

УДК 63:536.6:662.987

Д. И. Борисенко, А. С. Исаев, Н. С. Грибова,
И. А. Кечкин, И. В. Кузьмичев, А. А. Локтев, К. В. Меркулов,
А. О. Никитина, А. А. Поддубный, С. А. Симонов

Разработка экспериментального стенда для исследования очагов самонагрева в сыпучих средах

Для исследования условий возникновения и закономерностей развития очагов самонагрева в сыпучих средах, в том числе и слежавшихся, разработан экспериментальный стенд, позволяющий выявлять взаимные связи теплофизических характеристик исследуемой среды и внешних параметров. Стенд позволяет управлять процессами, протекающими в исследуемой среде: провоцировать возникновение очагов самонагрева и варьировать интенсивность их развития, а также регистрировать пространственно-временные распределения температуры и влажности, по которым восстанавливаются интересующие характеристики среды. Емкость с исследуемой сыпучей средой представляет собой вертикальный цилиндр, в котором реализуется осесимметричная задача за счет возникновения очага самонагрева в толще исследуемой среды – на оси симметрии емкости. Очаг создается в заданном месте сыпучей среды путем доставки в него влаги с заданными характеристиками по специальному каналу и нагреву заданного места до нужного значения. Отвод тепла из очага самонагрева осуществляется за счет передачи тепла охлаждающей жидкости, находящейся в теплозаборной трубке. Теплозаборная трубка помещается внутри системы теплоотвода представляющей собой секционную трубу, устанавливаемую в толще исследуемой сыпучей среды. Для исключения неконтролируемых перетоков тепла из очага самонагрева по системе теплоотвода, секции трубы, расположенные вне зоны провоцирования очага самонагрева, изготавливаются из материала с низким коэффициентом теплопроводности. Напротив, секция, расположенная в зоне очага, изготавливается из высокотеплопроводного материала. Для улучшения теплового контакта между теплозаборной трубкой и внутренней поверхностью теплопроводящей секции системы теплоотвода используется промежуточный теплоноситель. Попадание промежуточного теплоносителя в пространство между теплозаборной трубкой и внутренней поверхностью теплопроводящей секции системы теплоотвода происходит автоматически при необходимости отвода тепла из очага самонагрева.

Ключевые слова: хранение сельскохозяйственной продукции, самонагревание, очаг самонагрева, лабораторный эксперимент, теплофизические измерения.

Введение

Удовлетворение потребностей населения Российской Федерации в рыбной продукции сопряжено с рядом проблем, одной из которых является производство и хранение рыбных кормов [1; 2].

Рыбная мука имеет некоторые особенности в хранении, так как относится к 4 классу опасности по ГОСТ 19433–88¹ и является веществом, склонным к самовозгоранию. Как отмечено в [3], длительное или неумелое хранение рыбной муки приводит к снижению кормовой ценности, а иногда и к приобретению этим продуктом токсических свойств. С увеличением объемов производства рыбной муки остро встает вопрос ее хранения и транспортировки. В данной связи проведение исследований и установление условий возникновения и закономерностей развития очагов самонагрева, разработка технологии их контроля и подавления имеют сегодня особую актуальность.

Результаты и обсуждение

Экспериментальная установка

В литературе описаны экспериментальные установки для исследования теплофизических свойств сыпучих веществ (например [4] – для пищевых продуктов и [5] – для горных пород), но ответить на вопрос, как возникают очаги самонагрева в сыпучих средах, они не позволяют. Авторами разработан экспериментальный стенд для исследования теплофизических процессов, протекающих в сыпучих средах, склонных к самовозгоранию. Стенд состоит из емкости, заполненной исследуемой средой, в которой установлены чувствительные элементы, регистрирующие пространственно-временные распределения измеряемых величин, а также система провоцирования самонагрева и отвода тепла. Принципиальная схема экспериментального стенда показана на рис. 1.

Очаг самонагрева провоцируется путем локальной подачи тепла и (или) влаги в заданном месте. При этом задаваемыми являются не только точные пространственные координаты зоны, где осуществляется взаимодействие тепла и влаги с исследуемой средой, но и объем, температура и химический состав подаваемой влаги, а также величина и режим нагрева.

¹ ГОСТ 19433–88. Грузы опасные. Классификация и маркировка. М., 1988. 57 с.

Искусственное создание очага самонагрева в заданных координатах позволяет организовать процесс таким образом, чтобы задача была осесимметричной. В центре емкости, в непосредственной близости от ее оси симметрии, располагаем системы провоцирования самонагрева и отвода тепла. Вследствие симметричности задачи датчики температуры и влажности следует не распределять по всему объему исследуемой среды, а расположить в вертикальной плоскости, образующей цилиндр вмещающей емкости (рис. 1).

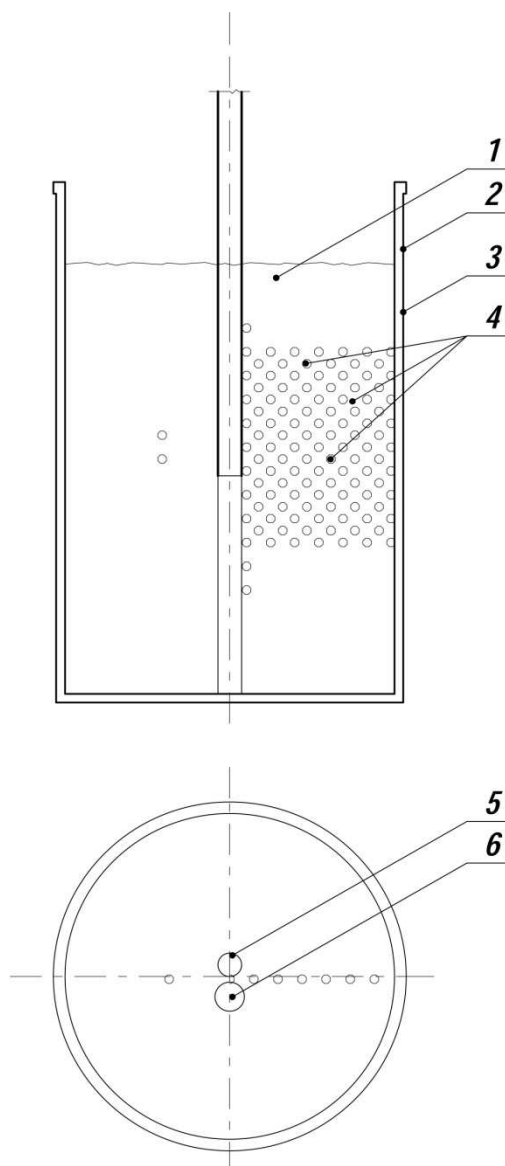


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда:

1 – исследуемая среда; 2 – рабочая емкость; 3 – теплоизоляция; 4 – чувствительные элементы;
5 – система отвода тепла; 6 – система провоцирования самонагрева

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup:

1 – medium under study; 2 – working capacity; 3 – thermal insulation; 4 – sensitive elements;
5 – heat removal system; 6 – provoking system of self-heating

Для контроля симметричности регистрируемых полей температуры и влажности два датчика располагаются в той же плоскости, что и остальные, но со стороны, противоположной относительно вертикальной оси симметрии емкости.

Измерения производятся одновременно в 30 различных точках исследуемой среды, что позволяет с высокой точностью получать пространственно-временные распределения регистрируемых величин.

В результате измерений получаем характеристики очагов в зависимости от состава среды, ее параметров, а также внешних параметров (температура, давление, влажность) и времени.

При превышении параметрами критических значений включается система охлаждения.

Рабочий участок системы отвода тепла

Принципиальная схема рабочего участка системы охлаждения представлена на рис. 2.

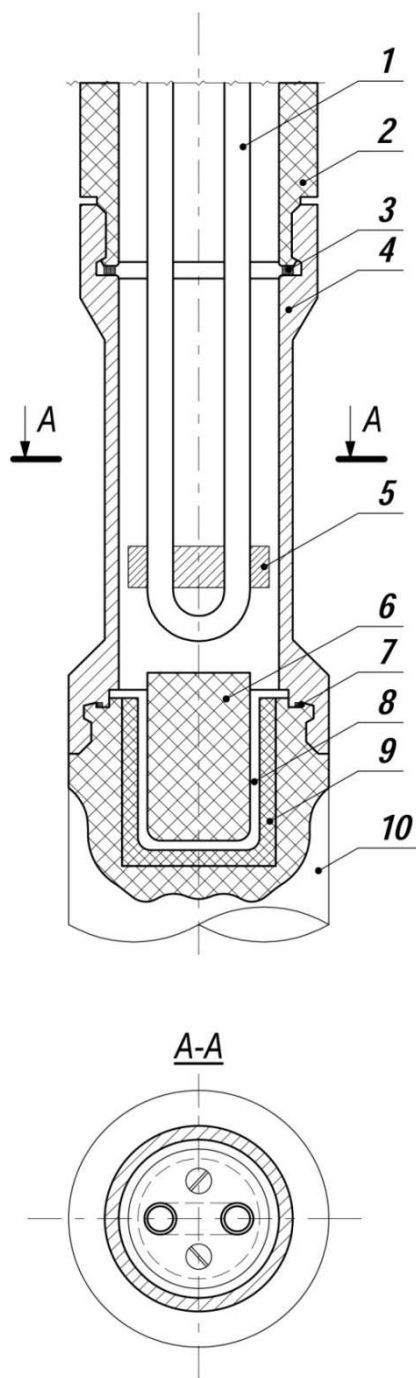


Рис. 2. Принципиальная схема системы охлаждения:

- 1 – теплозаборная трубка; 2 – верхняя секция предохранительного кожуха; 3, 7 – прокладки;
- 4 – теплопроводная секция предохранительного кожуха; 5 – держатель; 6 – поршень;
- 8 – герметизирующая прокладка; 9 – теплоизолирующий стакан;
- 10 – нижняя секция предохранительного кожуха

Fig. 2. Schematic diagram of the cooling system:

- 1 – heat taking tube; 2 – the upper section of the safety case; 3, 7 – gaskets;
- 4 – heat-conductive section of the safety case; 5 – holder; 6 – piston;
- 8 – sealing gasket;
- 9 – heat insulating glass; 10 – the bottom section of the safety housing

Обеспечение выполнения "прочих равных условий" при различных измерениях обеспечивается наличием жесткого кожуха, предохраняющего исследуемую среду от механических возмущений. Для минимизации тепловых искажений кожух выполняется секционным (2, 4, 10). Секция в районе очага самонагревания

выполняется из материала с высокой теплопроводностью, а остальные части (2, 10) – из теплоизоляционного материала. Для исключения возмущений в исследуемой среде, связанных с химическими реакциями, на наружную поверхность теплопроводящей секции (4) наносится слой специального материала.

Для осуществления теплосъема на уровень теплопроводящей секции опускается теплозаборная трубка (1). Интенсивность теплосъема можно варьировать, например, изменяя расход и (или) свойства теплоносителя, протекающего в трубке (1). Тепловой контакт между внутренней поверхностью теплопроводящей секции (4) и теплозаборной трубкой (1) обеспечивается наличием промежуточного теплоносителя, находящегося в капельном состоянии.

Пока теплозаборная трубка не опущена на уровень теплопроводящей секции, промежуточный теплоноситель не контактирует с теплопроводящей секцией и находится в зумпфе, отделенном от нижней части кожуха (10) теплоизолирующим стаканом (9).

Когда теплозаборная трубка (1) опускается в рабочее положение, жестко связанный с нею поршень (6) выталкивает промежуточный теплоноситель из зумпфа в пространство между теплозаборной трубкой (1) и внутренней поверхностью теплопроводящей секции (4). Тепло из очага в исследуемой среде через секцию (4) и промежуточный теплоноситель поступает в трубку (1) и уносится из рабочей зоны. Происходит охлаждение исследуемой среды.

Состояние очага самонагревания контролируется с помощью датчиков. Когда очаг самонагревания подавлен, конструкция, состоящая из трубки и соединенного с нею поршня, удаляется из теплопроводящей секции защитного кожуха. Промежуточный теплоноситель стекает обратно в зумпф.

Процесс повторяется циклически для снятия данных при другой конфигурации рабочих параметров.

Заключение

Разработана и создана экспериментальная установка для исследования теплофизических процессов в сыпучих средах, склонных к самовозгоранию. Впервые предложены способ высокоточного создания очагов самонагревания в сыпучих средах путем подачи тепла и (или) влаги в точно заданные координаты и автоматическая система отвода тепла из заданной зоны, с варьiruемой интенсивностью теплосъема.

Библиографический список

1. Борисов П. С. Формирование методики модернизации рефрижераторного вагона // Транспортное дело России. 2014. № 5. С. 36–42.
2. Абросимова Н. А., Абросимов С. С., Саенко Е. М. Кормовое сырье и добавки для объектов аквакультуры. 2-е изд., испр. Ростов н/Д : Медиа-Полис, 2006. 146 с.
3. Трисвятский Л. А. Хранение зерна. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Агропромздат, 1986. 350 с.
4. Филатов В. В. Совершенствование процесса термообработки зерна при инфракрасном энергоподводе : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 31 с.
5. Гаврильев Р. И. Теплофизические свойства горных пород и надпочвенных покровов криолитозоны : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Якутск, 1999. 43 с.

References

1. Borisov P. S. Formirovanie metodiki modernizatsii refrizheratornogo vagona [Formation of refrigerated wagon modernization techniques] // Transportnoe delo Rossii. 2014. N 5. P. 36–42.
2. Abrosimova N. A., Abrosimov S. S., Saenko E. M. Kormovoe syr'e i dobavki dlya ob'ektov akvakul'tury [Feed raw materials and additives for aquaculture]. 2-e izd., ispr. Rostov n/D : Media-Polis, 2006. 146 p.
3. Trisvyatskiy L. A. Hranenie zerna [Storage of grain]. 5-e izd., pererab. i dop. M. : Agropromzdat, 1986. 350 p.
4. Filatov V. V. Sovershenstvovanie protsessa termoobrabotki zerna pri infrakrasnom energopodvode [Improving the heat treatment process at the grain infrared energy supply] : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. M., 2005. 31 p.
5. Gavril'ev R. I. Teplofizicheskie svoystva gornyh porod i nadpochvennyh pokrovov kriolitozony [Thermal properties of rocks and surface covers of the permafrost zone] : avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk. Yakutsk, 1999. 43 p.

Сведения об авторах

Борисенко Дмитрий Иванович – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), канд. техн. наук, доцент; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Borisenko D. I. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Исаев Андрей Сергеевич – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), студент; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Isaev A. S. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Student; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Грибова Наталья Сергеевна – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), студентка; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Gribova N. S. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Student; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Кечкин Иван Александрович – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), аспирант; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Kechkin I. A. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Ph.D. Student; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Кузьмичев Иван Викторович – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), студент; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Kuzmichev I. V. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Student; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Локтев Александр Анатольевич – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), студент; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Loktev A. A. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Student; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Меркулов Константин Владимирович – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), студент; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Merkulov K. V. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Student; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Никитина Александра Олеговна – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), студентка; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Nikitina A. O. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Student; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Поддубный Александр Андреевич – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), студент; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Poddubny A. A. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Student; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Симонов Степан Алексеевич – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), студент; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

Simonov S. A. – 73, Zemlyanoy Val, Moscow, Russia, 109004; Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Student; e-mail: dima-luxinzhi@mail.ru

D. I. Borisenko, A. S. Isaev, N. S. Gribova, I. A. Kechkin,
I. V. Kuzmichev, A. A. Loktev, K. V. Merkulov,
A. O. Nikitina, A. A. Poddubny, S. A. Simonov

Development of experimental stand for research of foci of self-heating in free-flowing environments

For study the conditions of occurrence and rules of the development of foci of self-heating in friable media, including cacked, a pilot booth for identifying mutual correlation of thermo-physical characteristics of the investigated medium and external parameters has been elaborated. The stand allows managing processes in the test environment: to provoke the emergence of self-heating hearths and vary the intensity of their development, and to record the spatial-temporal distributions of temperature and humidity which restore interesting features of the environment. Capacity for studying the granular medium is a vertical cylinder where the axisymmetric problem is implemented due to emergence of self-heating chamber in the thickness of the medium being studied – on the axis of the container symmetry. The center is created at the specified location by the granular medium of delivery of moisture by the special channel and heating the given place to the desired value. Heat removing from the source of self-heating is carried out at the expense of transfer of heat the coolant located in the heat taking tube. The heat taking tube is placed inside the heat sink system which is a sectional tube that is installed in the thickness of granular material under study. To eliminate uncontrolled flows of heat from self-heating chamber for heat removal system the pipe section located outside the chamber provoking self-heating are made of material with low thermal conductivity. The section located in the focal zone is made of high thermal conductivity material. To improve the thermal contact between the tube and the inner heat taking surface thermally conductive heat sink section the intermediate coolant system has been used. Contact of intermediate coolant in the space between heat taking tube and the inner surface of the thermally conductive heat sink section of the system is automatic when removal from the source of self-heating heat is necessary.

Key words: storage of agricultural products, self-heating, hotbed of self-heating, laboratory experiment, thermophysical measurements.