

СОЗДАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МИКРОКЛИМАТА С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Сарабекова У.Ж., PhD, ассоциированный профессор
ulbolsyn.sar@mail.ru^{*}, <https://orcid.org/0000-0001-9548-8333>

Турмаганбетов Р.Б., магистрант 2 курса ОП 7М11279 «Безопасность жизнедеятельности и охрана окружающей среды
ruslan_turmaganbetov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4532-1737>

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г.Кызылорда., Казахстан

Аннотация. В данной работе рассматриваются основные принципы формирования оптимального микроклимата в производственных помещениях, а также необходимость внедрения автоматизированных систем управления для повышения энергоэффективности и обеспечения стабильных условий для технологических процессов. Проведен анализ как внутренних, так и внешних факторов, оказывающих влияние на параметры микроклимата, а также изучены особенности работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха как взаимосвязанных элементов единого комплекса.

Предложена структура автоматизированной системы управления микроклиматом, в которую входят датчики, исполнительные механизмы, контроллеры и программное обеспечение. Описаны методы адаптивного управления, позволяющие поддерживать заданные параметры внутренней среды при минимальных затратах энергии. Особое внимание уделяется вопросам надежности и диагностики систем, выявлению отклонений в работе оборудования и увеличению долговечности компонентов.

Экспериментальные исследования, проведённые на производственном объекте, подтвердили действенность разработанной системы, что выразилось в снижении потребления тепловой энергии, улучшении стабильности температурного режима и увеличении среднего времени безотказной работы оборудования.

Результаты исследования показывают, что автоматизация управления микроклиматом представляет собой одно из основных направлений повышения эффективности эксплуатации производственных зданий, соответствующим требованиям энергоэффективности и устойчивого развития.

Ключевые слова: охрана труда, микроклимат, безопасность, производственная среда, условия труда.

Введение. Формирование оптимального микроклимата в производственных зданиях представляет собой одну из основных инженерных задач, от решения которой зависит комфорт, производительность труда сотрудников и эффективность технологических процессов. В современных условиях, когда требования к энергоэффективности, экологической безопасности и качеству рабочих условий становятся все более строгими, вопросы рационального управления параметрами внутренней среды зданий становятся особенно актуальными [1].

Производственные помещения отличаются значительными тепловыми нагрузками, неравномерным распределением температуры, изменяющейся влажностью и наличием загрязняющих веществ. В таких условиях для поддержания комфорtnого микроклимата необходимо внедрение современных автоматизированных систем управления, которые обеспечивают слаженное функционирование систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Основной целью данной работы является разработка и обоснование принципов создания автоматизированной системы управления микроклиматом в производственных помещениях, которая обеспечивает стабильное поддержание необходимых параметров внутренней среды при рациональном использовании энергетических ресурсов.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ факторов, оказывающих влияние на формирование микроклимата в производственных помещениях;
- изучить особенности работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования как взаимосвязанных компонентов единой системы;
- разработать структуру и принципы функционирования автоматизированной системы управления микроклиматом;
- рассмотреть аспекты надёжности работы и диагностики элементов системы;
- подтвердить эффективность предложенных решений на практике [2].

Материалы и методы исследования. Анализ факторов, оказывающих влияние на создание микроклимата в производственных помещениях. Микроклимат производственного помещения представляет собой совокупность характеристик внутренней среды, включающих температуру, влажность, скорость движения воздуха, радиационную температуру ограждающих конструкций и чистоту воздуха. Соблюдение установленных норм имеет решающее значение не только для комфорта и производительности сотрудников, но и для точности выполнения технологических процессов [3].

Формирование микроклимата обусловлено как внешними, так и внутренними факторами. К внешним относятся метеорологические условия: температура наружного воздуха, уровень влажности, солнечная радиация и скорость ветра. Внутренние факторы включают тепловыделения от оборудования, людей, освещения и технологических установок, а также особенности планировки и теплоизоляции здания.

Производственные помещения характеризуются изменчивостью теплового баланса в течение рабочего дня и отопительного сезона. В тяжёлой промышленности значительная часть тепловых выделений возникает внутри помещений, в то время как в помещениях с низкой теплоизоляцией наблюдаются значительные потери тепла через ограждающие конструкции.

Для обеспечения комфортных условий и стабильного технологического режима реализуется комплекс инженерных систем: отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Эффективное управление этими системами требует согласованной работы всех их компонентов, что возможно лишь при наличии автоматизированной системы управления [4-5].

Отопительная система предназначена для компенсации теплопотерь здания. В условиях изменяющихся температур наружного воздуха необходимо регулировать тепловую мощность отопительных приборов в зависимости от актуальных климатических условий. При отсутствии такого регулирования возникает перегрев помещений и нецелесообразные затраты тепловой энергии.

Анализ показал, что ключевым фактором, влияющим на теплопотребность здания, является изменение температуры наружного воздуха. В течение отопительного сезона экстремальные расчётные температуры наблюдаются довольно редко, что делает статическую настройку систем неэффективной с точки зрения расхода тепла.

Результаты и обсуждение: Система микроклимата в качестве объекта управления. Система микроклиматического обеспечения представляет собой сложный динамический объект, состоящий из множества взаимосвязанных компонентов. В её состав входят источники тепловой энергии, отопительные системы, вентиляционные установки, системы кондиционирования и автоматизированные устройства для измерения и регулирования [6].

Состояние данной системы определяется такими параметрами, как температура воздуха в помещении, температура теплоносителя на подаче и обратке, уровень влажности, скорость движения воздуха, а также расход тепловой энергии. Управление системой осуществляется на основе данных, полученных от измерений этих параметров, и информации о состоянии внешней среды.

Одной из характеристик данной системы является высокая тепловая инерция. Температура в помещении изменяется постепенно, с некоторой задержкой относительно воздействия на систему. Это обстоятельство требует использования алгоритмов управления, которые учитывают динамические свойства и задержку отклика.

Регулируемыми параметрами являются температура теплоносителя в подающем трубопроводе, расход теплоносителя через отопительные устройства и температура приточного воздуха. Управление осуществляется на основе данных от датчиков наружной температуры и температуры внутреннего воздуха [7-8].

Оптимальным решением является использование двухконтурной схемы управления, в которой один контур отвечает за регулирование подачи тепла в зависимости от температуры внешней среды, а второй корректирует параметры в соответствии с температурой в помещении. Эта система обеспечивает стабильный тепловой режим и предотвращает перегрев.

Принципы и структура автоматизированной системы управления микроклиматом. Автоматизированная система управления микроклиматом (АСУ МК) предназначена для поддержания заданных параметров внутренней среды с минимальными затратами энергии. Система состоит из измерительных, исполнительных и управляющих устройств, которые объединены в единую информационно-управляющую сеть.

Основой функционирования данной системы является принцип адаптивного управления, который предполагает автоматическую корректировку регулируемых параметров в зависимости от актуального состояния помещения и внешних условий.

Ключевые функции автоматизированной системы управления микроклиматом (АСУ МК) включают в себя [9-10]:

- автоматизированный мониторинг температуры, влажности и скорости воздушного потока;
- регулировку подачи теплоносителя в отопительные устройства;
- управление системами вентиляции и кондиционирования;
- предотвращение перегрева или переохлаждения помещений;
- регистрацию параметров и анализ эффективности использования энергии.

Система состоит из следующих элементов:

1. Датчики, измеряющие температуру, влажность, давление и расход теплоносителя.
2. Контроллер – управляющее устройство, которое обрабатывает информацию и формирует управляющие воздействия.
3. Исполнительные механизмы – клапаны, насосы, приводные устройства для заслонок и вентиляторы.
4. Коммуникационная сеть для передачи данных.
5. Программное обеспечение, предназначенное для настройки и мониторинга.

Автоматизированная система управления микроклиматом (АСУ МК) позволяет осуществлять дистанционное управление и контроль, интегрироваться в систему диспетчеризации здания, а также адаптироваться к различным технологическим режимам работы предприятия (Рисунок 1).

Надежность автоматизированной системы микроклимата определяется её способностью поддерживать функционирование при воздействии внешних факторов и в процессе длительной эксплуатации [11].

К основным причинам снижения надежности относятся естественное старение оборудования, износ исполнительных механизмов, деградация датчиков, нарушение герметичности контуров и сбои в работе программного обеспечения.

Для повышения надежности реализуется комплекс мероприятий, включающий регулярное техническое обслуживание, использование современных материалов, резервирование критически важных элементов и внедрение встроенной системы самодиагностики.

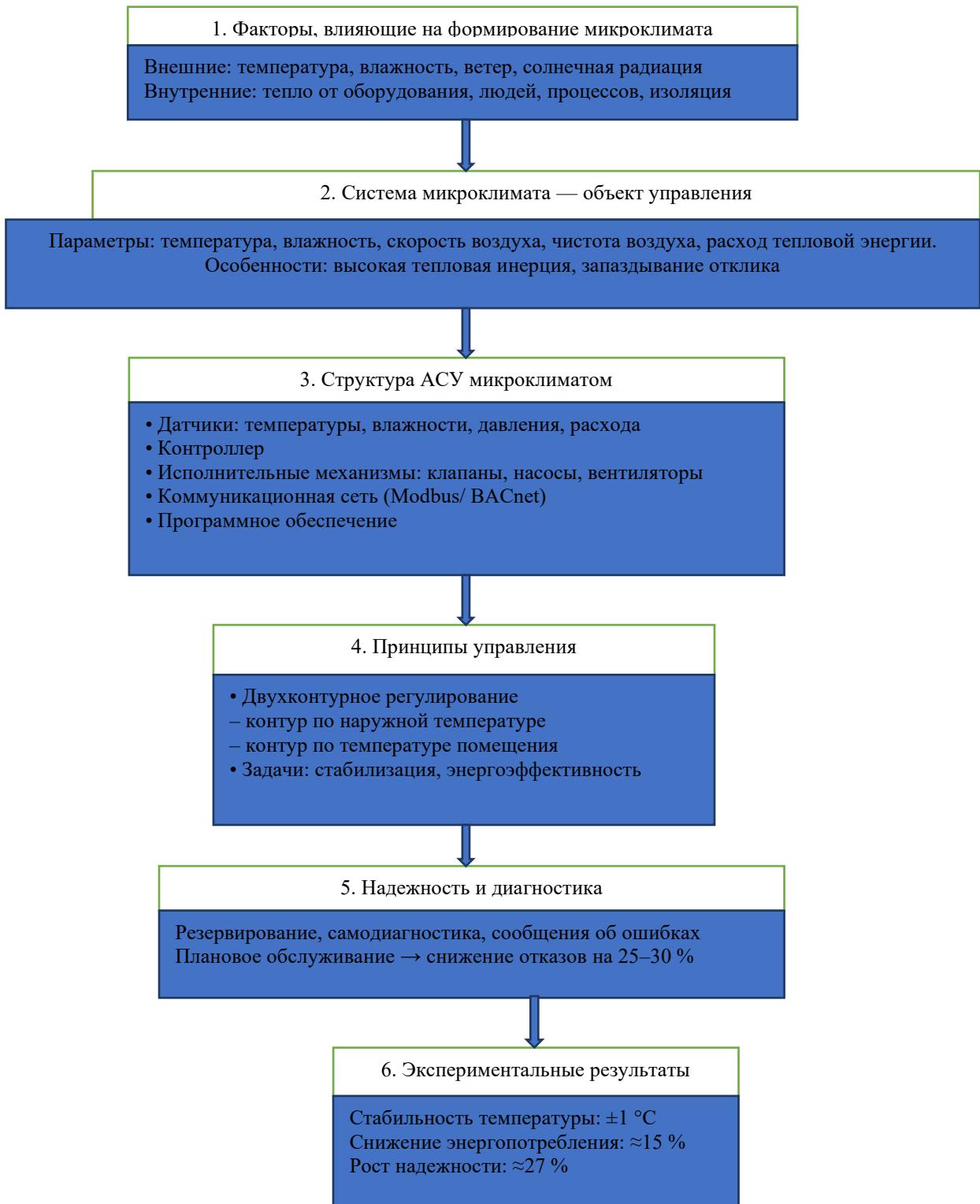


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на формирование микроклимата

Система обязана оперативно обнаруживать отклонения в параметрах и уведомлять обслуживающий персонал о потенциальных неисправностях. Для достижения этой цели в контроллере разработаны алгоритмы, позволяющие оценивать состояние оборудования и анализировать отклонения температуры, расхода теплоносителя и других параметров от установленных значений.

Практический опыт эксплуатации демонстрирует, что внедрение автоматизированных систем управления с диагностическими функциями позволяет

снизить вероятность отказов на 25–30 %, увеличить срок службы оборудования и сократить время простоя во время ремонтов [12-13].

Для проверки эффективности предложенных решений были проведены экспериментальные исследования на производственном объекте. В одном из цехов была внедрена автоматизированная система управления микроклиматом, которая включает в себя погодное регулирование подачи теплоносителя, систему вентиляции с рекуперацией тепла, а также датчики температуры и влажности [14].

Результаты энергоаудита показали, что до внедрения автоматизации имел место значительный перерасход тепловой энергии и колебания температуры в помещениях. После установки системы температура воздуха стабилизировалась в пределах 1 °C, а расход тепловой энергии снизился на 15 %.

Также был проведен анализ надежности работы оборудования, в результате которого зафиксировано увеличение среднего времени безотказной работы на 27 % по сравнению с аналогичной системой без автоматизации. Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными составило 12–14 %, что подтверждает адекватность предложенных моделей и алгоритмов. Эксплуатационные испытания продемонстрировали увеличение комфорта труда и более равномерное распределение температуры в помещении, что имеет особое значение для технологических процессов, требующих поддержания стабильного температурного режима [15].

Заключение. В ходе проведённого исследования были разработаны как теоретические, так и практические принципы формирования оптимального микроклимата на производственных объектах с использованием автоматизированных систем управления. Комплексный анализ имеющихся методов регулирования параметров внутренней среды позволил уточнить закономерности распределения тепловых потоков, воздухообмена и воздействия внешних климатических факторов. На основании полученных данных были сформулированы принципы создания интеллектуальных систем, способных динамически адаптировать микроклимат в условиях изменений производственной нагрузки и температуры окружающей среды.

Систематическое управление параметрами внутренней среды, основанное на непрерывном мониторинге температуры, влажности, скорости воздушных потоков и тепловых нагрузок оборудования, существенно увеличивает энергоэффективность и стабильность температурного режима. Применение предсказательных алгоритмов управления позволяет более точно распределять теплоэнергию и уменьшает вероятность перерегулирования систем.

Созданная структура автоматизированной системы управления микроклиматом объединяет отопительные, вентиляционные и кондиционерные комплексы, обеспечивая их согласованную работу. Это приводит к снижению энергетических потерь, улучшению равномерности распределения тепла и воздуха, повышению температурного комфорта и возможности гибкой адаптации системы к особенностям конкретного объекта. Модульная архитектура упрощает расширение функциональности и интеграцию дополнительных подсистем, таких как мониторинг качества воздуха и учет энергоносителей.

Экспериментальные исследования продемонстрировали, что реализация системы приводит к снижению потребления тепловой энергии, уменьшению нагрузки на оборудование и повышению его надёжности. Условия труда улучшаются благодаря стабилизации микроклиматических параметров и снижению локальных перегревов и переохлаждений. Практические испытания подтвердили эффективное функционирование системы в условиях различных технологических циклов без значительных дополнительных затрат.

Автоматизация управления микроклиматом представляет собой ключевой инструмент для повышения эффективности эксплуатации производственных зданий и достижения современных требований по энергоэффективности, промышленной безопасности и устойчивому развитию. Внедрение предложенных решений способствует

снижению эксплуатационных затрат и укреплению экологической устойчивости предприятия.

В предстоящих исследованиях основное внимание будет уделено улучшению функциональности системы за счет внедрения технологий машинного обучения, интеграции с цифровыми моделями (Digital Twin) и разработке прогнозных алгоритмов. Это станет основой для создания полностью автономных самообучающихся систем управления микроклиматом нового поколения.

Литературы:

- [1] **Акулич, В.В.** Автоматизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Академия, 2020.
- [2] **Бойко, И.И.** Микроклимат производственных помещений: нормы, методы обеспечения и контроля. – СПб.: Профи, 2019.
- [3] **Гончаров, А.А.,** Сидоров П.Н. Алгоритмы адаптивного управления инженерными системами зданий // Автоматизация в промышленности, 2022. – №4. – С. 33-42.
- [4] **Долгий, А.И.** Энергоэффективные системы теплоснабжения и вентиляции зданий. – М.: Инфра-М, 2021.
- [5] ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort.
- [6] ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. – Atlanta: ASHRAE, 2021.
- [7] **Кравченко, Н.А.** Математическое моделирование тепловых процессов в зданиях // Энергосбережение, 2020. – №6. – С. 12-18.
- [8] **Лапидус, А.А.,** Мартынов К.Ю. Системы автоматического регулирования в инженерных сетях зданий. – М.: Лань, 2018.
- [9] **Петров, Е.С.** Диагностика и надежность инженерных систем зданий // Инженерные системы, 2021. – №2. – С. 55-63.
- [10] СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы микроклимата производственных помещений.
- [11] **Федоров, В.П.** Теплотехнические основы вентиляции и кондиционирования воздуха. – СПб.: БХВ-Петербург, 2019.
- [12] HVAC Controls and Control Systems // ASHRAE Journal, 2020. – Vol. 62(7) . – pp. 24-36.
- [13] Zhao, H., Magoulès F. A review on the prediction of building energy consumption // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. – Vol. 16(6). – pp. 3586-3592.
- [14] Pérez-Lombard, L., Ortiz J., Pout C. A review on buildings energy consumption information // Energy and Buildings, 2008. – Vol. 40. – pp. 394-398.
- [15] Kusiak, A., Xu G. Modeling and optimization of HVAC systems using soft computing techniques // Energy, 2012. – Vol. 42(1) . – pp. 241-250.

References:

- [1] **Akulich, V.V.** Avtomatizacija sistem otoplenija, ventiljacii i kondicionirovaniya vozduha. – M.: Akademija, 2020. [in Russian]
- [2] **Bojko, I.I.** Mikroklimat proizvodstvennyh pomeshhenij: normy, metody obespechenija i kontrolja. – SPb.: Profi, 2019. [in Russian]
- [3] **Goncharov, A.A.,** Sidorov P. N. Algoritmy adaptivnogo upravlenija inzhenernymi sistemami zdanij // Avtomatizacija v promyshlennosti, 2022. – №4. – S. 33-42. [in Russian]
- [4] **Dolgij, A.I.** Jenergoeffektivnye sistemy teplosnabzhenija i ventiljacii zdanij. – M.: Infra-M, 2021. [in Russian]
- [5] ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort.
- [6] ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. – Atlanta: ASHRAE, 2021.
- [7] **Kravchenko, N.A.** Matematicheskoe modelirovanie teplovyh processov v zdaniyah // Jenergosberezhenie, 2020. – №6. – S. 12-18. [in Russian]

- [8] **Lapidus, A.A.**, Martynov K. Ju. Sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya v inzhenernyh setjah zdaniy. –M.: Lan', 2018. [in Russian]
- [9] **Petrov, E.S.** Diagnostika i nadezhnost' inzhenernyh sistem zdaniy // Inzhenernye sistemy, 2021. – №2. – S. 55-63. [in Russian]
- [10] SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy mikroklimata proizvodstvennyh pomeshchenij. [in Russian]
- [11] **Fedorov, V.P.** Teplotehnickie osnovy ventiljacii i kondicionirovaniya vozduha. – SPb.: BHV-Peterburg, 2019. [in Russian]
- [12] HVAC Controls and Control Systems // ASHRAE Journal, 2020. – Vol. 62(7) . – pp. 24-36.
- [13] **Zhao, H.**, Magoulès F. A review on the prediction of building energy consumption // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. – Vol. 16(6). – pp. 3586-3592.
- [14] **Pérez-Lombard, L.**, Ortiz J., Pout C. A review on buildings energy consumption information // Energy and Buildings, 2008. – Vol. 40. – pp. 394-398.
- [15] **Kusiak, A.**, Xu G. Modeling and optimization of HVAC systems using soft computing techniques // Energy, 2012. – Vol. 42(1) . – pp. 241-250.

ӨНДІРІСТІК ОРЫНДАРДА АВТОМАТТАНДЫРЫЛГАН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ БАР ОҢТАЙЛЫ МИКРОКЛИМАТ ҚҰРУ

Сарабекова У.Ж., PhD, қауымдастырылған профессор
Турмаганбетов Р.Б., 7М11279 «Өмір тіршілігінің қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау»
 БББ-ның 2 курс магистранты

Корқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

Аннотация. Бұл жұмыста өндірістік үй-жайларда оңтайлы микроклиматты қалыптастырудың негізгі қагидаттары, сондай-ақ энергия тиімділігін арттыру және технологиялық процестер үшін тұрақты жағдайларды қамтамасыз ету үшін автоматтандырылған басқару жүйелерін енгізу қажеттілігі қарастырылады. Микроклимат параметрлеріне әсер ететін ішкі және сыртқы факторларға талдау жүргізілді, сондай-ақ бірыңғай кешенниң өзара байланысты элементтері ретінде жылдыту, желдету және ауа баптау жүйелері жұмысының ерекшеліктері зерделенді.

Микроклиматты басқарудың автоматтандырылған жүйесінің құрылымы ұсынылды, оған датчиктер, атқарушы тетіктер, бақылаушылар және бағдарламалық қамтамасыз ету кіреді. Энергияның ең аз шығыны кезінде ішкі ортаның берілген параметрлерін қолдауға мүмкіндік беретін бейімделген басқару әдістері сипатталған. Жүйелердің сенімділігі мен диагностикасы, жабдық жұмысындағы ауытқуларды анықтау және компоненттердің ұзақтығын ұлғайту мәселелеріне ерекше назар аударылады.

Өндірістік нысанда жүргізілген эксперименттік зерттеулер жылу энергиясын тұтынуды төмендетуден, температуралық режимнің тұрақтылығын жаксартудан және жабдықтың тоқтаусыз жұмыс істеуінің орташа уақытын ұлғайтудан көрініс тапқан әзірленген жүйенің пәрменділігін растады.

Зерттеу нағижендері микроклиматты басқаруды автоматтандыру энергия тиімділігі мен орнықты дамудың қазіргі заманғы талаптарына сәйкес өндірістік гимараттарды пайдалану тиімділігін арттырудың негізгі бағыттарының бірі болып табылатынын көрсетеді.

Тірек сөздер: еңбекті қорғау, микроклимат, қауіпсіздік, өндірістік орта, еңбек жағдайлары.

CREATING AN OPTIMAL MICROCLIMATE AT PRODUCTION SITES WITH AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM

Sarabekova U.Zh., PhD, associate professor
Turmaganbetov R.B., 2nd year master's student of the EP 7M11279 «Life safety and Environmental Protection»

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

Annotation. This paper discusses the basic principles of forming an optimal microclimate in production premises, as well as the need to introduce automated control systems to improve energy efficiency and ensure stable conditions for technological processes. Analysis of both internal and external factors affecting the microclimate parameters was carried out, as well as the features of the operation of heating, ventilation and air conditioning systems as interconnected elements of a single complex were studied.

Disclosed is a structure of an automated microclimate control system which includes sensors, actuators, controllers and software. Methods of adaptive control are described, which make it possible to maintain specified parameters of internal environment at minimum power consumption. Particular attention is paid to the reliability and diagnostics of systems, identifying deviations in the operation of equipment and increasing the durability of components.

Experimental studies conducted at the production facility confirmed the effectiveness of the developed system, which resulted in a decrease in thermal energy consumption, improved temperature stability and an increase in the average uptime of the equipment.

The results of the study show that automation of microclimate management is one of the main directions for improving the efficiency of production buildings, meeting modern requirements for energy efficiency and sustainable development.

Keywords: labor protection, microclimate, safety, production environment, working conditions.