the necessity to determine a price level with respect to the consumer properties of meat products.

N.J. Simmons, C.C. Daly, C.R. Mudford, I. Richards et al. in their work published in Meat Science [3] pointed to the necessity to take into account qualitative characteristics of products (i.e., their consumer properties) when setting prices on meat. The authors suggested that the component of food raw material being a constituent of the true value in use has to be derived by the precise assessment of an individual muscle and these data can be converged to detect the value of a slaughter animal carcass in total.

However, their research is extended only to include meat from different species of slaughter animals. The Australian scientists assessed meat quality of individual cuts, which were obtained in cutting, and natural meat products, i.e., semi-prepared products not subjected to thermal treatment.

According to the results, the Meat Standards Australia (MSA), which is an eating quality grading system was developed [4]. In 2014–2015, the Australian Beef Eating Quality Audit was carried out for the first time. Assessment of beef was performed according to MSA. Over 3.2 million cattle were assessed on compliance to MSA (meat color, pH, carcass fat). Similar audits are planned to be performed at least up to 2020 [5].

The research studies that have been carried out by the specialists of V.M. Gorbатов VNIIMP for many years have allowed establishing the qualitative characteristics of meat and meat products on the basis of their structure, tissue and chemical composition, which eventually gave an opportunity to detect a complex of consumer characteristics of the specific meat products.

Accounting of consumer properties, products in the form of the coefficients of consumer properties makes it possible to determine promptly a basis for a price on a meat constituent for all types of products manufactured in the meat sector enterprises. Therefore, a discrepancy between the prices on livestock raw material and products of its processing can be eliminated according to the principle of price equivalence with regard to the quality parameters.

In the conditions of the constantly changing prices in the market, a stable indicator of raw material and finished product quality will enable a prompt solution to the problems regarding development of assortment tasks, sale plans, production programs with the aim of obtaining high economic indicators that ensure breakeven of production and stability of financial situation of an enterprise.

В условиях постоянно меняющихся цен на рынке стабильный показатель качества сырья и готовой продукции обеспечит возможность оперативно решать проблемы по разработке ассортиментной задачи, плана продаж, производственной программы с целью получения высоких экономических показателей, обеспечивающих безубыточность производства и стабильность финансового положения предприятия.

В связи с тем, что коэффициенты потребительских свойств по видам продукции позволяют значительно упростить сырьевые расчеты, это обеспечит оперативность принятия управленческих решений, путем ускоренных расчетов переменных материальных затрат, создадут условия для экспресс расчетов величины маржинального дохода, в рамках внедрения системы управленческого учета на предприятиях мясной отрасли АПК.

Для принятия эффективных управленческих решений при внедрении учета по центрам ответственности коэффициенты обеспечат возможность решения ассортиментных задач с учетом состояния сырьевого потенциала, маркетинговых предпочтений и в конечном счете создадут условия повышения конкурентоспособности производства конкретных видов продукции.

В настоящее время специалистами института разработан методологический подход к определению критериев оценки потребительских свойств мясного сырья и сырьевой составляющей мясной продукции для определения стоимости готовых продуктов.

В основу методологического подхода положен принцип ценовой эквивалентности мяса и мясного сырья с учетом качественных параметров, где основной составляющей должен стать учет потребительских свойств, при формировании стоимости продуктов [6].

В мясной промышленности основными параметрами определяющими качество продукции, которые составляют потребительские свойства продукции, являются показатели морфологии и химического состава сырья и сырьевой составляющей.

Морфология — это содержание мышечной, соединительной, жировой и костной тканей. Морфология мяса определяется в процессе разделки, обвалки и жиловки мяса на костях, которое получают в результате убоя и переработки убойных животных. Химический состав определяется содержанием белков и жиров. К основным белкам, входящим в состав мясных продуктов относятся: мышечные и соединительнотканые белки. Анализ жиросодержащих продуктов проводится гистологическим методом, с учетом содержания жирных кислот (поли- и мононенасыщенных).

В мясной промышленности основными видами убойного скота являются крупный и мелкий рогатый скот, свиньи.

Для определения коэффициентов потребительских свойств мяса на костях установлены критерии оценки всех составных частей. Мясо на костях (мясо в тушах)

Due to the fact that the coefficients of the consumer properties according to product types allow significant simplification of raw material calculation, operativity of managerial decision making will be ensured by accelerated calculation of variable material costs, the conditions for express calculations of a marginal profit value will be created in the framework of introduction of a managerial accounting system in enterprises of the meat sector of the agro-industrial complex.

In terms of making effective managerial decisions upon introduction of accounting by the centers of responsibility, the coefficients will provide an opportunity for solving assortment tasks with consideration for the state of the raw material potential, marketing preferences and, eventually, will create conditions for strengthening competitiveness in manufacturing specific types of production.

Recently, the specialists of the Institute have developed the methodological approach to determination of the criteria for assessing the consumer properties of meat raw material and raw material constituent of meat products for detection of finished product costs.

The basis of the methodological approach is the principle of price equivalence of meat and meat raw material with consideration for qualitative parameters, where the main constituent should be accounting of consumer properties when forming the product cost [6].

In the meat industry, the main parameters determining product quality, which present consumer properties of products, are the indicators of morphology and chemical composition of raw material and raw material constituent.

Morphology is the content of muscle, connective, fatty and bone tissues. Meat morphology is detected in the process of cutting, boning and trimming of bone-in meat, which is obtained as a result of slaughter and processing of slaughter animals. The chemical composition is determined by the content of proteins and fats. The main proteins being constituents of meat products are muscle and connective tissue proteins. The analysis of fat-containing products is carried out by the histological method with account for content of fatty acids (poly- and monounsaturated).

The main species of slaughter animals in the meat industry are cattle, sheep and goats, and pigs.

The criteria for evaluation of all constituent parts are established to determine the coefficients of the consumer properties of bone-in meat. Bone-in meat (meat in carcasses) presents a complex of four types of tissues: muscle, connective tissue, fatty and bone tissues.

представляет собой совокупность четырех видов тканей: мышечной, соединительной, жировой и костной.

На первом этапе были проведены расчеты по определению структуры костного скелета всех видов убойных животных и установлены удельные веса каждого вида костей [7, 8]. Для расчета коэффициентов потребительских свойств костной ткани определены средневзвешенные показатели содержания белка и влаги в костном скелете на основе химического состава и выхода костей по формуле:

$$P_{\text{ср}}^{\text{хим}} = \sum_{i=1}^n (D_i^{\%} \times P_i^{\text{хим}}), \quad (1)$$

где:  $P_{\text{ср}}^{\text{хим}}$  — средневзвешенный показатель химического состава, г на 100 г;  $D_i^{\%}$  — массовая доля  $i$ -й кости в скелете, %;  $P_i^{\text{хим}}$  — показатель химического состава  $i$ -й кости, г на 100 г.

Далее установлено содержание белка в пересчете на абсолютно сухое вещество в костном скелете крупного и мелкого рогатого скота, свиней с учетом выхода кости в туше.

На основании полученных показателей, рассчитан коэффициент потребительских свойств костной ткани, исходя из отношения белка в кости к общему белку в туше по формуле:

$$k_k = B_k \div B_T, \quad (2)$$

где:  $k_k$  — коэффициент потребительских свойств костной ткани;  $B_k$  — содержание белка в кости, г на 100 г;  $B_T$  — содержание белка в туше, г на 100 г.

На следующем этапе рассмотрена соединительная ткань мяса убойных животных. Для определения массовой доли соединительной ткани в туше учитывается соединительная ткань, выделяемая при жиловке одновременно с мышечной тканью и соединительная ткань, которая находится внутри мышечной ткани, то есть межмышечная. Содержание белка всех видов соединительной ткани в пересчете на абсолютно сухое вещество устанавливается с учетом массовой доли ткани в туше.

Коэффициент потребительских свойств соединительной ткани, рассчитывается исходя из отношения белка в соединительной ткани к общему белку в туше по формуле:

$$k_c = B_c \div B_T, \quad (3)$$

где:  $k_c$  — коэффициент потребительских свойств соединительной ткани;  $B_c$  — содержание белка в соединительной ткани, г на 100 г;  $B_T$  — содержание белка в туше, г на 100 г.

Далее определен коэффициент на жировую ткань мяса КРС как отношение энергетической ценности полиненасыщенных жирных кислот (в пересчете на АСВ) к энергетической ценности общей белковой составляющей говядины (в пересчете на АСВ). Расчет проведен с учетом показателя усвояемости говяжьего

At the first stage, the calculations for determination of the structure of the bony skeleton of all species of slaughter animals were carried out and the specific weight of each type of bones was established [7, 8]. To calculate the coefficients of the consumer properties of the bone tissue, the average weighted indicators of the protein and moisture content in the bony skeleton were detected on the basis of the chemical composition and yield of bones according to the equation:

$$I_{\text{av}}^{\text{chem}} = \sum_{i=1}^n (F_i^{\%} \times I_i^{\text{chem}}), \quad (1)$$

where:  $I_{\text{av}}^{\text{chem}}$  — average weighted indicator of the chemical composition, g/100 g;  $F_i^{\%}$  — mass fraction of the  $i^{\text{th}}$  bone in the skeleton, %;  $I_i^{\text{chem}}$  — indicator of the chemical composition of the  $i^{\text{th}}$  bone, g/100 g.

Then, the protein content on an absolutely dry matter basis in the bony skeleton of cattle, sheep and goats, and pigs was established taking into account the bone yield in a carcass.

On the basis of the obtained indicators, the coefficient of the consumer properties of the bone tissue was calculated using the ratio of protein in a bone to the total protein in a carcass according to the equation:

$$C_b = P_b \div P_{\text{carcass}}, \quad (2)$$

where:  $C_b$  — the coefficient of the consumer properties of bone tissue;  $P_b$  — the protein content in a bone, g/100 g;  $P_{\text{carcass}}$  — the protein content in a carcass, g/100 g.

At the following stage, the connective tissue of slaughter animals was examined. To detect the mass fraction of the connective tissue in a carcass, the connective tissue extracted in trimming simultaneously with the muscle tissue and the connective tissue inside the muscle tissue (i.e., intramuscular connective tissue) were taken into account.

The protein content of all types of connective tissue on an absolutely dry matter basis was established taking into account the mass fraction of the connective tissue in a carcass.

The coefficient of the consumer properties of the connective tissue was calculated using the ratio of protein in the connective tissue to the total protein in a carcass according to the equation:

$$C_c = P_c \div P_{\text{carcass}}, \quad (3)$$

where:  $C_c$  — the coefficient of the consumer properties of the connective tissue;  $P_c$  — the content of protein in the connective tissue, g/100 g;  $P_{\text{carcass}}$  — the content of protein in a carcass, g/100 g.

Then, the coefficient for the beef fatty tissue was determined as a ratio of the energy value of polyunsaturated fatty acids (on an absolutely dry matter basis) to the energy value of the total protein constituent of beef (on an absolutely dry matter (ADM) basis). The calculation was carried out using the indicator of digestibility of beef fat

жира (путем соотношения максимальной температуры плавления для полного усвоения жиров и температуры плавления говяжьего жира):

$$k_{\text{ж}}^{\text{ГОВ}} = \frac{\text{ПНЖК}_{\text{АСБ}}^{\text{ГОВ}} \times 9,0}{\text{Б}_{\text{АСБ}}^{\text{ГОВ}} \times 4,0} \times \frac{37^{\circ}\text{C}}{t_{\text{пл}}^{\text{ГОВ}}}, \quad (4)$$

где:  $k_{\text{ж}}^{\text{ГОВ}}$  — коэффициент потребительских свойств жировой ткани мяса КРС;  $\text{ПНЖК}_{\text{АСБ}}^{\text{ГОВ}}$  — содержание полиненасыщенных жирных кислот в жировой ткани мяса КРС в пересчете на абсолютно сухое вещество, г на 100 г;  $\text{Б}_{\text{АСБ}}^{\text{ГОВ}}$  — содержание белка в мясе КРС в пересчете на абсолютно сухое вещество, г на 100 г; 9,0 и 4,0 — энергетическая ценность жира и белка соответственно, ккал/г;  $37^{\circ}\text{C}$  — максимальная температура плавления для полного усвоения жиров;  $t_{\text{пл}}^{\text{ГОВ}}$  — температура плавления говяжьего жира [9].

Коэффициенты потребительских свойств жировой ткани других видов скота определены по отношению к коэффициенту на говяжью жировую ткань с учетом сравнительных показателей соотношения содержания ненасыщенных жирных кислот и температур плавления этих видов жиров по формуле:

$$k_{\text{ж}} = k_{\text{ж}}^{\text{ГОВ}} \times k_1^{\text{CP}} \div k_2^{\text{CP}}, \quad (5)$$

где:  $k_{\text{ж}}$  — коэффициент потребительских свойств жировой ткани рассматриваемого вида мяса;  $k_{\text{ж}}^{\text{ГОВ}}$  — коэффициент потребительских свойств жировой ткани мяса КРС;  $k_1^{\text{CP}}$  — сравнительный показатель соотношения содержания ненасыщенных жирных кислот в жировой ткани рассматриваемого вида мяса (ННЖК) и жировой ткани говядины (ННЖК<sup>ГОВ</sup>),

$$k_1^{\text{CP}} = \text{ННЖК} \div \text{ННЖК}^{\text{ГОВ}};$$

$k_2^{\text{CP}}$  — сравнительный показатель соотношения температур плавления жировой ткани рассматриваемого вида мяса ( $t_{\text{пл}}$ ) и жировой ткани говядины ( $t_{\text{пл}}^{\text{ГОВ}}$ ),

$$k_2^{\text{CP}} = t_{\text{пл}} \div t_{\text{пл}}^{\text{ГОВ}}.$$

Сводная формула расчета коэффициента потребительских свойств на жировую ткань мяса различных видов скота, за исключением КРС, выглядит следующим образом:

$$k_{\text{ж}} = \frac{k_{\text{ж}}^{\text{ГОВ}} \times \text{ННЖК} \times t_{\text{пл}}^{\text{ГОВ}}}{\text{ННЖК}^{\text{ГОВ}} \times t_{\text{пл}}}. \quad (6)$$

Расчет коэффициентов потребительских свойств мышечной ткани определяется как показатель потребительских свойств жилованного мяса с учетом полученных показателей потребительских свойств костной ( $k_{\text{к}}$ ), жировой ( $k_{\text{ж}}$ ) и соединительной ( $k_{\text{с}}$ ) тканей и долей соответствующих тканей в мясе на костях, за единицу принято значение показателя потребительской стоимости мяса на костях соответствующего вида скота:

$$k_{\text{жил}} = 1 - (k_{\text{к}} \times \text{Д}_{\text{к}}^{\%} + k_{\text{ж}} \times \text{Д}_{\text{ж}}^{\%} + k_{\text{с}} \times \text{Д}_{\text{с}}^{\%})$$

$$\text{или} \quad k_{\text{жил}} = 1 - \sum_{i=\text{к,ж,с}} (k_i \times \text{Д}_i^{\%}), \quad (7)$$

(by correlation of the maximum melting temperature for full digestibility of fats and the melting temperature of beef fat):

$$C_{\text{f}}^{\text{beef}} = \frac{\text{PUFA}_{\text{ADM}}^{\text{beef}} \times 9,0}{\text{P}_{\text{ADM}}^{\text{beef}} \times 4,0} \times \frac{37^{\circ}\text{C}}{t_{\text{melting}}^{\text{beef}}}, \quad (4)$$

where:  $C_{\text{f}}^{\text{beef}}$  — the coefficient of the consumer properties of the beef fatty tissue;  $\text{PUFA}_{\text{ADM}}^{\text{beef}}$  — the content of the polyunsaturated fatty acids (on an absolutely dry matter (ADM) basis) in the beef fatty tissue, g/100g;  $\text{P}_{\text{ADM}}^{\text{beef}}$  — the content of protein in beef on an absolutely dry matter (ADM) basis, g/100g; 9.0 and 4.0 — energy value of fat and protein, respectively, kcal/g;  $37^{\circ}\text{C}$  — the maximum melting temperature for full digestion of fats;  $t_{\text{melting}}^{\text{beef}}$  — the melting temperature of beef fat [9].

The coefficients of the consumer properties of the fatty tissue of meat from other examined animal species were determined with respect to the coefficient for the beef fatty tissue with consideration for the comparative indicators of the ratio of the unsaturated fatty acid content and the melting temperature of these fats according to the equation:

$$C_{\text{f}} = C_{\text{f}}^{\text{beef}} \times C_1^{\text{comp}} \div C_2^{\text{comp}}, \quad (5)$$

где:  $C_{\text{f}}$  — the coefficient of the consumer properties of the fatty tissue of a kind of meat under consideration;  $C_{\text{f}}^{\text{beef}}$  — the coefficient of the consumer properties of the beef fatty tissue;  $C_1^{\text{comp}}$  — the comparative indicator of the ratio of the unsaturated fatty acid (UFA) content in the fatty tissue of a kind of meat under consideration and beef fatty tissue ( $\text{UFA}^{\text{beef}}$ ),

$$C_1^{\text{comp}} = \text{UFA} \div \text{UFA}^{\text{beef}};$$

$C_2^{\text{comp}}$  — the comparative indicator of the melting temperature of the fatty tissue of a kind of meat under consideration ( $t_{\text{melting}}$ ) and beef fatty tissue ( $t_{\text{melting}}^{\text{beef}}$ ),

$$C_2^{\text{comp}} = t_{\text{melting}} \div t_{\text{melting}}^{\text{beef}}.$$

The summary equation for calculating the coefficient of the consumer properties of fatty tissues of meat from other examined animal species is as follows:

$$C_{\text{f}} = \frac{C_{\text{f}}^{\text{beef}} \times \text{UFA} \times t_{\text{melting}}^{\text{beef}}}{\text{UFA}^{\text{beef}} \times t_{\text{melting}}}. \quad (6)$$

Calculation of the coefficients of the consumer properties of the muscle tissue is determined as an indicator of the consumer properties of trimmed meat with consideration for the obtained indicators of the consumer properties of the bone ( $C_{\text{б}}$ ), fatty ( $C_{\text{ф}}$ ) and connective ( $C_{\text{с}}$ ) tissues and the fractions of the corresponding tissues in bone-in meat; the value of the consumer properties of bone-in meat of the corresponding species of farm animals was taken as a unit:

$$C_{\text{trimmed}} = 1 - (C_{\text{б}} \times \text{F}_{\text{б}}^{\%} + C_{\text{ф}} \times \text{F}_{\text{ф}}^{\%} + C_{\text{с}} \times \text{F}_{\text{с}}^{\%})$$

$$\text{or} \quad C_{\text{trimmed}} = 1 - \sum_{i=\text{б,ф,с}} (C_i \times \text{F}_i^{\%}), \quad (7)$$

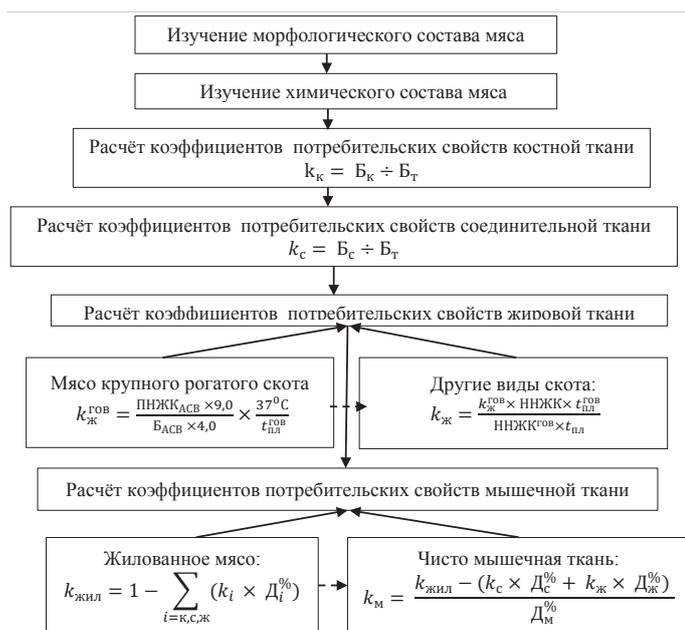
где:  $k_i$  — коэффициент потребительской стоимости костной, соединительной, жировой тканей (индексы  $i = k, c, ж$ );  $D_i^{\%}$  — доля соответствующего вида ткани в общей массе жилованного мяса, %.

Кроме того, учитывается содержание в жилованном мясе внутримышечных волокон (соединительных и жировых) по формуле:

$$k_m = \frac{k_{жил} - (k_c \times D_c^{\%} + k_{ж} \times D_{ж}^{\%})}{D_m^{\%}}, \quad (8)$$

где:  $k_m$  — коэффициент потребительских свойств мышечной ткани;  $k_{жил}$  — коэффициент потребительских свойств жилованного мяса;  $k_c$  — коэффициент потребительских свойств соединительной ткани;  $k_{ж}$  — коэффициент потребительских свойств жировой ткани;  $D_c^{\%}$  — массовая доля соединительнотканых волокон в жилованном мясе, %;  $D_{ж}^{\%}$  — массовая доля жировых волокон в жилованном мясе, %;  $D_m^{\%}$  — массовая доля чисто мышечной ткани в жилованном мясе, %.

Рассмотренные принципы расчетов коэффициентов потребительских свойств всех тканей убойных животных представлены в форме алгоритма на рисунке 2.



where:  $C_i$  — the coefficient of the consumer properties of the bone, connective and fatty tissues (indices  $i = b, c, f$ );  $F_i^{\%}$  — the proportion of the corresponding type of tissues in the total mass of trimmed meat, %.

In addition, the content of intramuscular fibers (connective tissue and fat) is taken into account in trimmed beef according to the equation:

$$C_m = \frac{C_{trimmed} - (C_c \times F_c^{\%} + C_f \times F_f^{\%})}{F_m^{\%}}, \quad (8)$$

where:  $C_m$  — the coefficient of the consumer properties of the muscle tissue;  $C_{trimmed}$  — the coefficient of the consumer properties of trimmed meat;  $C_c$  — the coefficient of the consumer properties of the connective tissue;  $C_f$  — the coefficient of the consumer properties of the fatty tissue;  $F_c^{\%}$  — mass fraction of the connective tissue fibers in trimmed meat, %;  $F_f^{\%}$  — mass fraction of the fatty fibers in trimmed meat, %;  $F_m^{\%}$  — mass fraction of purely muscle tissue in trimmed meat, %.

The examined principles for calculating the coefficients of the consumer properties for all tissues of slaughter animals are presented in a form of an algorithm in Fig. 2.

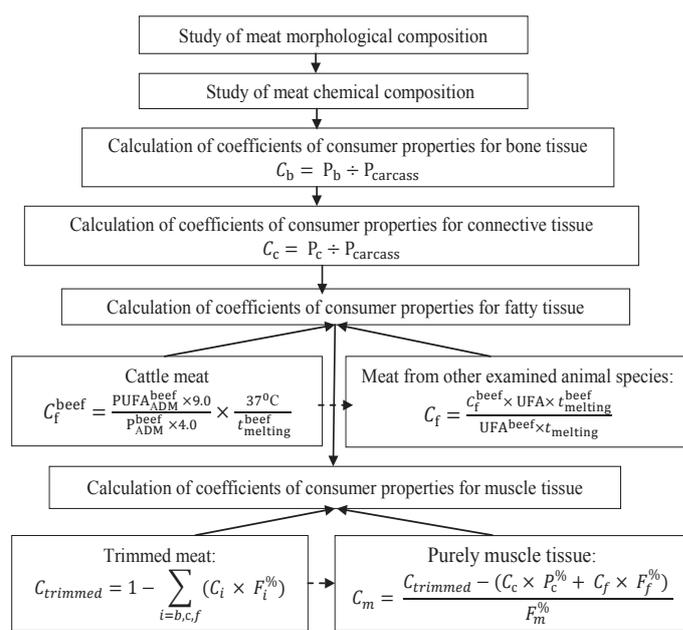


Figure 2. The algorithm for calculation of the coefficients of the consumer properties for all tissues of slaughter animals

Рис. 2. Алгоритм расчета коэффициентов потребительских свойств всех тканей убойных животных

### Результаты

На основании разработанного алгоритма проведены расчеты коэффициентов потребительских свойств по тканевому составу мяса крупного и мелкого рогатого скота, свиней. Расчет показателей, характеризующих потребительские свойства всех составляющих частей туш основных видов убойных животных, проводится с учетом морфологического состава. В процессе разделки туш выделяют мясо на костях, мясо жилованное, мышечную ткань, жир-сырец, соединительную ткань (хрящи) и костную ткань в соответствии технологической инструкцией по обвалке и жиловке мяса.

### Results

On the basis of the developed algorithm, the coefficients of the consumer properties by tissue composition of meat from cattle, sheep and goats, and pigs were calculated. The calculation of the indicators characterizing the consumer properties of all constituent parts of carcasses of the main species of slaughter animals is carried out taking into account the morphological composition. In the process of carcass cutting, bone-in meat, trimmed meat, muscle tissue, raw fat, connective tissue (cartilages) and bone tissue are extracted according to the technological instruction on meat boning and trimming.

На основании проведенных расчетов установлены коэффициенты потребительских свойств на все виды тканей, составляющих тушу крупного и мелкого рогатого скота, свиней, которые представлены в таблице 1.

Кроме основных составляющих: мышечной, соединительной, жировой и костных тканей в процессе разделки, обвалки и жиловки туш убойных животных образуются технические зачистки. В основном они состоят из лимфатических узлов и желез внутренней секреции, на долю которых приходится от 0,1% живой массы у свиней и мелкого рогатого скота и до 0,8% у крупного рогатого скота. Исходя из морфологического и химического состава технических зачисток, коэффициент потребительских свойств установлен на уровне 0,03, для трех видов убойных животных (крупного, мелкого рогатого скота и свиней).

В таблице 2 представлены сводные данные по выходам и коэффициентам потребительских свойств по тканям туш крупного и мелкого рогатого скота, свиней.

Установленные на основании проведенных исследований коэффициенты для тканей туш трех видов убойного скота будут применяться при определении показателей качества всех мясных изделий [10].

On the basis of the conducted calculations, the coefficients of the consumer properties for all types of tissues being constituents of a carcass of cattle, sheep and goats, and pigs were established (Table 1).

In addition to the main constituents (muscle, connective, fatty and bone tissues) technical scrapings are formed in the process of cutting, boning and trimming of slaughter animal carcasses. They are mainly composed of the lymphatic nodes and endocrine glands, which account for up to 0.8% of the live weight in cattle and 0.1% in sheep and goats, and pigs. Based on the morphological and chemical composition of the technical scrapings, the coefficient of the consumer properties was established at the level of 0.03 for three kinds of slaughter animals (cattle, sheep and goats, and pigs).

Table 2 presents the summary data of yields and coefficients of the consumer properties by tissues of carcasses from cattle, sheep and goats, and pigs.

The coefficients for the tissues of three kinds of slaughter animals, which were established based on the performed experiments, will be used when determining the quality indicators of all meat products [10].

**Table 1. Coefficients of consumer properties | Табл. 1. Коэффициенты потребительских свойств**

Name   Наименование	Coefficients   Коэффициенты		
	cattle   крупный рогатый скот	pigs   свиньи	sheep and goats   мелкий рогатый скот
Bone-in meat, including:   Мясо на костях, в том числе:	1.0	1.0	1.0
Muscle tissue   Мышечная ткань	1.60	1.77	1.61
Fatty tissue   Жировая ткань	0.27	0.38	0.24
Connective tissue, cartilages   Соединительная ткань, хрящи	0.2	0.2	0.2
Bone   Кость	0.1	0.1	0.19

**Table 2. Summary table of yields and coefficients of the consumer properties by tissues**

**Табл. 2. Сводная таблица по выходам и коэффициентам потребительских свойств по тканям**

	Cattle   Крупный рогатый скот		Pigs   Свиньи		Sheep and goats   Мелкий рогатый скот	
	yield, %   выход, %	coefficients   коэффициенты	yield, %   выход, %	coefficients   коэффициенты	yield, %   выход, %	coefficients   коэффициенты
Bone-in meat   Мясо на костях	100.00	1.0	100.00	1.0	100.0	1.0
excluded:   Исключается:						
bone   кость	21.20	0.10	12.08	0.10	25.78	0.19
fat, back fat   жир, шпик	2.75	0.27	15.66	0.38	1.43	0.24
connective tissue, cartilages   соединительная ткань, хрящи	2.90	0.20	2.01	0.20	1.58	0.20
technical scrapings, losses   технические зачистки, потери	0.90	—	0.20	—	0.20	—
excluded, in total:   Итого исключается	27.75	—	29.95	—	28.99	—
Trimmed meat, including:   Жилованное мясо, в том числе:	72.25	1.34	70.05	1.29	71.01	1.33
— fatty tissue   — жировая ткань	4.22	0.27	21.44	0.38	7.31	0.24
— connective tissue   — соединительная ткань	9.25	0.20	2.38	0.20	6.89	0.20
— purely muscle tissue   — чисто мышечная ткань	58.78	1.60	46.23	1.77	56.81	1.61

В мясной промышленности вырабатывается несколько основных групп мясных продуктов: полуфабрикаты и кулинарные изделия, колбасные изделия, продукты из мяса, консервы. Доля мясной составляющей в каждой группе продуктов значительно различается.

Мясные полуфабрикаты содержат до 100% мясного сырья, поэтому определение мясной сырьевой составляющей этих продуктов, практически дает возможность устанавливать качественные характеристики собственно мясных продуктов. В мясных полуфабрикатах доля мышечной ткани зависит от содержания этой ткани в частях туш или конкретных мышц убойных животных, из которых они вырабатываются.

На основании коэффициентов потребительских свойств отдельных тканей и удельных весов этих тканей, входящих в состав конкретных продуктов, то есть, их морфологии проводится расчет показателей качества полуфабрикатов.

Основной составляющей полуфабрикатов является мышечная ткань. Ее доля в говяжьих полуфабрикатах колеблется от 70 до 96%, в свиных — от 67 до 96,8%, в бараньих — от 68 до 95%. Далее по значимости в говяжьих и бараньих полуфабрикатах находится соединительная ткань от 5 до 25%, в свиных — жировая ткань, доля которой в некоторых продуктах доходит — до 50%.

На основании морфологии мясных полуфабрикатов и коэффициентов потребительских свойств отдельных тканей проведены расчеты коэффициентов на все виды полуфабрикатов. Расчеты проводятся по формулам.

Коэффициент для бескостных полуфабрикатов (*Киб*):

$$Киб = Км \times Ум + Кс \times Ус + Кж \times Уж; \quad (9)$$

Коэффициент для полуфабрикатов на кости (*Кнк*):

$$Кнк = Км \times Ум + Кс \times Ус + Кж \times Уж + Кк \times Ук; \quad (10)$$

где: *Км* — коэффициент потребительских свойств мышечной ткани, *Ум* — удельный вес мышечной ткани в составе продукта, *Кс* — коэффициент потребительских свойств соединительной ткани, *Ус* — удельный вес соединительной ткани в продукте, *Кж* — коэффициент потребительских свойств жировой ткани, *Уж* — удельный вес жировой ткани в составе продукта, *Кк* — коэффициент потребительских свойств костной ткани, *Ук* — удельный вес костной ткани в составе продукта.

Таким образом, были определены коэффициенты на все наименования полуфабрикатов, которые вырабатываются из говядины и свинины по техническим условиям (ТУ 9214-345-00419779-06 и ТУ 9214-456-00419779-03). Для крупнокусковых полуфабрикатов, установленный коэффициент потребительских свойств, колеблется: для говяжьих — от 1,51 до 1,27, для свиных — от 1,61 до 1,29, для бараньих — от 1,81 до 1,22.

Для порционных и мелкокусковых коэффициенты потребительских свойств составляют соответственно:

The meat industry produces several main groups of meat products: semi-prepared products and culinary products, sausage products, smoked meats and canned foods. The proportion of the meat constituent in each product group is different.

Meat semi-prepared products contain up to 100% of meat raw material; thus, determination of meat raw material constituent in these products practically gives an opportunity to establish the quality characteristics of meat products per se. In meat semi-prepared products, the proportion of muscle tissue depends on the content of this tissue in parts of carcasses or individual muscles of slaughter animals, from which they are produced.

On the basis of the coefficients of the consumer properties of the individual tissues and specific weights of these tissues being constituents of particular products (i.e., their morphology), the calculation of the quality indicators of semi-prepared products was carried out.

The main constituent of the semi-prepared products is the muscle tissue. Its proportion in the beef semi-prepared products varies from 70 to 96%, in the pork semi-prepared products from 67 to 96.8%, and in the lamb semi-prepared products from 68 to 95%.

The next important tissue is the connective tissue (5 to 25%) in the semi-prepared products from beef and lamb and the fatty tissue in the pork semi-prepared products (up to 50% in several products).

Based on the morphology of the meat semi-prepared products and coefficients of the consumer properties of the individual tissues, the coefficients for all types of semi-prepared products were calculated. The calculations were carried out according to the equations.

The coefficient for the boneless semi-prepared products (*Cblsp*):

$$Cblsp = Cm \times Sm + Cc \times Sc + Cf \times Sf; \quad (9)$$

The coefficient for the bone-in semi-prepared products (*Cbsp*):

$$Cbsp = Cm \times Sm + Cc \times Sc + Cf \times Sf + Cb \times Sb; \quad (10)$$

where: *Cm* — the coefficient of the consumer properties of the muscle tissue, *Sm* — the specific weight of the muscle tissue in a product composition, *Cc* — the coefficient of the consumer properties of the connective tissue, *Sc* — the specific weight of the connective tissue in a product composition, *Cf* — the coefficient of the consumer properties of the fatty tissue, *Sf* — the specific weight of the fatty tissue in a product composition, *Cb* — the coefficient of the consumer properties of the bone tissue, *Sb* — the specific weight of the bone tissue in a product composition.

Therefore, the coefficients were determined for all types of semi-prepared products that are produced from beef and pork under the technical specifications (ТУ 9214-345-00419779-06 and ТУ 9214-456-00419779-03). For the semi-prepared products in chunks, the established coefficient of the consumer properties varies: for beef from 1.51 to 1.27, for pork — from 1.61 to 1.29, for lamb — from 1.81 to 1.22.

1,51–1,29 — для говяжьих, 1,61–1,23 — для свиных, от 1,5 до 0,83 — для бараньих, для рубленых полуфабрикатов и фаршевых — 1,19–0,83.

Определение коэффициентов потребительской стоимости на группу изделий, подвергнутых термической обработке, проведено только для мясной составляющей этих продуктов.

В общей сумме затрат на производство мясных продуктов, подвергнутых термической обработке (колбасные изделия, продукты из мяса и консервы), в среднем составляет порядка 70% стоимость сырья: мяса различных видов и основных мясных составляющих материалов. Количество сырья, направляемого на выработку конкретного продукта, четко регламентировано рецептурой и выходами продукции. Таким образом, для определения коэффициентов потребительских свойств конечного продукта достаточно установить коэффициенты для мясной составляющей и основных видов мясных материалов.

Расчеты коэффициентов потребительской стоимости колбасных изделий проведены для всех наименований этой группы мясных продуктов на основании рецептур, т.е. соотношений сырья и основных материалов. Коэффициенты исчислены исходя из показателей потребительских свойств всех видов сырья и материалов, входящих в рецептурный состав.

Коэффициенты потребительских свойств мясной составляющей продуктов ( $K_{мс}$ ), подвергнутых термической обработке на все виды мясных продуктов определялись на основе показателей качества основных тканей: мышечной, соединительной и жировой по формуле:

$$K_{мс} = K_m \times U_m + K_c \times U_c + K_{ж} \times U_{ж}; \quad (11)$$

где:  $K_m$  — коэффициент потребительских свойств мышечной ткани,  $U_m$  — удельный вес мышечной ткани мясной составляющей продукта,  $K_c$  — коэффициент потребительских свойств соединительной ткани,  $U_c$  — удельный вес соединительной ткани в мясной части продукта,  $K_{ж}$  — коэффициент потребительских свойств жировой ткани,  $U_{ж}$  — удельный вес жировой ткани мясной составляющей в составе продукта.

Для вареных колбасных изделий были установлены коэффициенты: для изделий высших сортов — 1,28–1,09, для первых сортов — 1,2–0,91, для вторых сортов — 1,04–0,94, для сосисок, сарделек, шпикачек — 1,26–0,94.

В группе полукопченых колбас коэффициенты составили 1,1–0,93, варено-копченых коэффициенты колебались от 1,26 до 1,02, в группе сырокопченых колбасных изделий коэффициенты — 1,26–0,86.

Следующая группа — это продукты из мяса, которые до последнего времени назывались копчености. Для этих продуктов, которые выпускаются без шкурки, коэффициенты установлены от 1,51 до 0,57, вырабатываемых со шкуркой — от 1,46 до 0,53.

For the portion-sized semi-prepared products and semi-prepared products in small pieces, the coefficients of the consumer properties are 1.51–1.29 for beef, 1.61–1.23 for pork, 1.5–0.83 for lamb. For the minced semi-prepared products and mincemeat, the respective coefficients are 1.19–0.83.

Determination of the coefficients of the consumer properties for the group of products subjected to the thermal treatment was carried out only for the meat constituent of these products.

In the total sum of the product costs for meat products subjected to thermal treatment (sausage products, smoked meats and canned foods) the raw material costs are on average about 70%: meat of different kinds and the main meat constituent materials. An amount of raw material sent to production of a particular product is clearly regulated by a recipe and product yields. Therefore, to detect the coefficients of the consumer properties for the finished products, it is sufficient to establish the coefficients of a meat constituent and the main types of the meat materials.

The calculations of the coefficients of the value in use for sausage products were carried out for all items of this group of meat products on the basis of the recipes (i.e., the ratio of raw material and the main materials). The coefficients were calculated based on the indicators of the consumer properties of all kinds of raw material and materials being a part of a recipe.

The coefficients of the consumer properties of the meat component of products ( $C_{mc}$ ) subjected to thermal treatment for all kinds of meat products were determined based on the quality indicators of the main tissues: the muscle, connective and fatty tissues according to the equation:

$$C_{mc} = C_m \times S_m + C_c \times S_c + C_f \times S_f; \quad (11)$$

where:  $C_m$  — the coefficient of the consumer properties of the muscle tissue,  $S_m$  — the specific weight of the muscle tissue of the meat component of a product,  $C_c$  — the coefficient of the consumer properties of the connective tissue,  $S_c$  — the specific weight of the connective tissue in the meat part of a product,  $C_f$  — the coefficient of the consumer properties of the fatty tissue,  $S_f$  — the specific weight of the fatty tissue of the meat component of a product.

For cooked sausage products, the following coefficients were established: 1.28–1.09 for products of the top grades, 1.2–0.91 for the first grades, 1.04–0.94 for the second grades and 1.26–0.94 for small sausages and shpikachki (small sausages with fat).

The coefficients were 1.1–0.93 in the group of semi-smoked sausages, 1.26–1.02 in the group of cooked smoked sausages 1.26–1.02, and 1.26–0.86 in the group of the uncooked smoked sausages.

The next group is the products from meat, which until recently were named smoked products. For this group, the following coefficients were established: 1.51 to 0.57 for the products without skin and 1.46 to 0.53 for products with skin.

Однако установленные коэффициенты выражают пищевую ценность мясных изделий без учета выхода готовой продукции, который зависит от степени термической обработки. Для определения коэффициентов потребительских свойств таких мясных продуктов в соответствии с конкретным выходом готовой продукции, который определяет степень термической обработки, коэффициенты должны корректироваться. Например, колбаса говяжья вырабатывается из говядины с добавлением меланжа, выход составляет 110%.

На производство вареной говяжьей колбасы расходуется: говядина высшего сорта 50%, коэффициент — 1,51; говядина первого сорта 20%, коэффициент — 1,37; говядина жирная 25%, коэффициент — 0,85; меланж 5%, коэффициент — 0,68.

Расчет коэффициента на колбасу говяжью вареную:

$$1,51 \times 50 + 1,37 \times 20 + 0,85 \times 25 + 0,68 \times 5 : 100 = 1,28.$$

С учетом выхода колбасы — 110%, коэффициент на готовую продукцию составит 1,16 (1,28 : 110%).

Коэффициенты на мясо в тушах, полутушах, четвертинах по категориям упитанности, на мясо на костях по тканям, по сортам, по отрубам, по мышцам, а также на все виды мясных продуктов — полуфабрикаты, колбасные изделия и продукты из мяса представлены в «Справочнике показателей потребительских свойств мяса и мясных продуктов», который разработали специалисты института. Коэффициенты на мясо мелкого рогатого скота и продукты, изготавливаемые из баранины, разрабатываются в 2016 году и будут изданы.

### Выводы

Установленные коэффициенты потребительских свойств позволят оперативно, в условиях постоянно меняющихся цен на мясо, определять стоимость сырья любого вида мясных изделий без предварительных расчетов себестоимости при разделке, обвалке и жиловке. Кроме того, применяя эти коэффициенты, можно учесть и изменения в технологии производства, которые влияют на выход продукции.

Использование установленных показателей обеспечит менеджменту предприятия возможности оперативного принятия управленческих решений для определения эффективных путей развития производства с целью повышения конкурентоспособности продукции и создания таких условий, при которых потребность в конкретном товаре будет удовлетворяться с минимальными затратами и получением положительных финансовых результатов.

However, the established coefficients express the food value of meat products without taking into account the yields of finished products, which depend on the degree of thermal treatment. The coefficients should be adjusted to calculate the coefficients of consumer properties of such meat products according to a specific yield of finished products, which determine the degree of thermal treatment. For example, beef sausage is produced from beef with addition of *mélange* and the yield is 110%.

In production of cooked beef sausage, the following ingredients are used: 50% beef of the top grade, coefficient: 1.51; 20% beef of the first grade, coefficient: 1.37; 25% fat beef, coefficient: 0.85; 5% *mélange*, coefficient: 0.68.

The calculation of the coefficient for cooked beef sausage:

$$1.51 \times 50 + 1.37 \times 20 + 0.85 \times 25 + 0.68 \times 5 : 100 = 1.28.$$

With consideration of the sausage yield of 110%, the coefficient for a finished product is 1.16 (1.28 : 110%).

The coefficients for meat in carcasses, semi-carcasses, quarters by the fattiness categories, for bone-in meat by tissues, by grades, by cuts, by muscles and for all kinds of meat products (semi-prepared products, sausage products and smoked meats) are presented in «A Reference Book of the Indicators of the Consumer Properties of Meat and Meat Products», which was developed by the specialists of the Institute. The coefficients on meat of sheep and goats and the products produced from lamb are under development in 2016 and will be published.

### Conclusion

The established coefficients of the consumer properties will allow operative assessment of raw material costs for all kinds of meat products in the conditions of constantly changing prices on meat without preliminary calculation of prime costs upon cutting, boning and trimming. Moreover, using these coefficients, it is possible to account for changes in a production technology, which influence the product yield.

The use of the established indicators will provide enterprise management with an opportunity to promptly make managerial decisions for determining effective ways for production development in order to strengthen product competitiveness and create conditions, under which a demand for a particular good will be satisfied with minimal expenses and positive financial results.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Салимжанов И.К. Ценообразование: учебник / И.К. Салимжанов. — М.: КНОРУС, 2007. — С. 304.
2. Лисицын А.Б. Взаимосвязь потребительских свойств и цен на мясные продукты / А.Б. Лисицын, Н.Ф. Небурчилова, Е.А. Мишенина // *Fleischwirtschaft International*. Россия. — 2008. — № 1. — С. 77–78.
3. Simmons N.J. Integrated technologies to enhance meat quality — An Australasian perspective / N.J. Simmons, C.C. Daly, C.R. Mudford, I. Richards, G. Jarvis, H. Pleiter. — *Meat Science*. — 2006. — Volume 74, Issue 1. — P. 172–179.
4. <http://www.australian-meat.com/uploadedFiles/Foodservice/Resources/Publications/MSA-Beef-Fact-Sheet-2014.pdf>. (дата обращения 04.08.2016).
5. [http://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/blocks/marketing-beef-and-lamb/msa\\_beq-report14-15\\_web.pdf](http://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/blocks/marketing-beef-and-lamb/msa_beq-report14-15_web.pdf). (дата обращения 08.08.2016).
6. Лисицын А.Б. Аспекты определения стоимости мяса на основе объективных критериев качества / А.Б. Лисицын, Н.Ф. Небурчилова, А.С. Чернова // *Все о мясе*. — 2015. № 4. — С. 6–9.
7. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАН, проф. В.А. Тутельяна. — М.: ДеЛи принт, 2002. — С. 236.
8. Рогов И.А. Химия пищи: учебное пособие // И.А. Рогов, Л.В. Антипова, Н.И. Дунченко. — М.: КолосС, 2007. — С. 853.
9. Файвишевский М.Л. Производство пищевых животных жиров. — М.: Антиква, 1995. — С. 6–14.
10. Лисицын А.Б. Price system and economic law conflicting / А.Б. Лисицын, Н.Ф. Небурчилова, Е.А. Мишенина // *Fleischwirtschaft International*. — 2007. — № 5. — P. 52–53.

## REFERENCES

1. Salimzhanov I.C. Price formation: textbook / I.C. Salimzhanov. — M.: KNORUS, 2007. — P. 304.
2. Lisitsyn A.B. Interrelation of consumer properties and prices on meat products / A.B. Lisitsyn, N.F. Neburchilova, E.A. Mishenina // *Fleischwirtschaft International*. Russia. — 2008. — Issue 1. — P.77–78.
3. Simmons N.J. Integrated technologies to enhance meat quality — An Australasian perspective / N.J. Simmons, C.C. Daly, C.R. Mudford, I. Richards, G. Jarvis, H. Pleiter. — *Meat Science*. — 2006. — Volume 74, Issue 1. — P. 172–179.
4. <http://www.australian-meat.com/uploadedFiles/Foodservice/Resources/Publications/MSA-Beef-Fact-Sheet-2014.pdf>. (дата обращения 04.08.2016).
5. [http://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/blocks/marketing-beef-and-lamb/msa\\_beq-report14-15\\_web.pdf](http://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/blocks/marketing-beef-and-lamb/msa_beq-report14-15_web.pdf). (дата обращения 08.08.2016).
6. Lisitsyn A.B. Aspects of determination of meat costs on the basis of the objective criteria / A.B. Lisitsyn, N.F. Neburchilova,, A.S. Chernova // *All about meat*. — 2015. Issue 4. — P. 6–9.
7. Chemical composition of the Russian food products / Reference book. Under the editorship of the corresponding member of RAS, prof. I.M. Skurikhin and academician of RAMN V.A. Tutelyan. Reference book. -M.: DeLi print. — 2002, 236 pages.
8. Rogov I.A. Chemistry of food: textbook// I.A. Rogov, L.V. Antipova, N.I. Dunchenko. — M.: KolosS, 2007. — P. 853.
9. Faivishevsky M.L. Production of food-grade animal fats. — M.: Antikva, 1995. — P. 6–14.
10. Lisitsyn, A.B. Price system and economic law conflicting / A.B. Lisitsyn, N.F. Neburchilova, E.A. Mishenina // *Fleischwirtschaft International*. — 2007. — Issue 5. — P. 52–53.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

#### Принадлежность к организации

**Небурчилова Нина Федоровна** — кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, руководитель направления Экономических проблем мясной промышленности Центра «Экономико-аналитические исследования и информационные технологии, Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26.  
Тел.: 8-495-676-67-31  
E-mail: econ@vniimp.ru

**Петрунина Ирина Всеволодовна** — старший научный сотрудник направления Экономических проблем мясной промышленности Центра «Экономико-аналитические исследования и информационные технологии ФБГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова», 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: 8-495-676-67-31  
E-mail: econ@vniimp.ru

#### Критерии авторства

Ответственность за работу и предоставленные сведения несут все авторы.  
Все авторы в равной степени участвовали в этой работе.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 01.06.2016

### AUTOR INFORMATION

#### Affiliation

**Neburchilova Nina Fedorovna** — candidate of economic sciences, docent, leading scientific worker, Head of the Direction of the Economic Problems in the Meat Industry of the Center of the Economic Analytical Investigations and Information Technologies, The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute 109316, Talalikhina str. 26, Moscow, Russia  
Tel.: 8-495-676-67-31  
E-mail: econ@vniimp.ru

**Petrunina Irina Vladimirovna** — senior research worker, the Direction of the Economic Problems in the Meat Industry of the Center of the Economic Analytical Investigations and Information Technologies of FBGNU “The V.M. Gorbatov All-Russian Meat Research Institute” Address: 109316, Talalikhina str. 26, Moscow, Russia  
Tel.: 8-495-676-67-31  
E-mail: econ@vniimp.ru

#### Contribution

All authors bear responsibility for the work and presented data.  
All authors made an equal contribution to the work.

#### Conflict of interest

The authors declares no conflict of interest.

Received 01.06.2016