

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-2-73-89>

Оптимизация процессов кондиционирования воздуха здания с применением режима естественного охлаждения

М. Н. Жерлыкина¹✉, Т. В. Щукина¹, А. Гурбангулыев¹

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
ул. 20-летия Октября 84, г. Воронеж 394006, Российская Федерация

✉ e-mail: zherlykina@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Целью работы является проведение прикладного исследования теплового режима производственного помещения промышленного здания и разработка процессов кондиционирования воздуха, включающих поиск целесообразного схемного решения его обработки и повышение эффективности работы системы путем использования холода наружного воздуха.

Методы. Для достижения поставленных целей в работе на основании результатов энергоаудита была разработана методика расчета потоков вредных выделений в производственном помещении в режиме «Производство» и определены тепловые нагрузки объектов исследования. Проанализированы возможные варианты обработки воздуха системами технологического кондиционирования, в том числе, с учетом минимизации энергетических затрат. Для ассимиляции избыточной теплоты в теплый период года и рационального выбора процесса обработки воздуха с целью экономии потребления тепловой энергии предлагаются способы обработки воздуха с подогревом и без него. В холодный период года предлагается осуществлять кондиционирование воздуха с применением холода наружного воздуха. Универсальность методики позволяет определять осуществимый в реальных условиях процесс, в том числе корректировать схему обработки, в которой необходим предподогрев воздуха.

Результаты. Результатом проведенной исследовательской работы является разработка ряда инженерно-технических решений для обеспечения энергетической эффективности работы инженерной системы и повышения потребительского качества объектов исследования.

Заключение. Реализация разработанных мероприятий по тепловой защите объекта исследования и использованию энергоэффективных инженерных решений позволит достигнуть следующих результатов: повысить потребительское качество зданий, довести параметры внутреннего микроклимата до нормативной величины; значительно продлить срок службы ограждающих конструкций, с высокой степенью точности доводить качество воздуха, предназначенного для ведения технологического процесса, обеспечить экономию расхода энергоресурсов на кондиционирование воздуха за счет использования холода наружного воздуха; поддерживать минимальную температуру охлаждения в результате смешения наружного и рециркуляционного воздуха без риска обмерзания теплообменника и образования льда.

Ключевые слова: теплоступления; кондиционирование воздуха; процесс обработки воздуха; холод; охладитель; воздухонагреватель; рециркуляция.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Жерлыкина М.Н., Щукина Т.В., Гурбангулыев А., 2020

Для цитирования: Жерлыкина М. Н., Щукина Т. В., Гурбангульев А. Оптимизация процессов кондиционирования воздуха здания с применением режима естественного охлаждения // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(2): 73-89. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-2-73-89>.

Поступила в редакцию 12.03.2020

Подписана в печать 06.04.2020

Опубликована 20.04.2020

Optimization of Building Air Conditioning Processes Applying Free Cooling

Mariya N. Zherlykina ¹ ✉, Tatiana V. Shchukina ¹, Arslan Gurbangulyev ¹

¹ Voronezh State Technical University
20-letiya Oktyabrya str. 84, Voronezh 394006, Russian Federation

✉ e-mail: zherlykina@yandex.ru

Abstract

Purpose of research is to carry out an applied research of the thermal behaviour of the production premise of an industrial building and to develop air conditioning processes, including the search for an expedient circuit design for conditioning and increasing the effectiveness of the system by using the cold outdoor air.

Methods. In the work, based on the results of the energy audit, a technique for calculating the flows of harmful emissions in the production premise in the Production mode was developed and the thermal loads of the objects of the study were determined to achieve the set objectives. Possible options for air processing by technological conditioning systems including the minimization of energy costs are analyzed. For the assimilation of excess heat in the warm season and a rational choice of the air treatment process in order to save thermal energy consumption, techniques of air treatment with and without heating are proposed. In the cold season, it is proposed to carry out air conditioning using cold outdoor air. The versatility of the technique makes it possible to determine a process feasible in real conditions, including adjusting the processing scheme, in which air preheating is required.

Results. The result of the research work is the development of a number of engineering and technical solutions to ensure the energy efficiency of the engineering system and improve the consumer quality of the research objects.

Conclusion. Implementation of the developed measures for thermal protection of the research object and the use of energy-efficient engineering solutions will allow achieving the following results: to improve the consumer quality of buildings, to bring the parameters of the internal microclimate to the standard value; to extend significantly the service life of enclosing structures, to ensure the quality of the air intended for the technological process with a high degree of accuracy, to ensure energy savings for air conditioning through the use of the cold outdoor air; to maintain a minimum cooling temperature by mixing outdoor and recirculated air without the risk of frost formation on the surface of the heat exchanger and the formation of ice.

Keywords: heat supply; air conditioning; air treatment process; cold; cooler; air heater; recirculation.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Zherlykina M. N., Shchukina T. V., Gurbangulyev A. Optimization of Building Air Conditioning Processes Applying Free Cooling // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020, 24(2): 73-89 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-2-73-89>.

Received 23.03.2020

Accepted 06.04.2020

Published 20.04.2020

Введение

В настоящее время мясная промышленность – одна из крупнейших и

важных отраслей экономики Российской Федерации. Предприятия пищевой

промышленности выполняют различные виды работ для осуществления производства мяса, мясных консервов, колбасных изделий, полуфабрикатов. Эффективность производства в значительной мере зависит от ряда факторов, к которым следует отнести техническую оснащенность и соответствие поддержания параметров микроклимата требованиям ведения технологического процесса в помещениях мясоперерабатывающих предприятий [1, 2].

Отделения подготовки мясного сырья – помещения с одновременным выделением теплоты и влаги. Воздухообмен определяют исходя из необходимости ассимиляции и удаления вредных выделений. Практически можно принять, что процессы тепло- и массообмена являются стационарными [1].

В производственных помещениях применяется система кондиционирования, при работе которой воздух подается во все периоды рассредоточено в верхнюю зону. Вытяжка механическая общеобменная из верхней зоны. В отделениях подготовки мясного сырья допускается рециркуляция воздуха в течение всех периодов года, если в воздухе отсутствуют болезнетворные бактерии, пожаровзрывоопасные вредные вещества и дымовые газы [3].

Материалы и методы

Объектом исследования является производственное помещение предприятия мясной промышленности, расположенного в городе Курск – комната

подготовки мясной продукции. Технологический процесс включает поступление мясного сырья в виде сформированных брикетов температурой +2 °С, упакованных в полиэтиленовую пленку или в полиэтиленовые ящики на деревянных поддонах, габаритами 1200 × 800 мм. Далее брикеты, перемещаясь по линии, обрабатываются и подаются в следующее помещение. В сутки осуществляется обработка 21000 кг продукции.

Нормируемые параметры внутреннего воздуха равны: температура помещения: +10 (+/-2) °С, относительная влажность – 70 %. Следует отметить, что в инженерных решениях кондиционирования воздуха подобных помещений пренебрегается точность достижения и поддержания относительной влажности воздуха.

Расчет теплопритоков выполняется с учетом рекомендаций [4]. Тепловой баланс помещения рассчитывается по зависимости, Вт:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (1)$$

где Q_1 – теплопоступления через ограждающие конструкции, кВт; Q_2 – теплопоступления от солнечной радиации, кВт; Q_3 – теплопоступления от продукта при холодильной обработке; Q_4 – теплопоступления от системы вентиляции помещения, кВт; Q_5 – эксплуатационные теплопоступления (от освещения, от персонала, от электродвигателей, от открывания дверей), кВт; Q_6 – теплопоступления от продукции при

остывании, кВт, определяемые по аналитической зависимости:

$$Q_5 = \frac{0,278 \cdot M_k \cdot \Delta i}{\tau}, \quad (2)$$

где M_k – суточное поступление продукта в камеру, т; Δi – разность удельных энтальпий продукта, кДж/кг, $\Delta i = i_2 - i_1$, где i_1 – удельная энтальпия, соответствующая начальной температуре продукта, кДж/кг; i_2 – удельная энтальпия, соответствующая конечной температуре продукта, кДж/кг; τ – продолжительность холодильной обработки продукта, ч; Q_6 – теплоприток от тары при остывании, кВт, определяемый по аналитической зависимости:

$$Q_6 = \frac{0,278 \cdot M_c \cdot c_c \cdot \Delta t}{\tau}, \quad (3)$$

где M_c – суточное поступление тары, т, при этом масса тары составляет 20 % от массы груза; c_c – удельная теплоемкость тары, кДж/(кг×К), где удельную теплоемкость принимают по материалу, из которого она изготовлена; t_1 – температура тары при поступлении груза, °С; t_2 – температура тары при выходе груза, °С.

Предложено центральное кондиционирование объекта строительства как наиболее рациональное, позволяющее обеспечить требуемые параметры воздушной среды для течения технологического процесса, а также предусмотреть решения по энергосбережению. В производственное помещение подается смесь наружного и внутреннего воздуха в различном количественном соотношении. В конструкции центрального кондиционера необходимо предусмотреть

возможность обработки рециркуляционного воздуха. Применение рециркуляции в системах кондиционирования направлено на экономию теплоты при работе секций подогрева, а также холода при охлаждении и осушении воздуха. Рециркуляция обеспечивается камерой (секцией) двойного смешивания. Процент рециркуляции возможно варьировать с помощью клапана с электроприводом в зависимости от технологического цикла помещения и периода года.

Результаты и их обсуждение

Исследование выполнено для режима «Производство» для теплого и холодного периода года.

Блок-схема режима «Производство» для теплого периода года представлена на рис. 1.

Схема воздухообмена описана выше. Полная рециркуляция воздуха возможна только в периоды между технологическими циклами, в остальное время должен быть обеспечен расход наружного воздуха, согласно санитарным нормам для помещения, не менее 350...400 м³/ч.

С целью определения параметров приточного воздуха для достижения в рабочей зоне помещения относительной влажности 70 % выполнены теоретические исследования с помощью *Id*-диаграммы состояния влажного воздуха (рис. 2). Значение углового коэффициента, ε , кДж/кг, определяется по зависимости:

$$\varepsilon = \frac{I_h - I_{outer}}{d_h - d_{outer}}, \quad (4)$$

где I_h – удельная энтальпия внутреннего воздуха в помещении, кДж/кг; I_{outer} – удельная энтальпия наружного воздуха

для периода, кДж/кг; d_h – влагосодержание внутреннего воздуха в помещении, г/кг; d_{outer} – влагосодержание наружного воздуха для периода, г/кг.

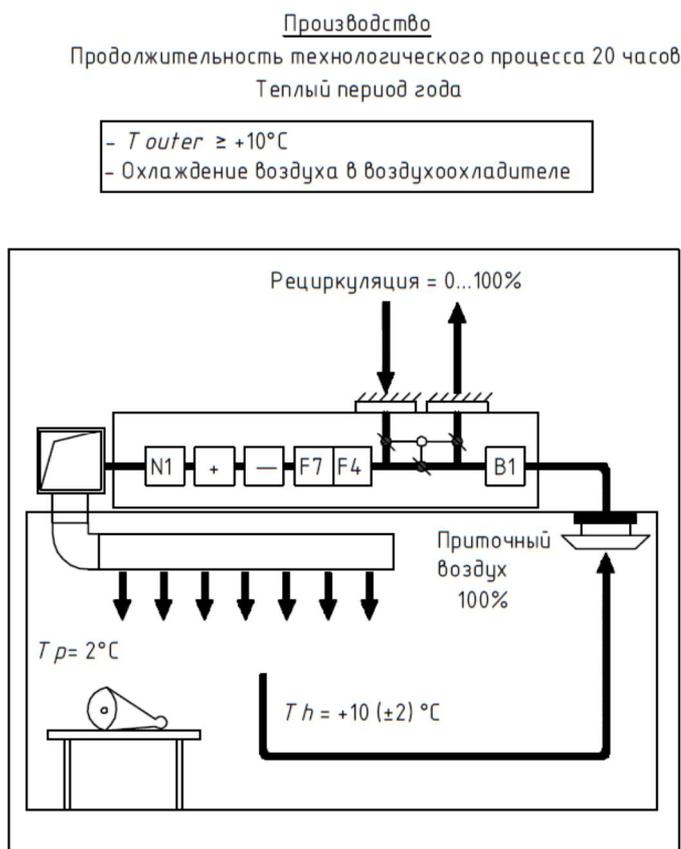


Рис. 1. Блок-схема режима «Производство» для теплого периода года: **T_{outer}** – температура наружного воздуха, °C; **T_{in}** – температура приточного воздуха, °C; **T_h** – температура внутреннего воздуха, °C; **T_p** – температура продукта, °C; **B1** – вытяжной вентилятор; **N1** – приточный вентилятор; **F4** – фильтр грубой очистки; **F7** – фильтр тонкой очистки; «-» – охладитель воздуха; «+» – нагреватель воздуха

Fig. 1. Block diagram of the Production mode for the warm season: **T_{outer}** – outdoor air temperature, °C; **T_{in}** – supply air temperature, °C; **T_h** – indoor air temperature, °C; **T_p** – product temperature, °C; **B1** – exhaust fan; **N1** – supply fan; **F4** – coarse filter; **F7** – fine filter; «-» – air cooler; «+» – air heater

Местоположение точек на диаграмме (рис. 2), характеризующих параметры приточного (точка «N»), смешенного (точка «C») воздуха, определяется по методике, изложенной в [5]. Особенностью определения положения точки

«O», характеризующей состояние воздуха после охладителя, является то, что для получения в помещении требуемой влажности внутреннего воздуха (70 %), приточный воздух необходимо переохлаждать, а затем догревать. Догрев

реализуется средствами калорифера, предусмотренного в центральном кондиционере. Следует определять минимально возможную температуру охлаждения воздуха, которую можно получить от поверхностного охладителя при параметрах холодоносителя. В случае использования водного раствора про-

пиленгликоля с концентрацией 35 % температура подачи будет равна 0 °С, а температура обратного холодоносителя составит +5 °С. В результате технического подбора поверхностного воздухоохладителя для рассматриваемого случая минимально возможная температура охлаждения воздуха равна +2 °С.

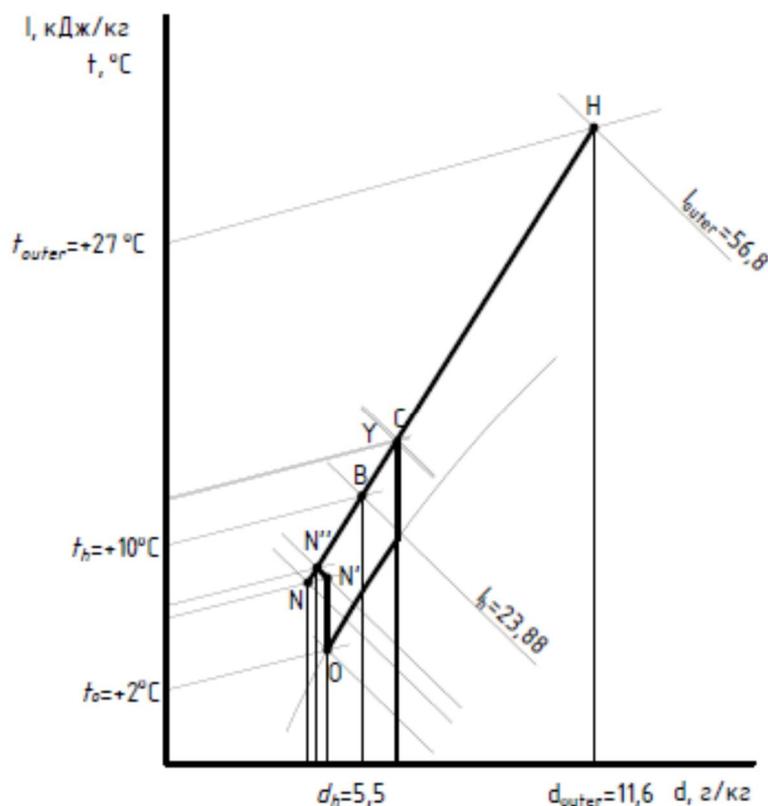


Рис. 2. Построение на Id-диаграммы процесса обработки воздуха для помещения подготовки мясной продукции в теплый период года (вариант 1): «**NBY**» – процесс изменения состояния воздуха в производственном помещении; «**NY**» – процесс смешивания наружного и рециркуляционного (уходящего) воздуха; «**Y**» – точка, характеризующая состояние уходящего воздуха; «**C**» – точка, характеризующая состояние среды после смешивания рециркуляционного и наружного воздуха; «**CO**» – процесс обработки воздуха в охладителе; «**ON'**» – процесс нагрева воздуха в воздухонагревателе; «**N''N''**» – процесс адсорбционного осушения воздуха в помещении

Fig. 2. Building an Id-diagram of the air treatment process for the meat production preparation room in the warm season (option 1): «**NBY**» – process of changing the condition of the air in the production by the Prosecutor; «**NY**» – process of mixing outdoor and recirculated (outgoing) air; «**Y**» – point, characterizing the state of the outgoing air; «**C**» – point, characterizing the state of the medium after mixing of recirculated and outdoor air; «**CO**» – process of air treatment in cooling; «**ON'**» – the process of heating the air in vozduhonosnye the user; «**N''N''**» – the process of adsorption dehumidification of indoor air

Далее следует построение на *Id*-диаграмме влажного воздуха процесса догрева приточного воздуха до рассчитанных параметров, соответствующих точке «N». Как видно из рис. 2 процесс обработки воздуха в центральных кондиционерах завершить в точке «N» невозможно. Процесс завершится в точке «N'» (прямая «ON'»). Подготовленный воздух в точке «N'» будет иметь температуру, равную +6 °С, а относительную влажность, равную 75%. При этом относительная влажность в точке «N'» на 4% больше, чем значение точки «N».

Далее подготовленный воздух подлечит адсорбционному осушению [6, 7]. Отличительной особенностью адсорбционного осушителя является его способность осушать воздух, имеющий низкую температуру. Поэтому устройства данного типа используются для осушения холодных помещений. Данный способ осушения имеет ограничения, так как по мере насыщения сорбента влагой его осушающая способность снижается и требуется регенерация.

Процесс осушения воздуха адсорбентами на *Id*-диаграмме влажного воздуха изображается линией постоянной энтальпии. В данном исследовании завершить процесс в точке «N» так же невозможно. Процесс завершится в точке «N''». Точка попадает на прямую «NBУ», которая характеризует процесс изменения состояния воздуха в помещении. Однако подготовленный воздух будет иметь температуру на 0,7 °С выше, чем необходимо подавать, а влаго-

содержание составит на 0,1 г/кг больше требуемого. На этом построение требуемого процесса обработки воздуха на *Id*-диаграмме влажного воздуха следует завершить. Расчет параметров воздуха выполнен с помощью прикладной программы при атмосферном давлении 96,8 кПа, температуре хладоносителя 2,50 °С.

Достоинством предлагаемой методики является возможность достижения минимальной температуры охлаждения в результате смешения наружного и рециркуляционного воздуха без риска обмерзания теплообменника и образования льда. Сравнивая с известными расчетами [4], предлагаемый позволяет подобрать климатическое оборудование меньшей холодильной мощности, расхода среды, снизить аэродинамические и гидравлические характеристики, а также габариты.

Возможен другой вариант обработки воздуха в системе кондиционирования воздуха в теплый период года, построение на *Id*-диаграммы состояния влажного воздуха которого представлено на рис. 3.

Процесс догрева приточного воздуха до рассчитанной температуры и влажности, как видно из рис. 3, завершить в точке «N» невозможно. Процесс завершится в точке «N'''» (прямая «ON'''»). Точка попадает на прямую «NBУ», которая характеризует процесс изменения состояния воздуха в помещении. Однако подготовленный воздух будет иметь температуру на 1,5 °С вы-

ше, чем необходимо подавать, а влаго-содержание составит на 0,4 г/кг больше требуемого. На этом построение требуемого процесса обработки воздуха на *Id*-диаграмме влажного воздуха завер-

шается. Расчет процесса выполнен с помощью прикладной программы для теплого периода года при атмосферном давлении 96,8 кПа, температуре хладоносителя 2,50 °С.

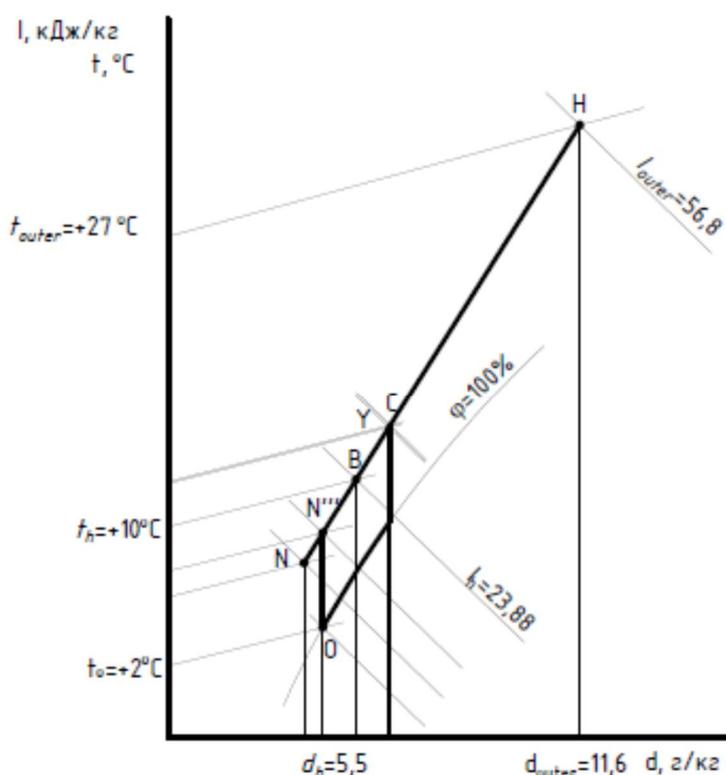


Рис. 3. Построение на *Id*-диаграммы процесса обработки воздуха для помещения подготовки мясной продукции в теплый период года (вариант 2): «**НВУ**» – процесс изменения состояния воздуха в помещении; «**НУ**» – процесс смешивания наружного и рециркуляционного воздуха; «**У**» – состояние уходящего воздуха; «**С**» – состояние воздуха после смешивания рециркуляционного воздуха с наружным воздухом; «**СО**» – процесс обработки воздуха в охладителе; «**ОН''**» – нагрев воздуха в воздушнонагревателе

Fig. 3. Building an *Id*- diagram of the air treatment process for the preparation of meat products in the warm season (option 2): «**НВУ**» – changing the air condition in the room; «**НУ**» – process of mixing outdoor and recirculating air; «**У**» – outgoing air; «**С**» – air after mixing the recirculating air with the outside air; «**СО**» – air treatment process in the cooler; «**ОН''**» – air heating in the air heater

Следует отметить, что в помещении, выбранном в качестве объекта исследования, поддержание прецизионных параметров (точность температуры +/- 0,5 °С, точность влажности +/- 1 %), не требуется.

Следует уточнить, что для предложенных схем обработки приточного воздуха в системах кондиционирования помещения подготовки мясной продукции для теплого периода года не рекомендуется использовать адсорбционное

осушение при отклонении параметров от рассчитанных – влагосодержания на величину 0,1 г/кг, относительной влажности – 4 %, температуры – 0,7 °С.

Блок-схема режима «Производство» для холодного периода года представлена на рис. 4.

Наиболее рациональным решением, с точки зрения энергосбережения, является применение системы «free colling», что означает использование холода наружного воздуха. Для возможности внедрения решения в систему кондиционирования необходимо принять допущение, что началом периода работы си-

стемы «free colling» является достижение наружной температуры воздуха -6 °С. Приточный воздух подготавливается путем двухступенчатой фильтрации, путем охлаждения наружным воздухом, а также с помощью нагрева водяным калорифером и подается в помещение с выходной температурой, равной +6 °С. Так же, как и в теплый период года, полная рециркуляция воздуха возможна только в периоды между технологическими циклами, в остальное время должен быть обеспечен расход наружного воздуха для помещения не менее 350...400 м³/ч.

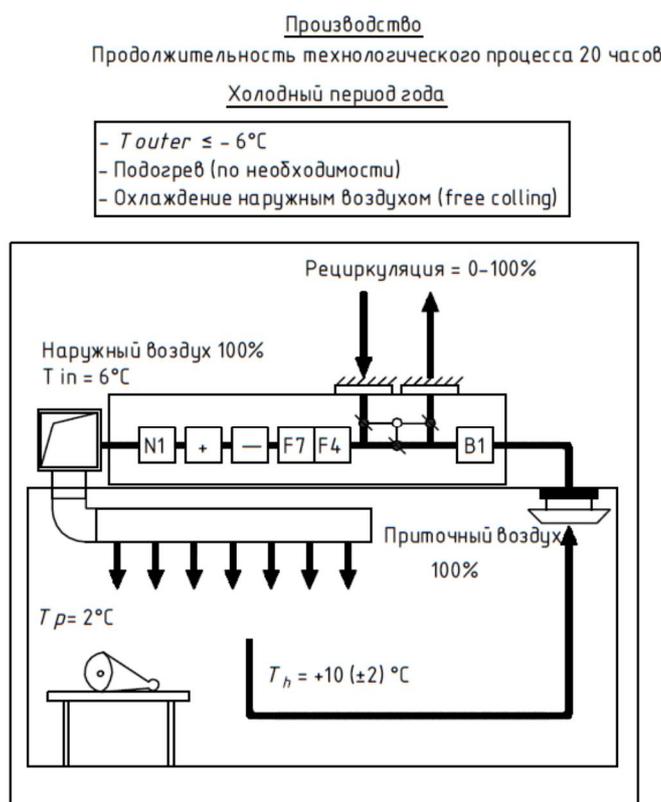


Рис. 4. Блок-схема режима «Производство» для холодного периода года:

B1 – вытяжной вентилятор; **N1** – приточный вентилятор; **F4** – фильтр грубой очистки; **F7** – фильтр тонкой очистки; «-» – охладитель воздуха; «+» – нагреватель воздуха

Fig. 4. Block diagram of the «Production» mode for the cold period of the year: **B1** – exhaust fan; **N1** – supply fan; **F4** – coarse filter; **F7** – fine filter ; «-» – air cooler; «+» – air heater

Недостатками существующих методик моделирования процессов обработки воздуха являются: ведение расчета системы «free colling» при прямоточном режиме, наличие перерасхода теплоносителя, значительные величины тепловой мощности и габаритные размеры климатического оборудования.

В результате проведенного теоретического исследования в холодный период года при расчетной наружной температуре воздуха обеспеченностью 0,98 не представляется возможным оценить способны ли центральные кондиционеры обеспечить в обслуживаемом помещении требуемую относительную влажность воздуха, равную 70 %, и требуемую температуру, согласно технологическим нормам проектирования предприятий мясной промышленности.

Для решения задачи выполняется построение процесса обработки воздуха на *Id*-диаграмме для холодного периода года. Методика изложена для системы, позволяющей обеспечивать постоянный температурно-влажностный режим в помещении и работающей с применением холода наружного воздуха. Система кондиционирования поддерживает заданные параметры воздуха и обеспечивает подачу санитарной нормы наружного воздуха с учетом пониженной температуры внутри помещений без использования нагревательного оборудования. Построение процесса изображено на рис. 5.

Методика построения включает определение положения точек «N» и «B»,

характеризующих состояние наружного и внутреннего воздуха. Определяется положение точки «Y», характеризующей состояние воздуха, уходящего из помещения, затем положение точки «N», характеризующей состояние приточного воздуха. Находится положение точки «C», характеризующей состояние воздуха на выходе из камеры смешивания. При смешивании внутреннего и наружного воздуха в холодный период года реализуется охлаждение по системе «free colling» [8, 9, 10]. Охлаждение происходит посредством уличного холода. Система работает на переменном количественном соотношении наружного и внутреннего воздуха, удаляемого из помещения [11].

Далее необходимо построить на *Id*-диаграмме влажного воздуха процесс догрева приточного воздуха до рассчитанных параметров (прямая «ON»). Рассчитанные параметры соответствуют построенной ранее точке «N», принадлежащей прямой «NBY» – процесс в помещении. Процесс завершится успешно, а именно параметры воздуха будут составлять – температура не менее +10 °С, относительная влажность равна 70 %, следовательно, в помещении возможно поддержание требуемых технологией параметров. Как видно из рис. 5, догрев составит всего 1,11 °С. На этом построения требуемого процесса обработки воздуха на *Id*-диаграмме влажного воздуха завершатся.

Проведено исследование процесса обработки воздуха для других наружных температур в диапазоне от $t_{н}$ до -6 °С.

Изменение наружной температуры на Id -диаграмме будем вести по линии $d = \text{const}$. Цель – определить эффективный процент рециркуляции для разной наружной температуры, а также произвести корректировку подбора секции нагревателя. Процессы изображены так

же на рис. 5: при наружной температуре t_{outer} , °С эффективный процент рециркуляции составит 80 %, догрев составляет 0,27 °С; при -15 °С составит 75 %, догрев на 0,32 °С; при -6 °С составит 60 %, догрев на 0,62 °С.

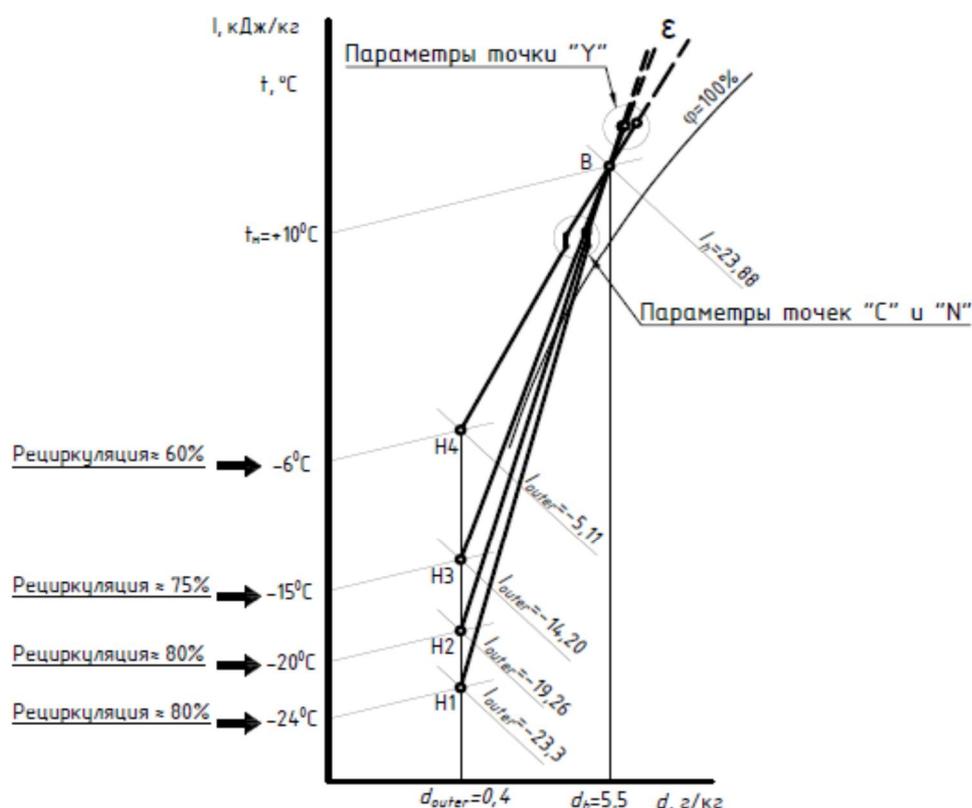


Рис. 5. Построение на Id -диаграммы процесса обработки воздуха для помещения подготовки мясной продукции в холодный период года: «**B**» – необходимое состояние воздуха в помещении; «**HiYi**» – процесс смешивания наружного и рециркуляционного воздуха; «**Ci**» – состояние воздуха после смешивания рециркуляционного и наружного воздуха; «**CiNi**» – процесс обработки воздуха в воздушнонагревателе

Fig. 5. Building an Id -diagram of air treatment process for meat production preparation room in cold sea son: «**B**» –required state of indoor air; «**HiYi**» – process of mixing outdoor and recirculating air; «**Ci**» – air after mixing recirculating and outdoor air; «**CiNi**» – air treatment process in an air heater

Достоинством предлагаемой методики является использование данных о системе «free colling» при подборе нагревателя, уменьшение тепловой мощности, габаритов, аэродинамических и

гидравлических характеристик климатического оборудования.

Расчет процесса выполнен с помощью прикладной программы для теплого периода года.

Следует отметить, что в зависимости от наружной температуры воздуха рекомендуется использовать установленный эффективный процент рециркуляции воздуха [3, 12, 13, 14]. Расчеты показали, что интервал времени эксплуатации секции нагревателя в холодный период крайне мал.

Из рис. 5 следует, что в диапазоне температур, равном от $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, процесс смешивания наружного и уходящего воздуха проходит через область перенасыщенного воздуха – «зона тумана», где вода находится в воздухе во взвешенном состоянии в жидкой или твердой фазе. «Зона тумана» – область I_d -диаграммы, лежащей ниже кривой $\varphi = 100\%$. Процессы, попадающие в дан-

ную область, считаются не осуществимыми в системах кондиционирования воздуха¹ [8, 15, 16 – 19].

Для того чтобы привести процесс в область, где возможна работа системы, необходимо в диапазоне температур от $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ предусмотреть предподогрев наружного воздуха (1 ступень нагрева). Предподогрев столь низких температур воздуха рекомендуется реализовать с помощью электрического калорифера, во избежание замерзания теплоносителя в случае аварийной ситуации. Диапазон рециркуляции в холодный период года составит $60\text{...}75\%$. Схема системы кондиционирования воздуха с предподогревом представлена на рис. 6.

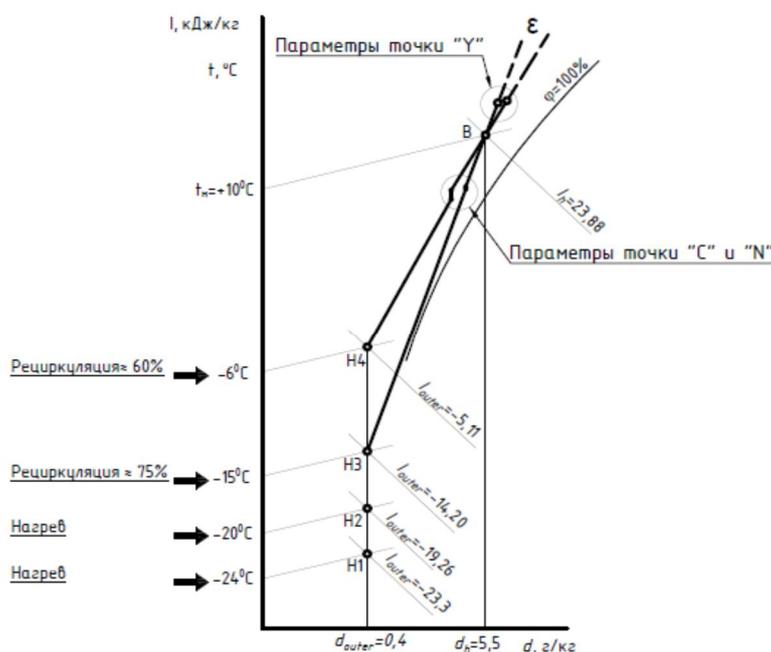


Рис. 6. Построение на I_d -диаграммы процесса обработки воздуха для помещения подготовки мясной продукции в холодный период года с предподогревом

Fig. 6. Building an I_d -diagram of the air treatment process for the preparation of meat products in the cold period of the year with preheating

¹ Полосин И. И. Динамика процессов промышленной вентиляции: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 2001.

Выводы

Количество приточного воздуха для систем кондиционирования помещений подготовки мясной продукции необходимо определять с учетом разработанных рекомендаций, приведенных в виде аналитической зависимости (1).

Для теплого периода года при технологическом режиме «Производство» целесообразно применение рециркуляции воздуха, обеспечивая подачу необходимой санитарной нормы воздуха. При этом будет достигнуто энергосбережение при работе инженерной системы, а также улучшены условия ее эксплуатации. Универсальность методики заключается в вариантности решений при различных климатических условиях и тепловлажностном состоянии воздушной среды в помещении. Так, в случае невозможности осуществления процесса кондиционирования, подтвержденного с помощью построения на *Id*-

диаграмме, разработана схема обработки воздуха в системе кондиционирования с подогревом.

Для холодного периода года при технологическом режиме «Производство» кондиционирование следует производить с использованием холода наружного воздуха – система «free cooling». В случае, если процессы обработки воздуха являются неосуществимыми, что возможно уточнить с помощью построения на *Id*-диаграмме, разработана схема обработки воздуха в системе кондиционирования с предподогревом.

Следует учесть, что разработанные рекомендации предназначены для цикла «Производство», входящего в состав технологического процесса в помещении подготовки мясной продукции. Для комплексной оценки работы системы кондиционирования воздуха следует выполнить исследования для технологических циклов «Мойка» и «Сушка».

Список литературы

1. Антипов А. В., Дугаров Ц. Б. Сублимационная сушка как метод консервирования продуктов // Мясные технологии. 2011. № 12(108). С. 48-51.
2. Пат. 2442426 Российская Федерация, МПК А23В 4/00. Способ управления процессом термообработки сырокопченых и сыровяленых мясных и рыбных изделий в климатической конвективной установке камерного типа / Юзов С. Г.; заявитель и патентообладатель Московский государственный университет прикладной биотехнологии. № 2010132874/13; заявл. 05.08.2010; опубл. 20.02.2012, Бюл. №5.
3. Исследование распределения концентраций вредных веществ в производственных помещениях предприятий топливно-энергетического комплекса / М. Н. Жерлыкина, С. А. Яременко, А. А. Мерциев, Н. А. Драпалюк // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. Т. 13. № 3. С. 50-54.

4. Патент 2016619895 Российская Федерация. Расчёт удельных теплопритоков через многослойные ограждения / Шевченко А. В., Алешин В. И., Алешин В. В. 2016.

5. Жерлыкина М. Н., Яременко С. А. Системы обеспечения микроклимата зданий и сооружений. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 164 с.

6. Аверкин А. Г., Еремкин А. И., Аверкин Ю. А. Осушение воздуха на основе твердых сорбентов // Региональная архитектура и строительство. 2019. Т. 3. № 40. С. 150-156.

7. Колесников Е. О., Шашкин В. Ю. Кондиционирование воздуха промышленных предприятий // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. 2016. Т. 4. № 1. С. 124-127.

8. Буренин В. В., Воробьев Д. К. Системы кондиционирования воздуха и воздушные кондиционеры для производственных помещений // Холодильная техника. 2017. № 7. С. 30-36.

9. Андреев Л. Н., Салмин-Ольшко К. Б., Бикчантаева Р. А. Повышение качества макро- и микроклимата животноводческих помещений // Мир инноваций. 2018. № 1-2. С. 122-127.

10. Акимов В. И., Домнич С. А. Повышение качества функционирования системы кондиционирования промышленного объекта // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сборник науч. тр. 3 Междунар. молодежной науч.-практ. конференции. Курск, 2016. С. 28-32.

11. Костин В. И., Русских Е. Ю. Расчет мощности систем охлаждения помещений // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2012. № 5. С. 18-23.

12. Системы промышленного кондиционирования воздуха типа «чиллер-фанкойл» и энергосберегающие системы / С. Т. Мирошниченко, В. А. Пухлий, В. Г. Потехин, В. В. Соколов, Е. В. Глушкова, А. А. Журавлев, В. О. Пантель // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность: сб. статей по материалам междунар. науч.-практ. конференции. Севастополь, 2018. С. 807-816.

13. Лёвин В. Проектирование промышленных систем кондиционирования // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2012. № 10(130). С. 69-73.

14. Костин В. И., Русских Е. Ю. Проблемы расчета расходов холода на системы кондиционирования воздуха промышленных зданий // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 5(641). С. 60-64.

15. Определение энергетической эффективности механической вентиляции помещений с выделением вредных веществ / Р. А. Шепс, А. В. Шашин, М. Н. Жерлыкина, В. В. Шичкин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2019. № 2(9). С. 62-68.

16. Страхова Н. А., Глазунова Е. К. Вентиляция. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2014. 46 с.
17. Гримитлин А. М., Дацюк Т. А. Отопление и вентиляция производственных помещений. Санкт-Петербург: АВОК Северо-Запад, 2007. 399 с.
18. Луговский С. И., Дымчук Г. К. Совершенствование систем промышленной вентиляции. М.: Стройиздат, 1991. 130 с.
19. Посохин В. Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. М.: Машиностроение, 1984. 157 с.

References

1. Antipov A. V., Dugarov C. B. Sublimacionnaya sushka kak metod konservirovaniya produktov [Freeze-drying as a method of preserving products]. *Myasnye tekhnologii = Meat technologies*, 2011, no. 12(108), pp. 48-51 (In Russ.).
2. Yuzov S. G. *Sposob upravleniya processom termoobrabotki syro-kopchenyh i syrovyalenyh myasnyh i rybnyh izdelij v klimaticheskoy kon-vektivnoj ustanovke kamernogo tipa* [Method for controlling the process of heat treatment of smoked and dried meat and fish products in a climatic convective chamber-type installation]. Patent RF, 2442426, МПК А23В 4/00, 2012 (In Russ.).
3. Zherlykina M. N., Yaremenko S. A., Mershchiev A. A., Drapalyuk N. A. Issledovanie raspredeleniya koncentracij vrednyh veshchestv v proizvodstvennyh pomeshcheniyah predpriyatij toplivno-energeticheskogo kompleksa [Research on the distribution of harmful substances concentrations within industrial spaces of fuel and energy complex enterprises]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Voronezh State Technical University*, 2017, vol. 13, no. 3, pp. 50-54 (In Russ.).
4. Shevchenko A. V., Aleshin V. I., Aleshin V. V. *Raschyot udel'nyh teploprитokov cherez mnogoslojnye ograzhdeniya* [Calculation of specific heat flows through multilayer fences]. Patent RF, 2016619895, 2016 (In Russ.).
5. Zherlykina M. N., Yaremenko S. A. *Sistemy obespecheniya mikroklimate zdaniy i sooruzhenij* [Systems for ensuring the microclimate of buildings and structures]. Vologda, Infra-Inzheneriya Publ., 2018, 164 p. (In Russ.).
6. Averkin A. G., Eremkin A. I., Averkin Yu. A. Osushenie vozduha na osnove tverdyh sorbentov [Air drainage based on solid sorbents]. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo = Regional Architecture and Engineering*, 2019, vol. 3, no. 40, pp. 50-156 (In Russ.).
7. Kolesnikov E. O., Shashkin V. Yu. [Air conditioning of industrial enterprises]. *Energo- i resursosberezhenie v teploenergetike i social'noj sfere. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, aspirantov, uchenykh* [Energy and resource saving in heat power engineering and social sphere. Proceedings of the international scientific

and technical conference of students, postgraduates, scientists], 2016, vol. 4, no. 1, pp. 124-127 (In Russ.).

8. Burenin V. V., Vorob'ev D. K. Sistemy kondicionirovaniya vozduha i vozdushnye kondicionery dlya proizvodstvennykh pomeshchenij [Air conditioning systems and air conditioners to be used in production areas]. *Holodil'naya tekhnika*, 2017, no. 7, pp. 30-36 (In Russ.).

9. Andreev L. N., Salmin-Ol'shko K. B., Bikchantaeva R. A. Povyshenie kachestva makro- i mikroklimate zhivotnovodcheskikh pomeshchenii [Improving the quality of macro-and microclimate of livestock premises]. *Mir innovacij = World of Innovation*, 2018, no. 1-2, pp. 122-127 (In Russ.).

10. Akimov V. I., Domnich S. A. [Improving the quality of functioning of the industrial facility air conditioning system]. *Kachestvo produkci: kontrol', upravlenie, povyshenie, planirovanie. Sbornik nauchnykh trudov* [Product quality: control, management, improvement, planning. Collection of proceedings 3 Intern. youth scientific and practical conference], Kursk, 2016, pp. 28-32 (In Russ.).

11. Kostin V. I., Russkih E. Yu. Raschet moshchnosti sistem ohlazhdeniya pomeshchenij [Calculation of the cold consumption in air conditioning systems for industrial buildings]. *AVOK: ventilyaciya, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika = Ventilation, Heatind, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal*, 2012, no. 5, pp. 18-23 (In Russ.).

12. Miroshnichenko S.T., Puhlij V. A., Potekhin V. G., Sokolov V. V., Glushkova E. V., Zhuravlev A. A., Pantel' V. O. [Industrial air conditioning Systems of the chiller-fan coil type and energy-saving systems]. *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost'. Sbornik statei*. [Environmental, industrial and energy security. Collection of articles based on the materials of the international journal. scientific and practical conferences]. Sevastopol', 2018, pp. 807-816 (In Russ.).

13. Lyovin V. Proektirovanie promyshlennykh sistem kondicionirovaniya [Design of industrial air conditioning systems]. *Santekhnika. Otoplenie. Kondicionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning*, 2012, no. 10(130), pp. 69-73.

14. Kostin V. I., Russkih E. YU. Problemy rascheta raskhodov holoda na sistemy kondicionirovaniya vozduha promyshlennykh zdaniy [Problems of calculation of expenses of cold on systems air conditioning of industrial buildings]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*, 2012, no. 5(641), pp. 60-64 (In Russ.).

15. Sheps R. A., SHashin A. V., ZHerlykina M. N., SHichkin V. V. Opredelenie energeticheskoy effektivnosti mekhanicheskoy ventilyacii pomeshchenij s vydeleniem vrednykh veshchestv [The definition of energy efficiency mechanical ventilation with emissions].

Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura = Housing and utilities infrastructures, 2019, no. 2(9), pp. 62-68 (In Russ.).

16. Strahova N. A., Glazunova E. K. *Ventilyaciya* [Ventilation]. Rostov-na-Donu, 2014, 46 p. (In Russ.).

17. Grititlin A. M., Dacyuk T. A. *Otoplenie i ventilyaciya proizvodstvennyh pomeshchenij* [Heating and ventilation of industrial premises], St. Petersburg, AVOK Severo-Zapad Publ., 2007, 399 p. (In Russ.).

18. Lugovskij S. I., Dymchuk G. K. *Sovershenstvovanie sistem pro-myshlennoj ventilyacii* [Improvement of industrial ventilation systems]. Moscow, Strojizdat Publ., 1991, 130 p. (In Russ.).

19. Posohin V. N. *Raschet mestnyh otsosov ot teplo- i gazovydelyayushchego oborudovaniya* [Calculation of local suction from heat and gas-releasing equipment]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984, 157 p. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Жерлыкина Мария Николаевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
жилищно-коммунального хозяйства,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»,
г. Воронеж, Российская Федерация,
e-mail: zherlykina@yandex.ru,
ORCID 0000-0001-5688-3277

Mariya N. Zherlykina, Cand. of Sci.
(Engineering), Associate Professor of Housing and
Communal Services Department,
Voronezh State Technical University,
Voronezh, Russian Federation,
e-mail: zherlykina@yandex.ru,
ORCID 0000-0001-5688-3277

Щукина Татьяна Васильевна,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический университет»,
г. Воронеж, Российская Федерация,
e-mail: zherlykina@yandex.ru

Tatiana V. Shchukina, Cand. of Sci.
(Engineering), Associate Professor,
Voronezh State Technical University,
Voronezh, Russian Federation,
e-mail: zherlykina@yandex.ru

Гурбангулыев Арслан,
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический университет»,
г. Воронеж, Российская Федерация,
e-mail: zherlykina@yandex.ru

Arslan Gurbangulyev, Voronezh State Technical
University, Voronezh, Russian Federation,
e-mail: zherlykina@yandex.ru