

УДК 69.0

**Томилин Виктор Андреевич**

аспирант

E-mail: [vtxceasarx@gmail.com](mailto:vtxceasarx@gmail.com)

**Ананьин Михаил Юрьевич**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: [m.y.ananin@urfu.ru](mailto:m.y.ananin@urfu.ru)

**Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина**

Адрес организации: 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

**Красноборов Никита Сергеевич**

инженер-конструктор

E-mail: [nikita.stroymed@yandex.ru](mailto:nikita.stroymed@yandex.ru)

**ООО «ПСК СтройМедСервис»**

Адрес организации: 620034, Россия, г. Екатеринбург, ул. Бебеля, д. 17

### **Развитие и применение Модуля Климатизированного как современной единицы высокотехнологичного строительства**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* В настоящей статье приведено исследование применения Модуля Климатизированного, как изделия для формирования Комплекса Чистых Помещений в разных технологических схемах. Целью статьи является исследование и анализ Модуля Климатизированного с точки зрения высокотехнологичных процессов, основываясь на недостатках и достоинствах данного типа конструктивных решений.

*Результаты.* Рассмотрены проблемы развития модульного устройства чистых помещений, а также все преимущества и недостатки. Проведен анализ классификации Чистых Помещений. Выведена схема для классификации Модулей Климатизированных. Выявлены проблемы современной нормативно-правовой базы по организации Чистых Помещений на территории Российской Федерации. Выдвинуты предположения по улучшению ситуации. Рассмотрены следующие вопросы: обеспечение высокого уровня оснащения и исполнения Чистых Помещений; развитие модульного строительства в медицине, фармацевтическом производстве, производстве микроэлектроники и так далее на базе Модуля Климатизированного; возможность модернизации устаревших технологических решений; создание структурной классификации Модуля Климатизированного как для медицинской технологии, так и для различных сфер возможного применения.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в обозначении преимуществ Модуля Климатизированного для его дальнейшего применения при реконструкции устаревших технологических решений, организации высокотехнологичных производственных мощностей, а также в составлении принципа классификации данных модульных систем, что поможет сформировать нормативную базу.

**Ключевые слова:** чистые помещения, комплекс, быстровозводимое здание, модуль медицинский климатизированный, концентрация частиц, герметизированные.

#### **Введение**

Важное место в развитии современного высокотехнологичного производства занимает изготовление и применение Чистых Помещений (ЧП) [1].

В обычных помещениях производственного или медицинского технологических процессов чистота воздуха оценивается массовой концентрацией загрязнений в воздухе. В отличие от них, ЧП характеризуются счетной концентрацией частиц, т.е. их числом в единице объема воздуха. Основным фактором определения понятия ЧП является то, что данные помещения охарактеризованы именно счетной концентрацией частиц, т.е. числом частиц в единице объема воздуха, а также размером данных частиц (0,1; 0,3; 0,5 мкм и т.д.). Отсюда вытекают особенности поддержания и определения показателей чистоты, специфические требования к контрольным приборам, счетчикам частиц в воздухе, отделке помещений, общей системой поддержания климата и прочего [2].

Целью настоящего исследования является изучение возможности повышения уровня медицинского обслуживания при организации Комплекса Чистых Помещений (КЧП), а также создание улучшенных условий для высокотехнологичных производств (фармацевтических, микроэлектроники, военной промышленности и т.д.). В результате были определены следующие задачи: 1) обеспечение высокого уровня оснащения и исполнения ЧП; 2) развитие модульного строительства на базе Модуля Климатизированного (МК); 3) возможность модернизации устаревших технологических решений; 4) создание структурной классификации МК как для медицинской технологии, так и для различных сфер возможного применения. Исследование выполнено методом морфологического анализа информации и ее синтеза.

### Состояние вопроса

Идея применения МК в высокотехнологичной медицине не является новой (рис.).



Рис. 1. Модуль Климатизированный при организации Общепрофильной операционной (иллюстрация авторов)

Во всем мире создание герметичных, многопрофильных, антибактериальных помещений с возможностью многоразового применения, а также высокой заводской готовностью, доказало свое превосходство перед традиционными отделками помещений, а в некоторых странах обустройство КЧП стандартизируется нормативными документами. Так, например, в Соединенных Штатах Америки приняты правила по отделке ЧП определенными видами материалов, которые достаточно хорошо зарекомендовали себя за последние 30 лет. Введены определенные нормы по воздухообмену и оснащению таких помещений. В России внедрение МК для обустройства КЧП является малоизученной темой и имеет ограниченное применение из-за неполноценного соответствия нормативной документации современным реалиям, а также дороговизны материалов для МК. Однако развитие МК не стоит на месте, и некоторые компании активно занимаются разработкой и применением МК для организации КЧП [3].

### Конструктивные решения

МК – это отдельно разработанный, многофункциональный и многоразовый модуль для организации помещений особых классов чистоты. МК представляет собой быстровозводимую конструкцию (быстровозводимое здание), имеющую огромное количество преимуществ перед традиционной отделкой при формировании КЧП, при фармацевтическом производстве, при производствах микроэлектроники, при формировании помещений особых классов чистоты в медицинской технологии и т.д.

Основные особенности МК:

- 1) герметичность помещений и высокотехнологичная антибактериальная отделка с повышенной износостойкостью;
- 2) МК – это полноценное комплексное решение, включающее в себя решения по

инженерным системам, таким как вентиляция, автоматика, водоподготовка и водоотведение, электрика, оснащение необходимым оборудованием и т.д.;

3) повышенная заводская готовность и разработка индивидуального проекта для дальнейшего обслуживания и переустройства КЧП;

4) возможность многоразового использования МК (сборно-разборная технология) как быстровозводимое здание (БВЗ);

5) возможность формирования сложных технологических единиц, при использовании МК, как БВЗ или отдельно стоящие самонесущие модули [4].

Развитие МК в нашей стране и во всем мире позволило сократить нежелательные последствия послеоперационного периода, а также сформировать полноценные технологические процессы без нарушения чистоты воздухообмена, классов чистоты, а также несоответствия помещения процессу, выполняемому в данной единице. Стоит отметить, что выполнение и разработка МК должны производиться высококачественными специалистами с большим опытом в данной сфере, пониманием технологических процессов, умением разграничивать технологии (например, медицину от фармацевтического производства и т.д.), а также уметь производить проверку стандартов качества выполненной ими продукции [5, 6].

Однако, несмотря на все преимущества МК для КЧП, он имеет ряд недостатков, которые ограничивают развитие МК в России и массовое использование. К таким недостаткам можно отнести:

1) отсутствие строгой нормативно-правовой базы по проектированию, использованию и внедрению МК в КЧП. В России, в данный период времени, имеется ряд нормативных документов, которые описывают принцип построения и реализации КЧП. Они затрагивают класс чистоты воздуха, отделочные материалы, герметичность, химическую обработку и устойчивость к ней, и так далее. Но при этом в документации нет четкого объяснения, как в общем конструктивно-технологическом исполнении должны выглядеть КЧП. Нигде также не говорится об использовании МК для организации КЧП как медицинского оборудования. Данный недостаток приводит к необоснованной свободе выбора, которая провоцирует нерациональные решения, а также к усложнению проектных решений;

2) высокая стоимость полного комплекса по организации КЧП на базе МК (от разработки проекта до ввода МК в эксплуатацию). Стоит отметить, что высокая цена обусловлена качественными характеристиками финальной продукции, а также уникальности каждой изготавливаемой единицы. Возможно, создание серий универсальных модулей, а также проектных решений, которые как кубики можно будет выкладывать в современную технологию, со всеми заранее проработанными и рассчитанными инженерными нагрузками, оборудованием, приведет к удешевлению, как при производстве, так и при проектировании. Не нужно также забывать, что организация КЧП с помощью МК – это развитие высокотехнологичной медицины, а, следовательно, повышение качества здоровья населения [7, 8].

### **Особенности МК**

МК – это модуль, который имеет прямое отношение к БВЗ [9]. Конструктивно – это металлокаркас, который может быть исполнен в нескольких видах [10]. Наиболее используемые и популярные из них:

1) Отдельно стоящие модули внутри общего помещения. Данные модули имеют каркас, который покрывается ограждающими панелями. Все необходимые инженерные системы разводятся подполом и (или) в толще стеновых конструкций. Системы поддержания чистоты воздуха (системы воздухообмена и кондиционирования воздуха) располагаются на специально выделенных для них этажах и местах, или на самом модуле.

2) Модуль, вписанный в готовые помещения. Данный модуль представляет собой металлокаркас внутри помещения с навешанными панелями. Все инженерные системы идут за панелями.

3) Модуль, который является БВЗ. Это отдельно стоящий модуль, который может быть использован для формирования зданий, путем совмещения нескольких элементов. Хорошими примерами данного использования МК могут являться Фельдшерско-

акушерские пункты (далее ФАП), которые возводятся в труднодоступных районах или в районах с ЧС [11].

Ограждающие конструкции – это многослойные панели из разных материалов, со специальным покрытием, которое должно выдерживать большое количество циклов химической обработки. Такие панели могут быть гипс-металлические, панели из HPL-пластиков, из нержавеющей стали с заполнением ГКЛ и так далее. Потолок выполняется по системе Slip-In, для возможности постоянного контроля потолочного пространства и инженерных систем [12].

Главная особенность всего конструктива МК – это его герметичность. Напольное покрытие, стыки потолочных конструкций, стыки стеновых ограждений, двери, стеклоблоки – все эти элементы выполняются герметичными, при помощи уплотнительных резинок, профилей, герметиков и так далее [13-14]. Так, например, в компании ООО «НПО СтройМедСервис» была разработана уникальная система крепления и герметизации HPL-панелей в МК. Их способ позволяет закрепить и герметизировать панели с возможностью их дальнейшей «горячей» замены, или полного переустройства.

Особенный конструктив, герметичность конструкции, устойчивое развитие, применение современных технологий, а также многофункциональность определяют МК как современное медицинское оборудование, которое должно и способно повысить уровень исполнения КЧП, повысить уровень здоровья населения, повысить уровень реализации различных производственных мощностей, где необходима организация ЧП.

### Классификация ЧП

Как выяснили ранее, МК для КЧП имеет ряд особенностей при конструировании, которые зависят от классификации ЧП.

Важной характеристикой ЧП является определение его класса. Характеризуются ЧП классификационным числом, которое определяет допустимую концентрацию микрочастиц в 1 м<sup>3</sup> воздуха. В ЧП может быть организовано несколько чистых зон. Каждая чистая зона должна быть в ламинарном воздушном потоке, что позволяет создавать локальные Чистые зоны, такие как ламинарный шкаф. От характера потока воздуха в ЧП в значительной степени зависят особенности конструктива как самого МК так и систем климата.

В табл. 1 указана классификация чистых помещений по межгосударственному стандарту ГОСТ ИСО 14644-1 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха».

Таблица 1

### Классификация ЧП по ГОСТ ИСО 14644-1

Класс чистоты	Предельно допустимое число частиц в 1 м <sup>3</sup> воздуха с размерами, равными или превышающими, мкм					
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	5,0
1 ИСО	10	2				
2 ИСО	100	24	10	4		
3 ИСО	1000	237	102	35	8	
4 ИСО	10000	2370	1020	352	83	
5 ИСО	100000	23700	10200	3520	832	29
6 ИСО	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7 ИСО				352000	83200	2930
8 ИСО				3252000	832000	29300
9 ИСО				35200000	8320000	293000

В табл. 2 дана более подробная классификация ЧП, которая классифицирует ЧП по различные стандарты.

Таблица 2

**Классификация ЧП по различным стандартам**

ГОСТ ИСО 14644-1	ГОСТ Р 50766-95	Стандарт США 209 E	Стандарт США 209 D
1 ИСО	P1	-	-
2 ИСО	P2	-	-
3 ИСО	P3 (1)	M 1.5	1
4 ИСО	P4 (10)	M 2.5	10
5 ИСО	P5 (100)	M 3.5	100
6 ИСО	P6 (1000)	M 4.5	1000
7 ИСО	P7 (10000)	M 5.5	10000
8 ИСО	P8 (100000)	M 6.5	100000
9 ИСО	P9 (1000000)	-	-

Требования к чистоте воздуха при проектировании КЧП обычно определяются техническими условиями, технологическим заданием, технологическими регламентами (процессами) и так далее.

**Источники микрозагрязнений**

Окружающий воздух содержит огромное количество микрочастиц, которые прямо или косвенно влияют на технологический процесс в КЧП. Микрозагрязнения воздуха выделяются персоналом, ограждающими конструкциями, оборудованием, проникают в ЧП из окружающей среды. В ЧП 70-80 % загрязнений происходят от деятельности человека, 15-20 % от работы специализированного оборудования, 5-10 % загрязнений поступают из окружающей среды [15].

Данные показатели указывают на то, что МК для КЧП должен быть герметичным и с настроенной системой воздухообмена.

Чистое помещение – это искусственно созданная среда. На земле нет подобных условий чистоты. Например, класс 5 ИСО соответствует чистоте воздуха в атмосфере на высоте более четырех километров. Поддержание заданного класса чистоты является постоянной борьбой с возможными источниками загрязнений, поддержанием постоянного барьера между ними и внешней естественной, загрязненной средой.

Национальное агентство по исследованию космоса США (NASA) проводило исследование по соотношению между числом частиц и микроорганизмами в воздухе. Это было необходимо для упрощения классификаций и расчетов, а также стандартизации и лицензирования КЧП. Расчет микроорганизмов в воздухе дело достаточно долгое и затратное. А расчет микрочастиц проводится достаточно быстро и точно. Был выведен стандарт NASA NHB 5340, который установил четкую зависимость между количеством частиц и микроорганизмов в табл. 3.

Таблица 3

**Связь между числом частиц и числом микроорганизмов в воздухе по стандарту NASA NHB 5340**

Класс чистого помещения по стандарту США 209 D	Частицы		Микроорганизмы	
	Диаметр, мкм	Количество в 1 фут <sup>3</sup> (л)	Взвешенные в 1 фут <sup>3</sup> (л)	Осажденные на 1 фут <sup>2</sup> /нед. (1 м <sup>2</sup> /нед.)
100	>0,5	<100 (<3,5)	<0,1 (<0,0035)	1200 (12900)
10000	> 0,5	<10000 (<350)	<0,5 (<0,0176)	6000 (64600)
	> 5,0	<65 (<2,3)		
100000	> 0,5	<100000 (<3500)	<2,5 (<0,0884)	30000 (323000)
	> 5,0	<700 (<25)		

Разработка стандарта способствовала развитию классификаций, в том числе и Российский (ГОСТ ИСО 14644-1) был создан с отсылкой на разработки Американских ученых и ученых со всего мира.

### **Классификация МК для КЧП**

Основываясь на вышеизложенных фактах, выполнен морфологический анализ информации и определена собственная модель классификации МК.

Основная идея классификации – это обозначить МК как оборудование, которое позволяет производить более качественные ЧП. Использование МК позволит сократить время и средства при формировании технологии КЧП. Создание классификатора позволит наиболее точно и быстро сформировать технические требования по оснащению МК.

В результате исследования определены следующие основные параметры при выборе МК. Исходя из последовательности решения задач они проранжированы в следующем порядке:

1) назначение помещений. Под этим параметром мы понимаем его технологическую принадлежность. Отсюда мы сможем получить обширный список помещений (медицина, фармацевтическое производство, микроэлектроника, военная промышленность, лаборатории разного направления и так далее). Определив назначение помещения, появляется возможность определиться с площадью данных помещений, их габаритными показателями, а также оснащением необходимым оборудованием. Этот пункт позволит сразу получить список необходимого оборудования, его нагрузки на все системы инженерного назначения и на каркас в целом. Для точности данного показателя необходимо учитывать класс чистоты (табл. 1). Взяв во внимание данную классификацию, можно выделить параметр класса чистоты воздуха в будущем помещении. Также, основываясь на этой характеристике, можно выделить системы воздухораспределения и климата. Это подбор оборудования по мощности, габаритам, энергозатратам, класс фильтрующих элементов и так далее. Данные по оборудованию должны соответствовать классу чистоты воздуха. Получив эти данные, появляется возможность сразу определиться с необходимыми характеристиками оборудования;

2) конструктивные особенности МК. В этом пункте происходит выбор конструктива: каркаса (зависит от веса оборудования, его крепления и так далее), ограждающие конструкции (выбор стеновых панелей, потолочных панелей, типов дверей и так далее), выбор освещения, выбор конструктива напольного покрытия;

3) исходя из п. 1 и п. 2 классификации определяется следующий пункт – выбор инженерных систем. В этом пункте определяется необходимость ввода воды и канализации, их расположение по площади модуля. Также определяется электроэнергия. Ее затраты и мощности для оборудования и количество точек подключения. Также, исходя из п. 1, определяются важные второстепенные инженерные системы (например, системы медицинского газоснабжения);

4) последний пункт классификатора – дополнительные системы. Этот пункт является наиболее обширным, так как в него входят системы, которые, исходя из п. 1, будут отличаться под каждую технологию. Это такие системы как: система автоматизации и диспетчеризации, системы умного освещения, системы предотвращения ЧС, системы контроля качества воздуха и так далее.

Если взять за основу данный классификатор и произвести дальнейшие исследования с учетом всех аспектов и проблем при формировании заданий на производство МК, то получится сократить время на производство проекта, а также позволит заказчику получить наиболее обширную картину продукта, который он получит, и ознакомиться с необходимыми характеристиками изделия.

Главная проблема на сегодняшний день – это отсутствие полного понимания всех преимуществ МК перед традиционной отделкой, также отсутствие строгого контроля соответствия МК и оборудования всем необходимым характеристикам технологических процессов, в которых данный МК будет применяться. Разработка классификатора позволит избежать досадных и порой критических ошибок при формировании КЧП, а также затрат, которые в случае организации высокотехнологического производства могут быть достаточно критичными [16-18].

### Заключение

В заключении следует отметить следующее:

1) использование МК – наиболее рациональный способ организации помещений в разных технологических схемах, т.к. МК – это высокотехнологичное изделие, которое позволяет сократить проблемы, возникающие при формировании сложных технологических процессов;

2) простота конструктивных решений в совокупности с высокими технологиями, а также повышенная заводская готовность позволяют в кратчайшие сроки, без колоссальных трудозатрат, произвести монтаж здания готового к эксплуатации;

3) МК – это гибкая единица, которая имеет огромный потенциал к применению в готовой архитектуре и может быть вписана в работающую технологическую схему, что позволит повысить уровень технологического производства, а также сократить затраты на реконструкцию и капитальный ремонт;

4) разбор и анализ критериев для классификации позволит создать полноценный и объемный классификатор МК, который позволит упростить элементы разработки и принятия решений по внедрению МК в технологическую схему высокотехнологического производства.

### Список библиографических ссылок

1. Надоленко В. Модульные чистые помещения – простое и экономичное решение // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 2. С. 59–61.
2. Unno K. Clean rooms // Current state and trends of the environment monitoring in semiconductor manufacturing. 1985. № 4 (11). P. 67–88.
3. Кузнецов В. И., Мчедlishvili Б. В., Сисакян А. Н., Фурсов Б. И., Шестаков В. Д. Чистое помещение // Экологические системы и приборы. 2005. № 2. С. 36–37.
4. Tomilin V. A., Ananin M. Yu., Gubanov A. N., Zimberg E. O. Use of medical climatized module for organizing high-tech medical technology in remote and hard-to-reach areas : dig. of art. I International Conference on Advances in Science and Technology. USA. Morrisville, 2018. P. 69–75.
5. Адам Ф. М. Особенности монтажа быстровозводимых зданий // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2001. № 2. С. 12–16.
6. Маркин А. В. Особенности понятия «кратность воздухообмена» применительно к чистым помещениям производственного назначения // Электронная техника. 2017. Серия 3: Микроэлектроника. С. 70–78.
7. Холодова Л. П., Ананьин М. Ю., Федорова М. С. Архитектурный анализ планировочных решений первых заводских госпиталей Урала // Архитектон: известия вузов. 2013. № 4 (44). С. 15–25.
8. Федорова М. С., Холодова Л. П. Ключевые этапы для развития норм для проектирования военных госпиталей // Архитектон: известия вузов. 2014. № 3 (47). С. 10–20.
9. Адам Ф. М. Полносборное строительство модульных быстровозводимых малоэтажных зданий : сб. ст. Постсоветское градостроительство – Материалы научно-практической конференции / Госстрой России ГУ НИИ Градостроительства. Санкт-Петербург, 2001. С. 119–121.
10. Тамплон Ф. Ф. Металлические ограждающие конструкции. Свердловск : УПИ им. С.М. Кирова, 1976. 248 с.
11. Асаул А. Н., Казаков Ю. Н., Быков В. Л., Князь И. П., Ерофеев П. Ю. Теория и практика использования быстровозводимых зданий в обычных условиях и чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом. СПб. : Гуманистика, 2004. 472 с.
12. Рыбаков В. А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций. Санкт-Петербург : Политех, 2011. 207 с.
13. Уайт В. Проектирование чистых помещений. М. : Клинрум, 2004. 360 с.
14. Федотов А. Е. Основы GMP. М. : Асинком, 2012. 576 с.

15. Sineglazov V. M., Fedosenko V. N., Radko E. N. Mathematical models of pollution dynamics of clean rooms // *Електроніка та системи управління*. 2014. № 1 (39). С. 114–120.
16. Томилин В. А., Ананьин М. Ю., Губанов А. Н., Зимберг Э. О. Перспективы использования быстровозводимых зданий для медицинской технологии : сб. ст. Новое слово в науке и практике – IV международной научно-практической конференции / Дендра. Уфа, 2017. С. 23–31.
17. Li C.-S., Hou P.-A. Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms // *The Science of The Total Environment*. 2003. № 1 (3). P. 169–176.
18. Eren B., Kersell H., Weatherup R. S., Heine C., Salmeron M. B., Crumlin E. J., Friend C. M. Structure of the clean and oxygen-covered CU(100) surface at room temperature in the presence of methanol vapor in the 10-200 MTORR pressure range // *Journal of physical chemistry*. 2018. № 2 (122). P. 548–554.

**Tomilin Viktor Andreevich**

post-graduate student

E-mail: [vtxceasarx@gmail.com](mailto:vtxceasarx@gmail.com)**Ananin Mikhail Iuryevich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [m.y.ananin@urfu.ru](mailto:m.y.ananin@urfu.ru)**Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Eltsin**

The organization address: 620002, Russia, Ekaterinburg, Mira st., 19

**Krasnoborov Nikita Sergeevich**

design engineer

E-mail: [nikita.stroyed@yandex.ru](mailto:nikita.stroyed@yandex.ru)**ООО «PSK StroyMedService»**

The organization address: 620034, Russia, Ekaterinburg, Bebel st., 17

### **Development and application of the Climatized Module as a modern high-tech construction unit**

**Abstract**

*Problem statement.* This article presents a study of the use of the Climatized Module as a product for the formation of a Complex of Clean Rooms in various technological schemes. The purpose of the article is to research and analyze the Climatized Module from the point of view of high-tech processes, which based on the disadvantages and merits of this type of design solutions.

*Results.* The problems of the development of a modular device clean rooms, as well as all the advantages and disadvantages. An analysis of the classification of Clean rooms. A scheme for classifying Climatized Modules is derived. The problems of the current regulatory framework for the organization of Clean rooms in the territory of the Russian Federation are identified. Assumptions made to improve the situation. The following issues were addressed: ensuring a high level of equipment and performance of the Clean rooms; development of modular construction in medicine, pharmaceutical production, production of microelectronics and so on based on the Climatized Module; the possibility of upgrading outdated technological solutions; creation of a structural classification of the Climatized Module for both medical technology and for various areas of possible application.

*Conclusions.* The significance of the study consists in identifying the advantages of the Climatized Module for its further use in the reconstruction of outdated technological solutions, the organization of high-tech production facilities, and also in drafting the principle of classifying these modular systems, which should help form a regulatory framework.

**Keywords:** clean rooms, complex, prefabricated building, medical climatized module, particle concentration, hermetically sealed.



## References

1. Nadolenko V. Modular cleanrooms – a simple and economical solution // *Tehnologii v elektronnoi promyshlennosti*. 2011. № 2. P. 59–61.
2. Unno K. Clean rooms // *Current state and trends of the environment monitoring in semiconductor manufacturing*. 1985. № 4 (11). P. 67–88.
3. Kuznetsov V. I., Mchedlishvili B. V., Sisakyan A. N., Fursov B. I., Shestakov V. D. Clean room // *Ecologicheskie sistemy i pribory*. 2005. № 2. P. 36–37.
4. Tomilin V. A., Ananin M. Yu., Gubanov A. N., Zimberg E. O. Use of medical climatized module for organizing high-tech medical technology in remote and hard-to-reach areas : dig. of art. I International Conference on Advances in Science and Technology. USA. Morrisville, 2018. P. 69–75.
5. Adam F. M. Features of the installation of prefabricated buildings // *Montagnye I specialnye raboty v stroitelstve*. 2001. № 2. P. 12–16.
6. Markin A. V. Features of the concept of «air exchange rate» in relation to clean rooms for production purposes // *Elektronnay tehnika*. 2017. Seria 3: Mikroelektronika. P. 70–78.
7. Kholodova L. P., Ananin M. Yu., Fedorova M. S. Architectural analysis of the planning decisions of the first factory hospitals of the Urals // *Arhitekton: izvestia vuzov*. 2013. № 4 (44). P. 15–25.
8. Fedorov M. S., Kholodova L. P. Key stages for the development of standards for the design of military hospitals // *Arhitekton: izvestia vuzov*. 2014. № 3 (47). P. 10–20.
9. Adam F. M. Full-assembly construction of modular pre-fabricated low-rise buildings : dig. of art. *Postsovetskoe gradostroitelstvo / Gosstroj Rossii GU NII Gradostroitelstva*. St. Petersburg, 2001. P. 119–121.
10. Tamplon F. F. Metal enclosing structures. Sverdlovsk : UPI im. S.M. Kirova, 1976. 248 p.
11. Asaul A. N., Kazakov Yu. N., Bykov V. L., Prince I. P., Erofeev P. Yu. Theory and practice of using pre-fabricated buildings in normal conditions and emergency situations in Russia and abroad. St. Petersburg : Gumanistika, 2004. 472 p.
12. Rybakov V. A. Basics of building mechanics of light steel thin-walled structures. SPb. : Politeh, 2011. 207 p.
13. Uait V. Cleanroom Design. M. : Klinrum, 2004. 360 p.
14. Fedotov A. E. GMP basics. M. : Asinkom, 2012. 576 p.
15. Sineglazov V. M., Fedosenko V. N., Radko E. N. Mathematical models of pollution dynamics of clean rooms // *Electronics and control systems*. 2014. № 1 (39). P. 114–120.
16. Tomilin V. A., Ananyin M. Yu., Gubanov A. N., Zimberg E. O. Prospects for the use of prefabricated buildings for medical technology : dig. of art. *Novoe slovo v nayke I praktike – IV naychno-prakticheskoi konferencii / Dendra*. Ufa, 2017. P. 23–31.
17. Li C.-S., Hou P.-A. Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms // *The Science of The Total Environment*. 2003. № 1 (3). P. 169–176.
18. Eren B., Kersell H., Weatherup R. S., Heine C., Salmeron M. B., Crumlin E. J., Friend C. M. Structure of the clean and oxygen-covered Cu(100) surface at room temperature in the presence of methanol vapor in the 10-200 mTORR pressure range // *Journal of physical chemistry*. 2018. № 2 (122). P. 548–554.