
СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Иван Юрьевич Игнаткин

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

В настоящее время промышленные свиноводческие предприятия ориентированы на выращивание животных при высокой концентрации поголовья, что подразумевает соответствующие объемы выделения продуктов жизнедеятельности (водяные пары, углекислый газ, аммиак, сероводород и др.). Ассимиляция продуктов жизнедеятельности требует высоких воздухообменов, что представляет собой энергоемкий процесс, в первую очередь в связи с необходимостью подогрева приточного воздуха. Утилизация теплоты вытяжного воздуха может быть реализована в рекуперативном воздухо-воздушном теплообменнике. При этом возникает проблема обмерзания конденсата в вытяжном канале рекуператора, препятствующая работе устройства. Особенность предлагаемого способа состоит в системе динамического регулирования расхода приточного воздуха при постоянстве производительности вытяжного канала. Регулирование осуществляется из условия поддержания температуры теплообменной стенки выше нуля, что исключает обмерзание образующегося конденсата. Для реализации описанного способа предлагается дооснастить рекуператор системой регулирования частоты вращения приточного вентилятора, а в выпускном воздуховоде разместить заслонку с электрическим приводом, обеспечивающую разделение потока вытяжного воздуха и направление его части обратно в помещение. Таким образом, в помещении поддерживается атмосферное давление, что минимизирует инфильтрацию. Приведены графики эффективности утилизации теплоты в зависимости от производительности рекуператора, с учетом дисбаланса производительности и без него. На основе экспериментальных данных получена аппроксимирующая зависимость эффективности утилизации теплоты от расхода приточного воздуха. Предложенный способ рекуперации теплоты позволяет исключить обледенение вытяжного канала теплообменника, обеспечить непрерывный процесс вентиляции с требуемым воздухообменом и утилизацию теплоты вытяжного воздуха, без дооснащения установки дорогостоящими системами предварительного подогрева воздуха.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вентиляция, микроклимат, рекуперация теплоты, свиноводство, система микроклимата, система отопления и вентиляции, утилизация теплоты, энергосбережение.

EXHAUST AIR HEAT RECOVERY TECHNIQUE USING A RECUPERATIVE HEAT EXCHANGER

Ivan Yu. Ignatkin

Bauman Moscow State Technical University

At present the industrial pig-breeding enterprises are focused on growing animals with a high concentration of livestock, which implies the release of corresponding volumes of waste products (water vapor, carbon dioxide, ammonia, hydrogen sulphide, etc.). The assimilation of waste products requires high air exchange, which is an energy-intensive process primarily due to the need to preheat the supplied air. The recovery of exhaust air heat can be realized in a recuperative air-to-air heat exchanger. This raises the problem of freezing of the condensate in the exhaust duct of the recuperator, which prevents the device from operating. The peculiarity of the proposed technique consists in a system of dynamic regulation of the supply air flow with constant output of the exhaust data the author has obtained the approximating dependence of heat recovery efficiency on the supply air flow rate. The proposed technique of heat recovery helps to eliminate the icing of the exhaust duct of the heat exchanger and ensures a continuous process of ventilation with the required air exchange and recovery of the exhaust air heat without retrofitting the device with expensive air preheating systems.

KEY WORDS: ventilation, microclimate, heat recuperation, pig breeding, microclimate system, heating and ventilation system, heat recovery, energy saving.

Свиноводство базируется на трех составляющих – генетике, кормлении и содержании. Генетический потенциал современных пород животных позволяет получать высокие показатели продуктивности. И если генетически животные подобраны правильно (в соответствии с задачами откорма), то на первый план выходят проблемы содержания. В настоящее время промышленные свиноводческие предприятия ориентированы на выращивание животных мясных пород при высокой концентрации поголовья. При этом известно, что свиньи современных мясных пород отличаются отсутствием жировой прослойки, в результате чего более чувствительны к температурным колебаниям и остро реагируют на них снижением продуктивности и воспроизводительных функций [8, 10].

При пониженных температурах содержания энергия корма расходуется на обогрев тела вместо набора массы. На рисунке 1 приведены зависимости расхода кормов и среднесуточных привесов от температуры содержания [1].

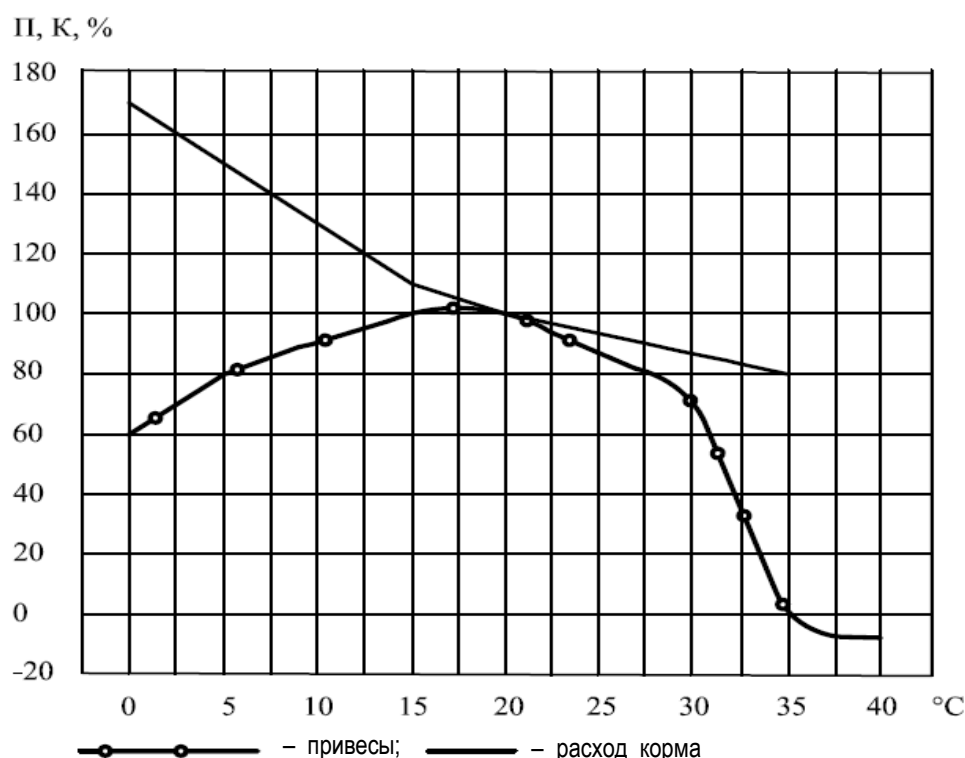


Рис. 1. Зависимости расхода кормов и среднесуточных привесов от температуры содержания

Максимальная эффективность наблюдается в диапазоне температур содержания от 15 до 20°C. В то же время снижение температуры от 20 до 15°C сопровождается практически прямо пропорциональным увеличением расхода кормов на единицу привеса: при 15°C расход повышается на 12%. Последующее понижение температуры предполагает снижение среднесуточных привесов при одновременном росте потребления кормов.

Вентиляция в животноводческом помещении играет очень важную роль, так как обеспечивает приток свежего воздуха и отток использованного, что улучшает микроклимат помещения.

Вопросы микроклимата в животноводстве являлись предметом исследований многих ученых как у нас в стране (В.В. Кирсанов и Д.Н. Мурусидзе с соавт., Д.А. Тихомиров, Н.П. Мишуров и Т.Н. Кузьмина, Гулевский В.А. и др.), так и за рубежом (сотрудники компаний «Hoval», «BigDutchman», «DAKS», «RIMU», «REVENTA», «HAKA»,

«Gemmel», «Tuffigo Rapidex» и др.) [2, 3, 4, 11, 12, 13]. Установлено, что современные технологии содержания животных предъявляют высокие требования к микроклимату в животноводческих помещениях.

По мнению специалистов животноводства и технологов, продуктивность животных на 50–60% определяется кормами, на 15–20% – уходом и на 10–30% – микроклиматом в помещении. Отклонение параметров микроклимата от установленных норм приводит к снижению удоев на 10–20% и приростов массы на 20–30%, увеличению отхода молодняка на 5–40%, расходу дополнительного количества кормов, снижению устойчивости животных к разным заболеваниям, а также сокращению срока службы оборудования [11, 12, 13].

Высокая концентрация животных подразумевает соответствующие объемы выделения продуктов жизнедеятельности (водяные пары, углекислый газ, аммиак, сероводород и др.), которые вредны и требуют своевременного удаления за пределы помещения. Для ассимиляции вредностей необходимо обеспечивать высокие кратности воздухообмена. В структуре теплового баланса свинарника на нагрев приточного воздуха расходуется порядка 80% всей теплоты, затрачиваемой на нужды отопления. Следовательно, энергосбережение при условии обеспечения необходимого микроклимата является актуальной задачей.

Утилизировать теплоту целесообразно в воздушно-воздушных рекуператорах, позволяющих разделять потоки теплого загрязненного воздуха и свежего приточного. Движение воздушных потоков происходит в каналах, а теплоперенос осуществляется через герметичные разделяющие стенки [5, 7, 9].

При теплообмене вытяжной воздух охлаждается, что происходит с образованием конденсата, при температуре теплообменной поверхности ниже 0°C конденсат кристаллизуется. Это сопровождается перекрытием живого сечения и снижением производительности и эффективности утилизации теплоты. Известным способом решения описанной проблемы является циклическое функционирование аппаратов в режимах «рекуперация – оттаивание». В обледеневшем рекуператоре выключается приточный вентилятор, что отсекает источник холода, а теплый воздух прогревает теплообменник и плавит образовавшийся десублимат. Указанный способ предполагает цикличность использования аппарата, что влечет за собой двукратное резервирование и обеспечение текущего воздухообмена функционирующей группой, пока «напарники» оттаивают.

Применяется также предварительный подогрев холодного приточного воздуха до температуры, исключающей обмерзание. Для реализации этого способа рекуперативная установка дооснащается жидкостными или электрокалориферами. Это техническое решение достаточно широко представлено в системах промышленного и гражданского центрального кондиционирования, при этом стоимость установки увеличивается, а конструкция усложняется [13].

В качестве альтернативы предлагается способ динамического регулирования рекуперативной установки с условием поддержания температуры теплообменной стенки выше 0°C. Реализация заданного условия осуществляется путем уменьшения расхода приточного воздуха пропорционально снижению его температуры (рис. 2).

Для решения поставленной задачи предлагается установить систему регулирования частоты вращения приточного вентилятора, а в выпускном воздуховоде 7 разместить заслонку с электрическим приводом 8.

Контроллер считывает сигналы от датчика температуры приточного воздуха 2, размещенного в корпусе приточного вентилятора 1. Расход вытяжного теплого воздуха постоянный и по мере снижения производительности приточного вентилятора возникает дисбаланс производительностей приточной и вытяжной систем. Для компенсации этого явления рециркуляционная заслонка 8 открывается пропорционально снижению расхо-

да приточного воздуха, таким образом часть вытяжного воздуха, частично охлажденного в теплообменнике 4, направляется обратно в помещение.

В корпусе размещен пластинчатый рекуперативный теплообменник 4. Воздухообмен вынужденный и осуществляется приточным 1 и вытяжным 6 вентиляторами. Вытяжной теплый воздух подогревает холодный свежий приточный воздух. Образующийся конденсат стекает в поддон и отводится через конденсатоотводчик 5 в систему навозной канализации. Для исключения обмерзания конденсата температура теплообменной стенки поддерживается выше 0°C . Контроль осуществляется косвенно по температуре воздуха.

Контроллер поддерживает частоту вращения приточного вентилятора 1 « ω » и угол поворота заслонки 8 « β » в диапазоне, обеспечивающем положительную температуру приточного воздуха « t ».

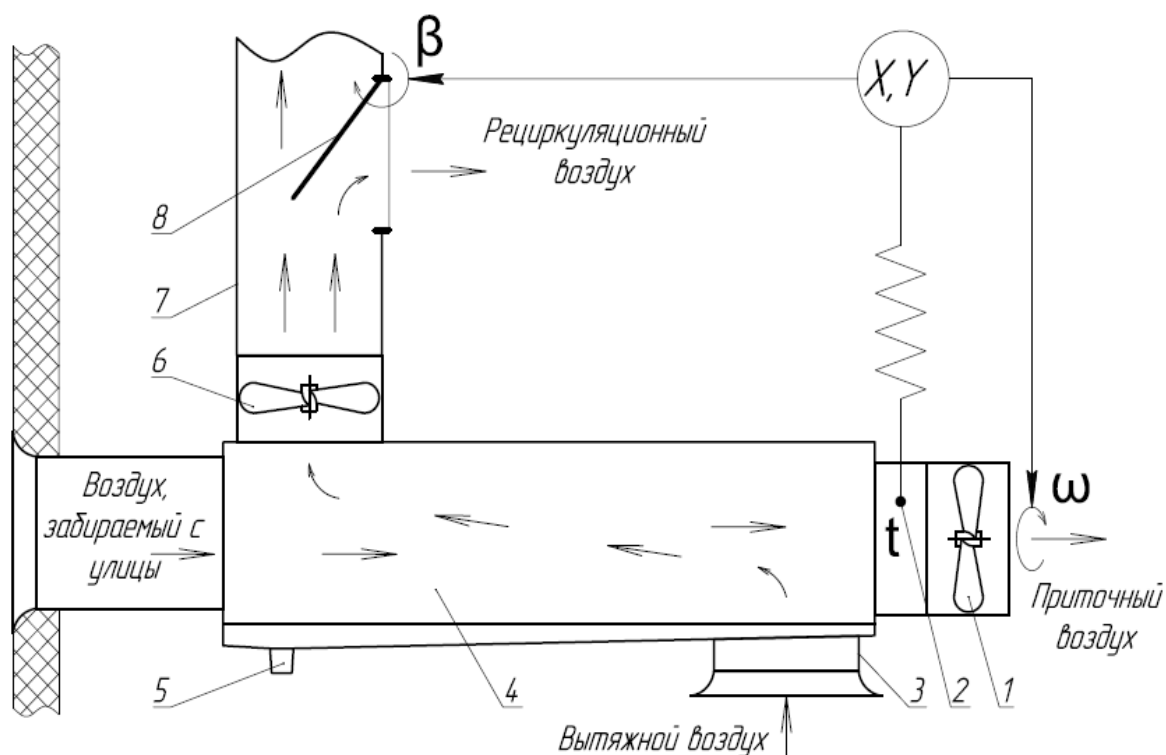


Рис. 2. Схема воздухо-воздушного рекуператора:

- 1 – приточный вентилятор; 2 – датчик температуры; 3 – вытяжной патрубок;
- 4 – рекуперативный теплообменник; 5 – конденсатоотводчик;
- 6 – вытяжной вентилятор; 7 – выпускной воздуховод; 8 – заслонка

При охлаждении приточного воздуха до 0°C частота вращения приточного вентилятора снижается, а заслонка дополнительно приоткрывается. Таким образом, рекуператор обеспечивает необходимый воздухообмен, исключая обмерзание теплообменника. Охлаждение вытяжки сопровождается образованием конденсата, то есть осушением воздуха. Вместе с конденсатом в канализацию направляются растворенные в нем газы, это обеспечивает дополнительную очистку рециркуляционного воздуха (регенерацию).

Для оценки эффективности предлагаемого решения проведены экспериментальные исследования в соответствии с требованиями СТО АИСТ 31.2–2007 [6] и построена кривая эффективности утилизации теплоты в зависимости от производительности рекуператора (рис. 3).

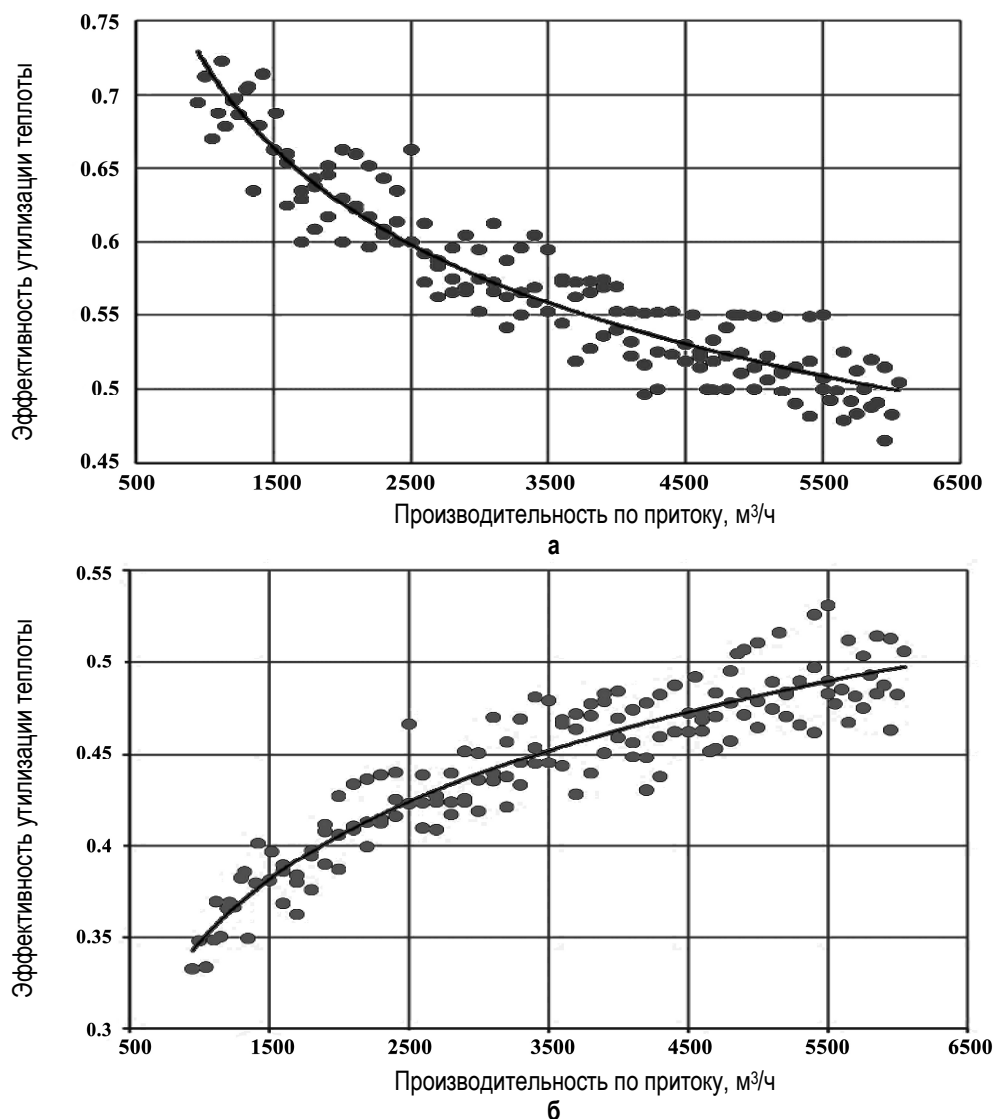


Рис. 3. Эффективность утилизации теплоты в зависимости от производительности рекуператора: а, б – соответственно без учета и с учетом дисбаланса производительности

С учетом дисбаланса производительности по притоку и вытяжке график приобретает вид, представленный на рисунке 3, б. Значения коэффициента эффективности утилизации теплоты определялись по следующей формуле:

$$\eta = \frac{t_{\text{пр}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}} \cdot \left(\frac{W_{\text{пр}}}{W_{\text{выт}}} \right)^{0,4},$$

где $t_{\text{пр}}$ – температура приточного воздуха на выходе из рекуператора, °C;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °C;

$t_{\text{вн}}$ – температура в помещении, °C;

$W_{\text{пр}}$ – производительность рекуператора по притоку, м³/ч;

$W_{\text{выт}}$ – производительность рекуператора по вытяжке, м³/ч.

Степенная зависимость при учете влияния производительности рекуператора обусловлена нелинейным характером взаимосвязи коэффициента теплоотдачи и скорости движения потока. Аппроксимируя опытные данные, получим выражение

$$\eta = 0,0912 \cdot W_{\text{пр}}^{0,1957}.$$

Аппроксимация экспериментальных данных дает возможность прогнозировать поведение рекуператора в текущих климатических условиях и осуществлять корректное регулирование.

Выводы

Предложенный способ рекуперации теплоты позволяет исключить обледенение вытяжного канала теплообменника, обеспечить непрерывный процесс вентиляции с требуемым воздухообменом и утилизацию теплоты вытяжного воздуха, без дооснащения установки дорогостоящими системами предварительного подогрева воздуха.

Библиографический список

1. Архипцев А.В. Автоматизированная система микроклимата с утилизацией теплоты вытяжного воздуха / А.В. Архипцев, И.Ю. Игнаткин // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 4 (59). – С. 5–14.
2. Гулевский В.А. Моделирование теплообмена в пластинчатых теплообменниках / В.А. Гулевский, В.П. Шацкий // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – Вып. 2 (33). – С. 140–143.
3. Гулевский В.А. О некоторых аспектах моделирования работы пластинчатых теплообменников / В.А. Гулевский, В.П. Шацкий // Известия Высших учебных заведений. Строительство. – Новосибирск, 2011. – № 12. – С. 84–89.
4. Гулевский В.А. Применение теплообменников (рекуператоров) для нормализации микроклимата животноводческих помещений / В.А. Гулевский, В.П. Шацкий, Н.Г. Спирина // Известия Высших учебных заведений. Строительство. – Новосибирск, 2013. – № 9 (657). – С. 64–68.
5. Игнаткин И.Ю. Рекуператор теплоты для свиноводческого комплекса / И.Ю. Игнаткин, С.П. Казанцев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 4. – С. 17–18.
6. Испытания сельскохозяйственной техники. Комплекты оборудования для создания микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях. Методы оценки функциональных показателей : стандарт организации СТО АИСТ 31.2–2007. – Москва : ФГНУ «РосНИИТиМ», 2008. – 12 с.
7. Кирсанов В.В. Математическая модель рекуперации теплоты в условиях образования инея / В.В. Кирсанов, И.Ю. Игнаткин // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 6 (73). – С. 68–76.
8. Кирсанов В.В. Механизация и автоматизация животноводства : учебник для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по специальности 3103 «Зоотехния». Сер. Среднее профессиональное образование. Сельское хозяйство / В.В. Кирсанов. – Москва : Academia, 2004. – 398 с.
9. Кирсанов В.В. Энергоэффективная автоматизированная система микроклимата / В.В. Кирсанов, И.Ю. Игнаткин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2016. – № 6 (76). – С. 48–51.
10. Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов. РД-АПК 1.10.02.04-12. – Москва : МСХ РФ, 2012. – 44 с.
11. Механизация и технология животноводства : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 311300 «Механизация сельского хозяйства». Сер. Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич, В.В. Шевцов, Р.Ф. Филонов. – Москва : КолосС, 2007. – 584 с.
12. Мишуrow Н.П. Энергосберегающее оборудование для обеспечения микроклимата в животноводческих помещениях : научный аналитический обзор / Н.П. Мишуrow, Т.Н. Кузьмина. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 96 с.
13. Тихомиров Д.А. Энергосберегающие электрические системы и технические средства теплообеспечения основных технологических процессов в животноводстве : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / Д.А. Тихомиров. – Москва, 2015. – 342 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Принадлежность к организации

Иван Юрьевич Игнаткин – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии обработки материалов ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Российская Федерация, г. Москва, e-mail: ignatkinivan@gmail.com.

Дата поступления в редакцию 26.01.2018

Дата принятия к печати 20.02.2018

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Ivan Yu. Ignatkin – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Materials Processing Technology, Bauman Moscow State Technical University, Russian Federation, Moscow, e-mail: ignatkinivan@gmail.com.

Received January 26, 2018

Accepted February 20, 2018