

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский архитектурный институт
(государственная академия)»

На правах рукописи

Дмитриева Алёна Олеговна

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ФАБРИК**

Специальность 2.1.12 – Архитектура зданий и сооружений.
Творческие концепции архитектурной деятельности

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата архитектуры

Том I

Научный руководитель:
Хрусталеv Александр Алексеевич
кандидат архитектуры, доцент

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Том I

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ НА АРХИТЕКТУРНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	13
1.1. Процесс неоиндустриализации и его влияние на размещение промышленных предприятий и характер производственной деятельности.....	13
1.2. Четвертая промышленная революция и ее воздействие на передовые производства	20
1.2.1. Научно-технический прогресс и промышленные революции. Краткий исторический обзор	20
1.2.2. «Прорывные технологии» и инновационные производственные процессы	21
1.2.3. Концепция «умной фабрики», как прообраз предприятий будущего	27
1.2.4. Организация эффективного производственного процесса с помощью принципов «бережливого производства»	30
1.3. Исследование мирового опыта формирования архитектуры промышленных предприятий с высокотехнологичными производственными системами	32
1.3.1. Исторический обзор эволюции архитектуры предприятий	32
1.3.2. Комплексный анализ современной практики проектирования промышленных предприятий, отвечающих передовым технологическим, экономическим и социальным трендами	38
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	49
ГЛАВА 2. ВЫЯВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЕМОВ И ТЕНДЕНЦИЙ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ФАБРИК (ИФ)	52
2.1. Размещение и особенности современной планировочной организации генеральных планов ИФ в условиях урбанизированной среды.....	52
2.2. Передовые приемы и тенденции архитектурного формирования ИФ	60
2.2.1. Влияние Четвертой промышленной революции на функциональное зонирование и объемно-планировочные решения ИФ	60
2.2.2. Наиболее рациональные конструктивные и инженерные решения предприятий ..	73
2.3. Основные позиции «устойчивой архитектуры» при проектировании современных промышленных объектов	78
2.3.1. Использование цифровых технологий при проектировании ИФ	78

2.3.2. Приемы увеличения гибкости и адаптивности внутреннего пространства производственных объектов	80
2.3.3. Способы роста и расширения предприятий	83
2.3.4. Методы повышения энергоэффективности, экологической безопасности и ресурсосбережения промышленных зданий	85
2.3.5. Пути гуманизации и демократизации производственной среды новых предприятий	91
2.4. Обеспечение качества и эстетической привлекательности промышленных объектов	95
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	101
ГЛАВА 3. АРХИТЕКТУРА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	105
3.1. Принципы архитектурного формирования ИФ	105
3.1.1. Принцип функциональной диверсификации	105
3.1.2. Принцип многофакторной гибкости-адаптивности	108
3.1.3. Принцип необходимой и достаточной компактности.....	110
3.1.4. Принцип экологической ответственности	112
3.1.5. Принцип социальной экстраверсии	114
3.1.6. Принцип неотъемлемой комплексности	115
3.2. Разработка архитектурной концепции ИФ.....	116
3.2.1. Система критериев оценки качества архитектурных решений новых производственных зданий.....	116
3.2.2. Методика поэтапного вариационного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения.....	121
3.3. Внедрение результатов исследования в современную архитектурную теорию и практику	125
3.3.1. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ.....	125
3.3.2. Апробация в рамках учебного проектирования	139
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	150
Список литературы	155

Том II. Приложения

Приложение 1. Демонстрационные материалы.....	5
Приложение 2. Глоссарий.....	49
Приложение 3. Перечень проанализированных объектов. Объекты ретроспективного анализа.....	53
Приложение 4. Перечень проанализированных объектов. Современные объекты-представители.....	59
Приложение 5. Расчет рациональной общей площади ИФ.....	78
Приложение 6. Список источников иллюстративного материала.....	81

ВВЕДЕНИЕ

«Интеллектуальная фабрика» (далее ИФ) – это цифровизированный, гибкий и эффективный производственный объект, выпускающий высокотехнологичную продукцию в областях машиностроения и приборостроения, робототехники и электроники, нанотехнологий, автомобильной и др. Она воплощает современные представления цифрового общества о «производстве нового продукта» и отвечает передовым требованиям эргономики, «устойчивости» и безопасности. Производственная организация и эксплуатация такого предприятия основываются на «прорывных технологиях» и передовых производственных стратегиях. ИФ является качественно новой концепцией производственного объекта будущего, которая нуждается в формировании соответствующих функциональной и структурно-пространственной организации архитектуры и промышленной среды.

Актуальность научного исследования основывается на следующих позициях.

1. Потребность в формировании новой архитектуры промышленных предприятий, рассчитанной «на перспективу», возникает под влиянием ряда явлений:

- неоиндустриализации – сопровождаемой ростом числа производственных объектов в урбанизированной среде; ее центрами выступают крупные города, как места сосредоточения научно-исследовательских институтов, высококвалифицированных рабочих кадров и потребителей инновационной продукции;

- «прорывных технологий» ведущих к стремительному изменению процессов производства; концепция «умной фабрики» определяет направления функционального и технологического проектирования промышленных объектов – на сегодняшний день уже существуют производственные, экономические и бизнес модели ИФ, но отсутствуют архитектурные концепции их реализации;

- политики импортозамещения, направленной на развитие приоритетных высокотехнологичных отраслей промышленности, и реализации программ Национальной технологической инициативы, Федерального закона «О промышленной политике в Российской Федерации» №488-ФЗ, которые не целесообразны без качественно новой архитектуры промпредприятий.

2. Современное цифровое общество, стремительная автоматизация и диджитализация новейшей промышленности и повседневной жизни населения развитых стран, формируют новое представление о высокотехнологичной продукции, о ее разработке, производстве, эксплуатации, обслуживании и утилизации. «Прорывные технологии», цифровизация и кастомизация производства кардинальным образом меняют производственные процессы и, соответственно, структурно-пространственную организацию современных предприятий.

3. В ответ на рост цен на энергоносители и обострение экологической обстановки активно развиваются различные направления «устойчивой архитектуры». Мероприятия

по энергосбережению и минимизации воздействия на экологию становятся обязательными для всех новых промышленных предприятий. Современный уровень научно-технического прогресса позволяет внедрять в архитектурные решения производственных объектов такие ресурсосберегающие, энергоэффективные и экологичные технологии, которые значительно уменьшают их негативное воздействие на окружающую среду и способствуют «возвращению промышленности в город».

4. Как правило, в научных работах, посвященных исследуемой теме, внимание концентрировалось на отдельных ее аспектах, например, на совершенствовании объемно-планировочных или конструктивных решений, или на гуманистических и эстетических критериях. В данной работе представляется необходимым рассмотреть вышеперечисленные составляющие в комплексе и в взаимосвязи, а также учесть новейшие тенденции в области архитектуры высокотехнологичных промышленных предприятий.

5. Многие исследования в сфере архитектуры производственных зданий проводились во второй половине XX – начале XXI вв. С того времени Четвертая промышленная революция, современные концепции организации производства и передовые открытия в различных областях науки и технологий уже успели оказать значительное влияние на принципы формирования промышленной архитектуры будущего. В связи с этим, положения существующих научных исследований нуждаются в актуализации, уточнении и дополнении.

6. Современные тенденции по изменению характера труда рабочих, занятых на «умном» производстве, сближению «белых и синих воротничков»¹ требуют формирования новой качественной и комфортной промышленной среды, эстетически привлекательного образа производственной архитектуры. Это, в свою очередь, способствует росту производительности, положительно сказывается на имидже компании-владельца и увеличивает интерес потребителей к выпускаемой продукции.

В настоящее время необходимо определить перспективные приемы организации пространства, отвечающего характеру «умного» производства, средства повышения комфорта, качества и выразительности промышленной архитектуры, а также сформулировать основные принципы ее формирования, в соответствии с перечисленными выше аспектами актуальности.

Степень научной разработанности проблемы

Явление Четвертой промышленной революции и «прорывные технологии» описаны в монографиях Ю. Г. Козырева и К. Шваба; технологическое проектирование производственных предприятий – в трудах Г. С. Горшенина, К.-Г. Грудинга, С. Я. Егорова, А. В. Капитанова; экономические аспекты процесса новой

¹ Белые воротнички – сотрудники, занимающиеся преимущественно умственным трудом в административно-офисных помещениях. Синие воротнички - сотрудники, занимающиеся преимущественно физическим трудом непосредственно на производстве.

индустриализации – в работах С. Ю. Глазьева, С. С. Губанова, О. В. Елисейевой, В. Б. Кондратьева.

Исследованиям в области организации территорий производственных предприятий посвящены труды В. В. Алексашиной, К. В. Каркарьяна, Р. М. Лотаревой, О. Р. Мамлеева, Э. Бен-Джозеф (E. Ben-Joseph), Н. Раппапорт (N. Rappaport) и Т. Хатука (T. Natuka). Вопросы оптимизации объемно-планировочных решений промышленных зданий, в том числе высокотехнологичных отраслей производства, решали: А. В. Антонов, Н. С. Булгаков, Р. К. Газарян, И. И. Гохарь-Хармандарян, В. В. Гранев, Т. А. Денисова, И. В. Дианова-Клокова, Г. М. Драбкин, Л. Б. Кологривова, О. В. Ковтун, Е. Б. Морозова, И. С. Николаев, Г. А. Проскурин, М. В. Резникова, А. А. Фисенко, Ю. Н. Хромец, А. А. Хрусталева, Д. А. Хрусталева, Н. П. Шаламов, Н. Гримшоу (N. Grimshaw), А. Кан (A. Khann), Р. Роджерс (R. Rogers), В. Хенн (W. Henn) и Г. Хенн (G. Henn).

Аспекты «устойчивой архитектуры», включая объекты промышленного назначения, затронуты в исследованиях Н. С. Булгакова, В. В. Гранева, В. А. Красильникова, Ю. А. Табуншикова. Задачи повышения качества и гуманизации промышленной среды, проблемы, связанные с эстетичностью и архитектурной выразительностью производственных зданий, рассматривали: О. С. Бутаев, Л. А. Викторова, Н. Н. Ким, В. А. Ковалев, О. А. Охлопкова, Г. Н. Черкасов.

На практике вопросами проектирования и строительства современной архитектуры промышленных объектов занимаются такие архитектурные организации как: проектные институты АО «ЦНИИПромзданий», АО «Промстройпроект», архитектурные и дизайн бюро «Ё-программа», «АТР Architecten», «Bond Bryan Architects», «RMA Architecten» и «Vaíllo+Irigaray Estudio»; архитекторы: Ф. Баркоф (F. Barkow), Н. Гримшоу, Р. Либержер (R. Leibinger), Р. Роджерс, Р. Пиано (R. Piano), Г. Хенн, Г. Эвиа (G. Nevia).

Таким образом, **теоретическую базу исследования** составляют труды отечественных и зарубежных ученых-архитекторов по теме диссертации и смежной проблематике, концепции устойчивого развития и Четвертой промышленной революции. Исследование базируется на обобщении теории, всестороннем и многофакторном анализе мировой практики моделирования, проектирования и строительства производственных зданий и комплексов для размещения передовых производств.

Рабочая гипотеза заключается в следующих положениях:

- ряд глобальных и национальных общественных и экономических явлений приводит к изменениям производственной деятельности, прежде всего в высокотехнологичных отраслях, что, в свою очередь, формирует новый подход к архитектурным решениям и среде объектов «интеллектуальных» производств;

- развитие технологий не только ускоряет темпы смены производственных процессов и оборудования, но и форсирует эволюцию выпускаемых продуктов – поэтому, обязательными характеристиками промышленных объектов будущего должны стать адаптивность и многофункциональность;

- формирование архитектуры современных зданий и сооружений любого функционального назначения тесно связано с ценностями устойчивого развития [36, С.2,9]; следовательно аспекты «устойчивости» (гибкость и инновационность, ресурсосбережение и энергоэффективность, экологическая ответственность, социальная ориентированность) окажут значительное влияние и на архитектурные решения ИФ.

Цель исследования – выявить основные направления и сформулировать принципы формирования архитектуры промышленных объектов, предназначенных для размещения «умных производств»; на их основе, при помощи разработанных критериев и методики, построить наиболее рациональные архитектурно-пространственные модели ИФ.

Основные **задачи** научной работы.

1. Исследование ключевых факторов, вызывающих изменения производственно-технологических процессов, и новых актуальных (не архитектурных) тенденций организации производства («умная фабрика» и «бережливое производство»).

2. Ретроспективный анализ архитектуры прогрессивных производственных предприятий; изучение и обобщение мирового опыта архитектурной организации современных высокотехнологичных промышленных объектов.

3. Выявление наиболее характерных архитектурно-композиционных, объемно-планировочных, конструктивных и других особенностей создания новейших производственных объектов, определение эффективных способов обеспечения их «устойчивости» и повышения архитектурной выразительности.

4. Определение основных принципов формирования современных производственных объектов и ИФ, соответствующих существующим и перспективным условиям эксплуатации и развития высокотехнологичных отраслей промышленности.

5. Разработка авторских: системы критериев оценки архитектурных решений; методики постадийного переменного проектирования.

6. Верификация результатов исследования путем построения концептуальных архитектурно-пространственных моделей новейших промышленных зданий, отвечающих требованиям размещения высокотехнологичных производств. Апробация результатов в рамках учебного проектирования.

Объектом исследования являются современные и перспективные промышленные предприятия, предназначенные для размещения высокотехнологичных отраслей, объекты научно-производственного и производственно-делового назначения.

Предметом исследования служат закономерности формирования архитектуры передовых промышленных зданий, отвечающие потребностям современного и будущего развития высокотехнологичных производств; характерные архитектурные решения производственных объектов, направленные на повышение энергоэффективности и улучшение качества производственной среды.

В границах исследования рассматриваются отечественные и зарубежные производственные объекты. Акцент делается на изучении объектов-представителей в США и странах ЕС – технологически развитых странах, где концепция «умной фабрики» развивается в форме совместной инициативы правительства, бизнес-сообщества и производителей. Также эти страны имеют схожие климатические условия с большей частью территорий Российской Федерации.

В типологические границы исследования входят наукоемкие и экологически нейтральные производства со схожим набором производственных операций, основанных на внедрении современных технологий и принципов производства (роботизация и цифровизация, аддитивные технологии, «бережливое производство» и др.). Этим критериям удовлетворяют приборостроительные и инструментальные предприятия, объекты прецизионного станкостроения, радиоэлектронные производства, механосборочные и электромеханические цеха, а также научно-производственные и учебно-производственные центры. Частично рассматриваются штаб-квартиры (headquarters) и научно-исследовательские комплексы. Не рассматриваются объекты с экологически вредными производствами; промышленные объекты, локация которых «привязана» к сырьевым базам и источникам энергии; предприятия, выпускающие крупногабаритную продукцию.

Временные границы научной работы включают интервал с 1950-х гг.² по настоящее время. Основное внимание сосредоточено на периоде с начала 2000-х гг. по сегодняшний день.

Новизна научной работы заключается в следующих положениях:

- уточняются и модернизируются результаты предыдущих исследований с учетом изменений характера производственной деятельности, современных тенденций на высокотехнологичность, экологическую безопасность и энергоэффективность, гуманизацию и повышение качества производственной среды, а также нового отношения цифрового общества к производству;

- анализируется и обобщается передовой опыт архитектурной организации высокотехнологичных промышленных объектов;

- обновляется подход к функциональному зонированию территорий ИФ и ряда современных производственных объектов;

- приводится рекомендуемая площадь ИФ, рассчитанная на основе гуманистического подхода к определению оптимальной общей площади предприятий;

- в область отечественной промышленной архитектуры вводится понятие «осведомленность»;

- определяются новые принципы формирования архитектуры «интеллектуальных» промышленных предприятий, актуальность которых оценивается с позиций Индустрии 4.0 и устойчивого развития; вводится новое понимание гибкости архитектуры производственных объектов;

² Время начала НТР и появления первых наукоемких, в современном понимании, производств.

- предлагаются авторские система критериев оценки качества архитектурных решений и методика определения оптимальной функционально-планировочной организации здания ИФ на концептуальной стадии проектирования;

- на основе результатов исследования разрабатываются обобщенные модели производственных зданий, предназначенных для размещения «умных фабрик».

Методология и методы исследования:

- комплексное изучение новейших тенденций развития производственных технологий и факторов, влияющих на формирование объемно-планировочных решений современных промышленных предприятий;

- графоаналитическое и сравнительный анализ архитектурно-композиционных и функционально-планировочных решений высокотехнологичных предприятий по количественным и качественным критериям;

- обобщение и интерпретация изученного материала;

- методы научно-технического прогнозирования, в частности экстраполяции, для определения основных тенденций формирования архитектуры новейших производственных объектов;

- вариантное, компьютерное моделирование и экспериментальное проектирование, с последующей оценкой полученных результатов при разработке архитектурной концепции зданий ИФ;

- верификация результатов исследования в рамках учебного проектирования студентов.

Ожидаемые результаты исследования включают:

- обобщение и модернизацию существующего теоретического и практического материала по проектированию высокотехнологичных промышленных объектов;

- раскрытие основных принципов архитектурного формирования современных и перспективных производственных зданий;

- внедрение авторских методики концептуального моделирования и критериев оценки в учебное и экспериментальное проектирование.

Теоретическое значение научной работы находится в следующем:

- в связи с происходящими и ожидаемыми изменениями технологий и процессов производства актуализированы существующие подходы к формированию архитектуры производственных зданий для высокотехнологичных отраслей промышленности, изложенные в ряде отечественных научно-исследовательских работ;

- полученные результаты исследования могут быть использованы при разработке рекомендаций и методических пособий по проектированию новейших промышленных предприятий и объектов с изменяемыми производственно-технологическими системами, а также для модернизации нормативно-технических регламентов;

- основные положения научной работы могут стать базой для более углубленных и детальных исследований в области архитектуры промышленных зданий и сооружений.

Практическое значение работы состоит в том, что:

- определение наиболее рациональной площади предприятия на основе гуманистического подхода и принципы формирования архитектуры ИФ может быть интерпретирован в качестве составляющей части технических заданий на архитектурное проектирование объектов приоритетных отраслей промышленности;

- разработанные концептуальные объемно-планировочные модели ИФ целесообразно применить в качестве «отправной точки» в реальной архитектурно-строительной практике;

- созданные методика поиска наиболее рационального функционально-планировочного решения и критерии оценки качества архитектурных решений новейших производственных зданий эффективно использовать в ходе учебного (курсового и дипломного) проектирования студентов МАРХИ, а также архитектурных факультетов и кафедр других ВУЗов.

На защиту выносятся:

- выявленные наиболее характерные функциональные и объемно-планировочные, архитектурно-композиционные и другие особенности создания новейших производственных объектов; наиболее рациональные и эффективные способы обеспечения их «устойчивости» и повышения архитектурной выразительности;

- принципы формирования архитектуры ИФ, отвечающие требованиям новейших производственно-технологических концепций;

- система критериев оценки качества архитектурных решений современных промышленных предприятий;

- методика определения оптимального концептуального функционально-планировочного решения новейших производственных объектов;

- разработанные автором архитектурно-пространственные концепт-модели ИФ.

Степень достоверности и апробация результатов

Основные результаты научной работы опубликованы в 15 статьях, общим объемом 6,02 печатных листа; в том числе 3 статьи опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 1 статья в издании, входящем в международную реферативную базу данных Scopus. Выводы и результаты исследования представлены в виде докладов на научных конференциях: «Наука, образование и экспериментальное проектирование» Москва, МАРХИ 2018 – 2021 гг., «Пространства городской цивилизации: идеи, проблемы, концепции» Екатеринбург, УрГАХУ 2017 г., «Актуальные проблемы архитектуры, градостроительства и дизайна: теория, практика, образование» Волгоград, ВолГТУ 2018 г., «Актуальные проблемы современной архитектуры, градостроительства и дизайна» в рамках XXVIII Международного смотр-конкурса лучших выпускных квалификационных работ по архитектуре, дизайну и искусству Нижний Новгород ННГАСУ 2019 г.. На основе результатов исследования подготовлена лекция для студентов пятого курса в рамках теоретического курса «Архитектура промышленных сооружений» по теме «Современные высокотехнологичные предприятия». Материалы диссертации были внедрены в НИР

«Основные принципы формирования архитектуры "фабрик будущего"» по гранту РФФИ 19-312-90011. Также результаты исследования были апробированы в рамках курсового и дипломного проектирования студентов Московского архитектурного института (государственной академии), кафедры «Архитектура промышленных сооружений» в сотрудничестве с проф. М. В. Габовой.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из двух томов. Первый том (171 стр.) включает в себя текстовую часть, состоящую из введения, трех глав, заключения и библиографии (180 источников). Второй том (83 стр.) включает шесть приложений, в том числе графические листы, полностью иллюстрирующие текст диссертационной работы.

ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ НА АРХИТЕКТУРНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В первой главе раскрываются урбанистические и технологические предпосылки формирования новейших высокотехнологичных предприятий, рассматриваются организационные концепции ИФ; на основании исторического обзора наукоемких промышленных объектов демонстрируется взаимосвязь научно-технического прогресса и эволюции архитектурных решений; анализируются современные производственные объекты, отвечающие представлениям о «интеллектуальном» предприятии.

1.1. Процесс неоиндустриализации и его влияние на размещение промышленных предприятий и характер производственной деятельности (см. Т. II прил.1 Л.1.1-1.2)

С момента обособления производства в самостоятельную сферу деятельности, отношения между городом и промышленностью находятся в постоянном развитии. Первая промышленная революция (см Г.1 п.2.1) сопровождалась крупномасштабной урбанизацией, новые технологии существенно изменили облик городов.

На основе обобщения трудов Вершинина В. И. [39, С.120-132], Морозовой Е. Б. [85, С.49-57], Черкасова Г. Н. [129, С.23-30], Раппапорт Н. (Rapport N.) [168, P.72-109] и Хатуки Т. (Hatuka T.) [155, P.26.] с **исторической точки зрения** определяются четыре ключевых периода в эволюции отношений между городом и производством.

1. Торгово-ремесленный город (ок. 1500-1750 гг.) существовал до Первой промышленной революции. В этот период ремесленное изготовление товаров в отдельных домашних хозяйствах и на мануфактурах было основным способом производства. Поэтому производящие отрасли этого времени неразрывно связаны с жилой застройкой. Тесная взаимосвязь мануфактуры и коммерческой деятельности, активное развитие торговли послужили толчком к началу урбанизации западноевропейских стран.

2. Хаотичный промышленный город (1750-1880 гг.) складывался одновременно с эволюцией текстильного производства и технологий парового двигателя, коренным образом изменивших промышленность того времени. В условиях отсутствия знаний о негативном влиянии некоторых производств на окружающую среду и здоровье человека города испытывали нерегулируемое умножение числа промпредприятий, сопровождаемое увеличением населения, урбанизацией и экономическим ростом.

3. Регулярный город (1880-1970 гг.) начал формироваться в конце XIX-го в., когда градостроительные теории предлагали использовать различные модели функционального

зонирования для решения проблемы неблагоприятного влияния промышленных предприятий на экологию. После Второй Мировой войны такие страны как Великобритания, Израиль, Иран, СССР, Швеция и Япония осуществляли строительство новых городов с выделением обособленных промышленных зон. Как правило, эти территории, располагались так, чтобы оказывать минимальное негативное воздействие на селитебную застройку.

4. В развивающемся городе (1970 г. – наст. вр.) промышленность продолжали обособлять от других форм землепользования. Эта тенденция привела к серьезному сокращению промышленных территорий в урбанизированной среде и вызывала рост трудовых миграций. На современном историческом этапе этот тип взаимодействия производства и города трансформируется в новые виды объединения промпредприятий – индустриальные и технопарки различных типов, размеров и форм собственности [132].

Но сегодня, можно наблюдать и обратную тенденцию по интеграции ряда небольших по площади, экологически безвредных производственных объектов в селитебные образования. Такие процессы по децентрализации, дифференцированному размещению промышленных зданий и смешанному функциональному использованию территорий позволяют создавать локальные «устойчивые» сообщества с высоким уровнем качества жизни.

Совокупность процессов, направленных на количественное и качественное увеличение материального производства и обновление промышленной сферы (включающей материально-техническую базу, научно-исследовательскую деятельность, управление и подготовку высококвалифицированных кадров) для обеспечения устойчивого развития и экономической безопасности, получила название **неоиндустриализация** (реиндустриализация) [106, С.16]. Она является следствием и противоположностью деиндустриализации.

В 1980-х гг. в развитых странах мира (в первую очередь США, Германия) происходило резкое сокращение материального производства и числа промышленных предприятий – процесс **деиндустриализации**, который связывался с новой парадигмой постиндустриального общества, где на первый план вышли развитие сферы услуг и информационных технологий (сервисная экономика). По этой причине многие производства (особенно экологически небезопасные, энергоемкие и трудоемкие) перемещались в страны «третьего мира». Участвовавшие в данном процессе транснациональные корпорации были заинтересованы только в увеличении производственных мощностей и прибыли, а экологической безопасности, гуманизации условий труда и эстетическим аспектам новых заводов и фабрик уделялось недостаточно внимания. Что привело к **резкому падению качества архитектуры этих промышленных объектов**.

«Метод удаления предприятий с вредными выбросами от охраняемых объектов противоречит не только требованиям охраны и рациональному использованию природных ресурсов, но и экономике застройки городов» [78, С.15]. Увеличение

расстояний между промышленными предприятиями, жилой и общественной застройкой увеличивает время трудовых миграций, психофизиологические нагрузки на сотрудников «удаленных» предприятий, усиливает перегруженность общественного транспорта и улично-дорожной сети, а также ведет к нерациональному землепользованию [22, С.33].

В России деиндустриализация началась в 1990-х гг., одновременно с переходом к рыночной экономике. Но в отличие от этого процесса в странах Европы и США, предприятия не переносились на другие территории, а безответственно сокращали производственные мощности или ликвидировались. Для страны деиндустриализация обернулась резким снижением материального производства и показателя ВВП³. Закрытие заводов и фабрик привело к тому, что число рабочих мест сократилось в несколько раз, упал престиж технических профессий, возросла доля импорта, в том числе стратегически важной продукции, что грозило подрывом безопасности и ослаблением суверенитета страны. Помимо спада в промышленном производстве наблюдалось сокращение научно-исследовательской деятельности, закрытие научных институтов и уменьшение финансирования науки – снизился интеллектуальный потенциал страны [18, С.13].

Сейчас в крупных городах, на месте закрытых заводов и фабрик, строятся жилые кварталы, торгово-развлекательные комплексы и бизнес центры. Некоторые производственные здания и комплексы, представляющие культурную и историческую ценность, перепрофилируются под непромышленное использование – офисы, арт-кластеры и многофункциональные комплексы [74]. Многие из еще функционирующих промышленных предприятий нуждаются в модернизации как производственного оборудования, так и самих зданий, в которых они размещаются [20, С.3]. Снижение промышленного производства и научно-исследовательской деятельности в 1990-2000-х гг. привело не только к физическому и моральному износу зданий заводов и фабрик и деградации существующих промышленных зон, но и, практически, к **полному отсутствию новой и качественной промышленной архитектуры**.

Со временем стало очевидно, что сокращение производства приводит к уменьшению ВВП любой страны и ставит под угрозу ее экономическую безопасность. Поэтому, с наступлением XXI в. в мире начала формироваться обратная тенденция по возвращению промышленности в постиндустриальные страны и крупные города. А после экономического кризиса 2008 г. интерес к этому движению только усилился. Возвращение национальных производств из развивающихся стран, вынесенных туда в целях сокращения расходов, влечет за собой ряд преимуществ, связанных с еще большей экономией средств и ростом качества производимых товаров.

1. В рамках современных высокотехнологичных и автоматизированных производств «доступность дешевой рабочей силы более не является определяющим фактором конкурентоспособности компаний» [134, С.40].

³ ВВП – валовый национальный продукт, показатель отражающий стоимость всех благ, созданных только резидентами определенной страны, вне зависимости от их географического положения

2. Располагаясь в непосредственной территориальной близости к месту производства, технологи-разработчики, находящиеся в странах с опережающей экономикой и крупных городах, могут напрямую контролировать производственный процесс, оптимизировать технологические цепочки и оперативно решать все возникающие проблемы [154, Р.146,147]. Целесообразным представляется приближение производств к головным офисам, отделам исследований и разработок, а не наоборот.

3. В результате реиндустриализации сокращаются логистические цепочки, так как основными потребителями высокотехнологичной продукции являются резиденты «опережающих» стран, проживающие в крупных городах и городских агломерациях.

4. Одновременно решается вопрос трудовой миграции⁴. Приближение современных промышленных объектов к селитебным территориям сокращает расстояние от места проживания до места приложения труда. Таким образом, снижается острота транспортных, экологических и социальных проблем [42, С.80]. Путем грамотного дисперсного размещения производственных предприятий малой и средней мощности в городской среде реализуется одно из положений концепции «устойчивого развития территорий»⁵ – обеспечение доступности мест приложения труда и стимулирование самокупаемой локальной экономики.

5. В урбанизированной среде постиндустриальных стран существует больше возможностей привлекать к работе высококвалифицированных специалистов. Высокий уровень профессионализма сотрудников ведет к оптимизации производственных процессов и улучшению качества продукции.

Размещение промышленности в урбанизированной среде, главным образом, опирается на инновационные, высокотехнологичные, наукоемкие и экологически безопасные производства, предполагает активное внедрение систем роботизации и цифровизации технологических процессов. Неиндустриализация неразрывно связана с **Четвертой промышленной революцией** (см. Г.1 п.2). Особое внимание уделяется размещению, развитию и совершенствованию высокотехнологичных отраслей промышленности (машиностроения и приборостроения, робототехники и электроники, био- и нанотехнологий, автомобильной, авиационной, атомной и других) [22, С.18,19; 88, С.20; 126, С.12].

Экологическая безопасность современных промышленных предприятий связывается с несколькими позициями. В первую очередь – это модернизация производственных процессов, направленная на минимизацию вредных воздействий на

⁴ Дмитриева, А. О. Некоторые особенности планировочной и архитектурной организации новых промышленных предприятий в городской среде / А. О. Дмитриева // Актуальные проблемы архитектуры, градостроительства и дизайна: теория, практика, образование : Материалы международной научной конференции. – 2018. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет. – С. 149.

⁵ Устойчивое развитие территорий – обеспечение при осуществлении градостроительной деятельности безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений.

человека и окружающую среду. Чаще всего она реализуется заменой некоторых компонентов выпускаемой продукции на нетоксичные аналоги, совершенствованием систем фильтрации [21; 42, С.79], изменением технологической цепочки для наиболее рационального использования ресурсов (безотходное производство), а также применением различных способов локализации вредных выделений [102, С.87-88.]. Во-вторых, это использование возобновляемых источников энергии для электрификации производства, которое ведет к снижению нагрузок на общегородские сети. В-третьих, это внедрение ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий непосредственно в структуру промышленных зданий, позволяющее значительно сократить расходы на их эксплуатацию. Таким «...технологиям уготована ныне ведущая роль в индустрии, причем этот переход затрагивает не только узко специализированный сектор, а означает модернизацию индустрии в целом» [81, С.57]. Повышение экологической безопасности ведет к сокращению или полной ликвидации санитарно-защитных зон [85; С.246]. Следовательно, появляется возможность располагать промышленные предприятия в урбанизированной среде, в непосредственной близости к объектам других функциональных типов.

На современных предприятиях изменяется **характер труда**. Высокий уровень роботизации и автоматизации технологических процессов облегчает физический труд и увеличивает потребность в интеллектуальной деятельности. «С одной стороны, успехи техники создают возможность передать ряд весьма сложных функций человека машине... С другой стороны, чем больше машин включается в процесс управления и производства и чем более расширяется круг задач, тем большей становится необходимость интегрировать их работу. А это значит, что относительная роль человека в системах управления автоматизированным производством возрастает» [46, С.7]. В связи с этим, повышенное внимание уделяется эргономичности производственной среды, социальной ориентированности промышленности. Таким образом, реализуется одна из целей неоиндустриализации – «высокие жизненные стандарты на основе устойчивого роста производства» [29, С.85].

Неоиндустриализация в России в целом носит догоняющий характер. Ее необходимость для нашей страны была очевидна ещё в начале XXI-го в., о чем свидетельствуют труды отечественных ученых-экономистов (Глазьев С. Ю., Губанов С. С., Кондратьев В. Б.). Новая индустриализация, опирающаяся на развитие наукоемких отраслей промышленности, должна быть основным приоритетом промышленной политики Российской Федерации [92, С.11].

В 2014 г. был принят Федеральный закон N 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации», направленный на поддержку неоиндустриализации [14; 19, С.69-71]. Законопроектом предусматривается стабильное и инновационное развитие отечественной промышленности, импортозамещение и обеспечение безопасности в экономической и технологической сферах. Ставятся задачи:

- развитие и поддержка соответствующей инфраструктуры;

- повышение экологической безопасности промышленности, использование ресурсосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии;
- обеспечение информационной открытости производственной деятельности;
- повышение производительности труда путем увеличения числа и улучшения качества рабочих мест.

В 2016 г. было принято постановление о реализации Национальной Технологической Инициативы (НТИ) – программы, направленной на поддержку и развитие передовых отраслей промышленности в стране [3]. НТИ разработан план мероприятий до 2035 г., который включает в себя поддержку перспективных экономических проектов, создание инновационных предприятий, в том числе «умных фабрик», и стимуляцию активного сотрудничества с высшими учебными заведениями.

Территориальное развитие промышленной отрасли предусматривает необходимость преобразования «сложившейся пространственной организации производственной подсистемы путем рационального включения производственных объектов в структуру селитебной застройки» [65, С.10].

Как отмечалось выше, процесс неоиндустриализации связан не только с возвращением производства в постиндустриальные страны и ростом числа промышленных предприятий, но и с размещением новых производственных объектов **в урбанизированной среде**. «Городская инфраструктура является условием и ресурсом существования и функционирования промышленности, а промышленность служит важным элементом обеспечения развития городской экономики, наполнения бюджета и обеспечения занятости в городе, а также – фактором его конкурентоспособности» [56, С.832]. С размещением современного высокотехнологичного производства в городской среде связан ряд преимуществ:

- наличие инвестиционной активности и источников капитала;
- существование готовой инфраструктуры (транспортной и инженерно-энергетической);
- концентрация научно-исследовательских институтов, источников инноваций и высококвалифицированных рабочих кадров, которые особенно необходимы для развития «интеллектуальных» производств;
- сосредоточение в городах около 70% населения развитых и развивающихся стран, то есть основных потребителей производимых товаров.

На сегодняшний день примерно 87% всех существующих промышленных объектов по своим санитарно-гигиеническим показателям могут находиться в границах различных селитебных образований [85, С.90]. Однако, размещение современных производственных предприятий в урбанизированной среде накладывает ряд ограничений на функциональную типологию, планировочные и объемно-пространственные решения промышленных объектов, на параметры промплощадок.

1. Высокая стоимость земли на урбанизированных территориях обуславливает необходимость максимально эффективного использования выделенной территории и

применения компактных объемно-планировочных решений. В таких условиях площадь и конфигурация участка, выделяемого под промышленное предприятие, ограничивается сложившейся застройкой и существующей дорожной сетью, что влечет за собой необходимость «вписывать» производственный объект в имеющуюся градостроительную ситуацию. Поэтому, предпочтение отдается двух- и многоэтажным производственным зданиям или объектам смешанной этажности, в которых одноэтажные объемы «компенсируются» многоэтажными составляющими.

2. В урбанизированной среде целесообразно размещение экологически безопасных предприятий, а также промышленных объектов IV и V классов по санитарной характеристике [7]. При грамотном планировочном решении участка и проведении архитектурно-технических мероприятий по локализации вредностей санитарно-защитные зоны значительно сокращаются и не выходят за границы территории промышленного объекта.

3. Мелкосерийные производства и предприятия, выпускающие малогабаритные товары, не нуждаются в мощных логистических потоках, значительных площадях для складирования сырья и готовой продукции [42, С.79]. В качестве основного транспорта используется автомобильный, а не железнодорожный транспорт. Следовательно, включение таких промышленных объектов в городской контекст незначительно отражается на проницаемости урбанизированной среды и транспортной загруженности улично-дорожной сети.

4. Рационально размещать в городских и пригородных зонах неэнергоемкие производственные объекты. Снабжение таких предприятий электроэнергией, газом, водой и теплом может осуществляться из общегородских инженерных сетей. Мероприятия по ресурсосбережению и энергоэффективности, обязательные для современных производств, служат дополнительным аргументом для размещения промышленных объектов в урбанизированной среде.

5. При расположении производственного здания на урбанизированной территории «усиливается тенденция к широкой интеграции промышленного предприятия в планировочную структуру, социальную и культурную жизнь города» [130, С.35, 131]. Под включенностью в городской контекст понимается несколько аспектов взаимодействия таких предприятий с их окружением:

- функциональная интеграция состоит во включении в структуру промышленного объекта новых функций, «работающих на город» (сервисная, образовательная, демонстрационно-выставочная), что позволяет отнести такие предприятия к сфере обслуживания городского населения;

- физическая «открытость» производственной территории предполагает свободный или ограниченно-свободный доступ на участок;

- визуальная интеграция заключается в наличии зрительной связи между окружающей средой, промышленной территорией и производственным объектом; в поиске архитектурного образа предприятия, гармонирующего с ближайшей застройкой.

«умные» производства – объект исследования – соответствуют всем вышеперечисленным позициям.

К концу XX-го в. во всех городах мира с населением в несколько сотен тысяч человек и более была сформирована мощная индустриальная база. На сегодняшний день для этих городов стали актуальны вопросы современного состояния и развития значительных промышленных территорий, находящихся как на периферии, так и в срединных зонах.

В морально устаревших и неэргономичных зданиях сложно организовать инновационные производства, туда не привлечь высококвалифицированные кадры. Эффективное развитие высокотехнологичной промышленности невозможно без внедрения новых архитектурно-планировочных принципов формирования современных производственных объектов.

В настоящее время, под влиянием неоиндустриализации складывается новое отношение к размещению промышленных объектов на городских территориях. Новейшие производственные предприятия и урбанизированная среда находятся в тесном взаимодействии и взаимовыгодном сотрудничестве, предоставляя рынки сбыта и необходимую инфраструктуру с одной стороны, комфортные и безопасные рабочие места, различную высокотехнологичную продукцию и сопутствующие услуги - с другой.

1.2. Четвертая промышленная революция и ее воздействие на передовые производства

1.2.1. Научно-технический прогресс и промышленные революции. Краткий исторический обзор (см. Т.II прил.1 Л.1.1)

В конце XVIII в. изобретение эффективного парового двигателя и его внедрение на предприятиях Англии, новации в текстильной и металлургической промышленности привели к массовой замене ручного труда машинным и переходу от мануфактуры к фабрике. Позже этот технологический скачек получил название **Первой промышленной революции**, которая также послужила импульсом к рождению нового функционального направления архитектуры – архитектуры промышленных зданий. **Вторая промышленная революция** (конец XIX – начало XX вв.) охарактеризовалась открытиями в области химии и металлургии, развитием железных дорог, массовой электрификацией производственных объектов, созданием первых поточных производственных линий [134, С.11]. В конце 1950-х и 1980-х гг. происходят два события, которые в совокупности знаменуют **Третью промышленную революцию**. Научно-техническая революция (НТР) конца 1950-х гг. сопровождается повсеместной автоматизацией производства и признанием ключевой роли науки в развитии промышленности. Массовый переход от аналоговых к информационно-

коммуникационным технологиям на производстве в 1980-х гг. обозначает Цифровую революцию.

На сегодняшний день можно говорить о **Четвертой промышленной революции** или Индустрии 4.0, как о состоявшемся событии. Впервые этот термин был употреблен на технологической выставке в Ганновере (HannoverMesse) в 2011 г. [134, С.38]. Четвертая промышленная революция представляет собой качественный технологический скачок и влечет за собой фундаментальные трансформации во всех отраслях экономики и производственных системах. В отличие от трех предыдущих промышленных революций, Индустрия 4.0 характеризуется ускоренными, экспоненциальными темпами протекания, широтой и глубиной изменений, системностью воздействия.

Движущей силой и следствием Четвертой промышленной революции являются передовые, **«прорывные технологии»**. Их активное и комплексное применение способствует масштабным изменениям во всех областях производственной деятельности, к появлению новых видов передовых наукоемких производств – «умных фабрик» (см. Г.1 п.2.3).

1.2.2. «Прорывные технологии» и инновационные производственные процессы (см. Т.II прил.1 Л.1.2)

«Прорывные технологии» – это сквозные, основанные на последних научных достижениях технологии, разработка и внедрение которых обеспечивают существенное (на порядок и более) повышение функциональных, экономических и технико-эксплуатационных параметров высокотехнологичных систем и изделий, создание принципиально новых структур и компонентов, обладающих ранее не достижимыми возможностями [99, С.155]. К «прорывным технологиям», которые вносят значительные изменения в производственные процессы и, как следствие, в объемно-пространственную организацию современных предприятий, относятся:

- роботизация и гибкие производственные системы;
- технологии аддитивного производства;
- киберфизические системы;
- промышленный Интернет;
- Большие данные.

В рамках диссертационного исследования не рассматриваются технологии Четвертой промышленной революции, не оказывающие существенного влияния на архитектурные решения промышленных объектов.

Роботизация – автоматизация производственных процессов на основе внедрения промышленных роботов, способных выполнять широкий спектр действий – не новое

явление, первые промышленные роботы появились еще на этапе Третьей промышленной революции [94]. Но сегодня увеличивается область их применения, многократно расширяется ассортимент выполняемых ими задач. С развитием технологий роботы проектируются более гибкими и адаптивными, способными быстро и без значительных дополнительных затрат изменять вид выполняемой работы и место дислокации (мобильные, самодвижущиеся роботы), объединяться с другими роботизированными системами и производственным оборудованием. Одновременно роботы становятся более чувствительными к происходящему вокруг и к человеку (коллаборативные роботы), что делает взаимодействие между людьми и машинами безопаснее и интуитивно понятнее [175].

Производственная сфера, по сравнению с другими областями деятельности человека, обладает самой большой плотностью роботизации⁶. Практически нет такой производственной задачи, которая не могла бы быть роботизирована. Больше всего роботов используются в высокоточном машиностроении, автомобилестроении, производстве электроники, химической и фармацевтической продукции, где они могут выполнять весь цикл технологических операций от первичной подготовки и обработки деталей до упаковки и складирования готовой продукции. Лидерами по внедрению роботов в производство являются Южная Корея, Япония, Китай, Германия и США; Россия отстает от среднемировых показателей в несколько десятков раз (табл.1,2) [110].

страна	Южная Корея	Сингапур	Германия	Япония	США	Тайвань	Италия	Швейцария	Чехия	Сербия	Китай	Англия	Россия	среднее значение в мире
плотность роботизации	710	658	322	305	200	195	180	130	120	110	95	80	4	85

Табл.1. Плотность роботизации производства (по данным IFR, HAYPP на 2017 г.)

Роботизация производства дает значительный положительный эффект. На роботизированных предприятиях растет производительность труда и качество выпускаемой продукции, сокращается количество брака и затрат на производство [139, P.7,9]. Труд человека становится более комфортным – роботы выполняют тяжелые и опасные задания, производственные операции, не требующие высокой квалификации. При этом, увеличивается доля высококвалифицированных работников, обслуживающих роботизированные производства, и уменьшается число сотрудников, занятых монотонным физическим трудом [42, С.78,79].

На современных производствах роботы и станки с ЧПУ⁷, автоматизированные транспортные системы, различное дополнительное оборудование и оснастка в совокупности образуют **гибкие производственные модули (ГПМ)** [47, С.46-48]. Производства на основе ГПМ способны функционировать автономно и в короткие сроки

⁶ Плотность роботизации – величина характеризующая количество роботов на 10 000 человек.

⁷ ЧПУ – числовое программное управление.

адаптироваться к широкому спектру технологических задач. Вне зависимости от специфики производства, размеров, конфигурации и площадей цехов ГПМ можно комбинировать и компоновать так, чтобы обеспечивать максимальную производительность (на 50-60% выше, чем КПД обычного оборудования). С точки зрения архитектурной организации новейших производственных объектов, важным преимуществом использования ГПМ по сравнению с традиционными производственными системами, является существенное уменьшение площади, необходимой для выпуска одного и того же объема продукции [111].

Точность и безопасность ГПМ позволяют значительно сократить расстояния между единицами оборудования и технологическими участками, тем самым увеличивая плотность и мощность производства при неизменной площади цеха. Возможность передачи выпускаемого изделия напрямую от станка к станку, применение самодвижущихся промышленных роботов позволяют частично отказаться от внутрицехового транспорта со стационарными элементами (мостовых кранов, конвейеров и транспортеров), освобождая полезные площади для расширения производства.

Кроме того, сокращение числа сотрудников, непосредственно занятых в процессах производства на роботизированном предприятии, дает возможность уменьшить количество проходов, предназначенных для людей и расположенных непосредственно на уровне расстановки производственного оборудования. Для осуществления наблюдения и контроля за выполнением технологических операций предусматриваются смотровые мостики и галереи, проходящие над рабочей зоной, в уровне конструкций покрытия / перекрытия.

Аддитивное производство или 3D печать – прямая противоположность традиционному субтрактивному производству⁸ – это способ создания объемной формы на основе цифровой 3D модели методом послойного нанесения материала. Преимуществами 3D печати являются отсутствие отходов и вредностей (стружки, пыли, высокого уровня шума), быстрая адаптация к изменению выпускаемой продукции, сокращение разницы между стоимостью штучного, мелкосерийного и крупносерийного продукта [79, С.72-75]. Чаще всего аддитивное производство применяется в автомобильной, аэрокосмической, медицинской и других высокотехнологичных отраслях [134, С.18].

страна	США	Япония	Германия	Китай	Англия	Италия	Франция	Южная Корея	Канада	Тайвань	Турция	Россия	Испания	другие страны
%	38,0	9,7	9,4	8,7	4,2	3,8	3,2	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	12,0

⁸ Под субтрактивным производством понимаются традиционные способы изготовления какого-либо элемента или изделия путем вычитания лишней массы материала из его заготовки.

Табл.2. Распределение аддитивного оборудования по странам в % (накопительное, на 2018 г)

Технология 3D печати непрерывно совершенствуется – увеличиваются габариты печатаемых объектов, повышается качество поверхностей, расширяется номенклатура материалов, применяемых в аддитивном производстве, в то время как цена 3D печати как уникальных деталей, так и массового продукта постоянно снижается. Перспективным направлением считается соединение 3D принтера и робота-манипулятора, которое позволит осуществлять «невертикальную» печать и практически снимет ограничения с габаритов изготавливаемой детали. Усовершенствование способов 3D печати и одновременное снижение стоимости дает возможность предположить, что аддитивное производство заменит традиционный субтрактивный способ во многих отраслях производства в ближайшее время.

Замена традиционных способов производства различными видами 3D печати повышает экологичность (безотходность) предприятий и улучшает условия труда. Кроме того, оборудование для аддитивного производства значительно компактнее традиционных производственных систем.

Киберфизические системы (КФС) – это информационно-технологическая концепция интеграции и совместного функционирования цифровых вычислительных ресурсов и физических объектов (биологических или техногенных), обеспечивающая синергетический эффект. КФС объединяют в общем информационном пространстве сотрудников предприятия и его клиентов, «умное» производственное и контролирующее оборудование, а также выпускаемую продукцию, позволяют им коммуницировать между собой.

Взаимная интеграция биологических, физических и цифровых технологий будет способствовать совершенствованию когнитивной и творческой составляющих человеческого труда [134, С.36]. В целом, активное использование КФС приведет к более качественному и безопасному, гибкому и быстрому производству.

Интернет вещей (или промышленный Интернет) – это инфраструктура взаимосвязи между объектами [161, Р.4]. В различные объекты (транспортное и производственное оборудование) монтируются электронные сенсоры, приемники и передатчики таким образом, чтобы эти объекты могли объединяться в общую цифровую сеть. Эта технология уже активно внедряется во многие сферы человеческой жизнедеятельности. В повседневной жизни интеграция Интернета вещей в архитектурно-строительные, коммунальные и бытовые структуры породила многочисленные концепции и проекты под общим названием «умный дом». А на производственных предприятиях с помощью промышленного Интернета достигаются управление и автоматизация освещения, отопления, роботизированных систем пылеудаления и дистанционный контроль производства [180, Р.619].

На современном производстве промышленный Интернет радикально изменит управление логистическими потоками, даст возможность мониторинга и оптимизации

активов, контроля всей деятельности предприятия на самом детальном уровне [134, С.19]. Благодаря широкому внедрению беспроводного промышленного Интернета, со временем исчезнет такое традиционное производственное помещение как диспетчерская или пункт управления; с громоздких операционных пультов и стационарных компьютеров управление полностью переместится на компактные и мобильные устройства (лэптопы и планшеты). Передача информации по слаботочным сетям будет заменена беспроводными технологиями. Таким образом контролировать и осуществлять менеджмент производства станет возможно из любой точки предприятия.

С экспоненциальным ростом интереса к технологиям Интернета вещей данные становятся все более многочисленными и доступными. При высоком уровне цифровизации современной высокотехнологичной промышленности в производственном секторе постепенно формируется «окружающая среда **Больших данных**»⁹ [180, Р.622]. Что приводит к вопросу их практического применения.

Работа с Большими данными заключается в создании и сборе текущих потоков данных, управлении и хранении массивных объемов генерируемой информации, а также в их анализе и принятии различных сложных решений. Использование Больших данных на всех производственных этапах обладает значительным потенциалом. Например, дает возможность выявления причин производственных сбоев в режиме реального времени, обеспечивает качественную оценку маркетингового потенциала и формирование предложений для клиентов на основе их покупательских предпочтений [161, Р.3]. Рациональное использование данных не только предполагает повышение эффективности производства, но и способствует увеличению гибкости и углублению интеграции с другими подразделениями, например, структурами контроля качества и управления логистикой [180, Р.626]. С точки зрения архитектуры Большие данные позволяют анализировать и оптимизировать функционально-пространственные схемы промышленных объектов (например, взаиморасположение, форму и габариты функциональных зон).

Промышленный Интернет и Большие данные, как правило, неразрывно связаны. В совокупности они многократно повышают точность, оперативность и производительность предприятий. Улучшение качества логистики ведет к тому, что необходимое сырье и заготовки доставляются строго в определенное время в точно заданном количестве. Пропадает необходимость иметь большой запас сырья и других расходных материалов на предприятии, что с позиции объемно-планировочных решений дает возможность сократить объемы и площади всех складских зон.

Материальные затраты по интеграции роботизации, ГПМ, КФС, промышленного Интернета и других новых технологий в производственные процессы окупаются в

⁹ Большие данные – это структурированные, неструктурированные и необработанные потоковые данные, хранящиеся в различных форматах, которые обычно получают из различных источников, включая видео и аудио источники, сенсоры и цифровые сети, файлы регистрационных журналов, транзакционные приложения, веб-каналы и даже каналы социальных сетей.

течение минимальных устанавливаемых сроков. В целом, внедрение «прорывных технологий» в промышленное производство обеспечивает следующие преимущества:

- настраиваемость и оперативную изменяемость производственных процессов;
- коммуникативность всех составляющих производственной системы, контролируемость, информативность и прогнозируемость производства, которые достигаются за счёт его функционирования на единой информационно-цифровой платформе;
- эффективность – увеличение скорости и производительности; безотходность или малая отходность производства, связанные с уменьшением производственных издержек (брака, простоев оборудования);
- безопасность производства, в том числе с экологической точки зрения;
- гуманизация характера труда, освобождение человека от рутинных производственных операций и ориентированность на решение интеллектуальных и творческих задач;
- персонализация и повышение качества выпускаемой продукции.

Индустрия 4.0 стремительно трансформирует не только характер производства в целом, но и специфику компоновки оборудования и производственных участков. Можно выделить следующие основные тенденции:

- сокращение оптимальной длины отдельных производственных участков с 60 м до ≤ 20 м [54, С.25];
- превалирование П-образной, петлеобразной формы расстановки производственного оборудования [179], как наиболее компактной, эффективной и наиболее полно отвечающей принципам современной организации производства;
- сокращение числа технологических участков при одновременном увеличении набора производственных операций на каждом из них – внедрение стендового и платформенного способов производства вместо линейно-поточного построения технологических операций [168, Р.339-341];
- увеличение объема ОТК, сокращение интервалов (количества технологических операций) между промежуточными этапами проверки качества выпускаемой продукции;
- редуцирование производственного транспортного оборудования – прямая передача изделия от машины к машине;
- сокращения расстояний между единицами производственного оборудования, а также между оборудованием и элементами производственного интерьера (стены, колонны, конструкции перекрытия, перегородки), уменьшение рабочих зон;
- уменьшение габаритов и массы, как производственных станков, машин и агрегатов, так и выпускаемой продукции [168, Р.341].

1.2.3. Концепция «умной фабрики», как прообраз предприятий будущего (см. Т.II прил.1 Л.1.4)

«Умная фабрика»¹⁰ с организационной точки зрения – это производство наукоемкой и высокотехнологичной продукции, где достижения Четвертой промышленной революции активно внедряются в технологические процессы. Эксплуатационная стратегия «умных фабрик» направлена на эффективное обращение с энергетическими ресурсами и производственным сырьем. Помимо технологических новаций, особое внимание уделяется социальной составляющей – всестороннему и активному вовлечению персонала в административную деятельность предприятия, стимулированию креативности, созданию корпоративного духа и человеко-ориентированному подходу к организации производства [150].

Гибкие производственная и эксплуатационная структуры таких предприятий позволяют изменять и расширять номенклатуру выпускаемой продукции в широких границах [141, Р.7; 161, Р.4]. «Умные фабрики» обладают свойствами платформы¹¹ – площадки по кооперации между поставщиками производственных услуг и покупателями. Они могут функционировать как автономно, в физических границах предприятия, так и в составе глобальных сетей, состоящих из подобных производственных систем, и даже из более широких цифровых сетей поставок сырья и реализации готовой продукции. Основное преимущество такой фабрики заключается в ее способности развиваться в режиме реального времени в соответствии с потребностями производства: изменением потребительского спроса, экспансией на новые рынки, разработкой новых продуктов и услуг, внедрением новых процессов и технологий и другими трансформациями [141, Р.7].

К основным принципам организации производственной структуры «умных фабрик» относятся [38, С.78; 51, С.12; 135; 141, Р.8; 179, Р.29-46]:

- иерархичность и сетевая структура;
- коммуникативность и функциональная совместимость;
- гибкость, изменяемость и модульность;
- устойчивость (энергоэффективность и экологическая безопасность);
- мелкосерийность и кастомизация.

1. Производство основывается на строгой **иерархичности**. Самый первый уровень иерархии представлен отдельными производственными ячейками. Из нескольких производственных ячеек составляется гибкая производственная система (ГПС), а совокупность ГПС представляет собой «умное» производство. Более высокий уровень иерархической организации объединяет различные подразделения одной фабрики, например отделы производства, логистики и маркетинга. Далее структура

¹⁰Этот термин имеет несколько синонимов: «умная фабрика» (Smart Factory), «завод будущего» (Factory of the Future), «цифровая фабрика» (Digital Factory).

¹¹ Платформа – здесь, среда для генерации нового продукта, с учетом всех предоставляемых ею возможностей и ограничений.

распространяется за пределы производственного объекта, объединяя такие же «умные фабрики» в общую сеть. Но, несмотря на четкое иерархическое построение, каждая единица «умной фабрики» может самостоятельно коммуницировать с любой другой единицей. Цифровизация производства позволяет создавать разнонаправленные взаимодействия (как вертикальные, так и горизонтальные). Таким образом, коммуникации приобретают **форму сети**, то есть организационной метатехнологии, в которой все элементы взаимодействия равны и равнодоступны, вне зависимости от их иерархического положения и физической удаленности друг от друга [141, Р.4].

2. Коммуникативность и функциональная совместимость – это одни из ключевых характеристик «прорывных технологий», которые позволяют всем устройствам, задействованным в производственном процессе, взаимодействовать друг с другом в цифровом пространстве без дополнительных предварительных настроек. Подключенное к сети Интернет производство приобретает расширенные функции за границами стандартной автоматизации. Возможность оперировать данными, собранными из окружающей среды, является основой для автономного и более гибкого реагирования на любые изменения.

За пределами производственного помещения «умная фабрика» характеризуется обширными связями с другими частями производственной цепи: от поставщиков сырья до отделений продажи, сервисного обслуживания и утилизации выпускаемой продукции.

3. Гибкость и изменяемость – это способность переконфигурировать производственное оборудование и корректировать технологические цепочки. Компонент «умного» производства – **производственная ячейка** – это роботизированный станок, автоматизированное рабочее место или погрузо-разгрузочное устройство, которые могут выполнять определенный набор задач. Эти производственные ячейки имеют изменяемую структуру, позволяющую достраивать и перестраивать их, увеличивая производительность или интегрируя новые функции. Благодаря технологии «включай и работай»¹² эти ячейки могут свободно перемещаться, добавляться или извлекаться из общей системы.

В перспективе производства будут иметь неширокую номенклатуру парка оборудования и строиться на основе производственных ячеек, способных адаптироваться под конкретный заказ путем перепрограммирования, смены оснастки, инструмента, материалов и перенаправления логистических потоков [156, Р.7; 161, Р.5]. Благодаря **модульности** [51, С.27] такие «умные» производства смогут расширяться или тиражироваться путем полного технического и технологического копирования. Новая копия существующего производственного объекта может быть возведена на любом подходящем свободном участке, например, в непосредственной территориальной близости к основным местам потребления продукции. При этом модульное построение

¹² «Включил и работай» (plug-and-produce, plug-and-play) - технология, предназначенная для быстрого, не требующего дополнительной наладки определения, конфигурирования и синхронизации новых устройств в компьютерах, производственном оборудовании и других технических системах.

технологических процессов «умной фабрики» требует соответствующего моделирования пространства и унифицированной инфраструктуры (инженерных сетей), способной обслуживать разные композиции производственного оборудования, поставляемого разными изготовителями [161, Р.10].

4. **Экологичность и энергоэффективность** опираются на внедрение «прорывных технологий». «Быстрый технологический прогресс в области возобновляемых источников энергии, энергетической эффективности, накопления и хранения энергии не только обеспечивает растущую прибыльность инвестиций в эти отрасли» [134, С.31], а также вносит свой вклад в повышение энергоэффективности и экологической безопасности производственных процессов и, как следствие, самих промышленных предприятий. Эксплуатационная эффективность производства ведет к уменьшению негативного экологического воздействия и к большей **«устойчивости»** высокотехнологичных промышленных объектов в целом [141, Р.10].

5. **Кастомизация** услуг и товаров массового производства¹³ – один из актуальных трендов современного и будущего цифрового общества. Вариативная продукция является более конкурентоспособной по сравнению со стандартными товарами. Активному привлечению потребителей к совместному моделированию индивидуализированного продукта и его изготовлению на «умном» производстве способствуют КФС и цифровизация отделов поставок и продаж [152]. Рост кастомизации увеличивает степень сложности выпускаемой продукции. Поэтому, для сохранения конкурентоспособности, прибыльности и оперативной восприимчивости к требованиям рынка, на предприятиях внедряются технологии гибкого и реконфигурируемого производства [148, Р.43].

Следствием кастомизации является отказ от массового производства и выпуск продукции небольшими партиями – **мелкосерийность**. При этом внедрение «прорывных технологий», в частности ГПМ и аддитивного производства, позволяет нивелировать разницу в стоимости штучной и серийной продукции.

С развитием Индустрии 4.0 и появлением концепции «умной фабрики» традиционная философия построения производственных систем меняется – вносятся кардинальные изменения в их компоненты и условия функционирования. На сегодняшний день разработаны производственная, экономическая и бизнес модели «умных фабрик». При этом единой и универсальной концепции организации такого предприятия не существует. Нет единого пути к архитектурному решению «интеллектуальной фабрики», с точек зрения архитектуры и строительства, идея ИФ остается пока еще мало исследованной. Каждая ИФ может быть спроектирована по-своему, в зависимости от уровня автоматизации, компоновки технологических цепочек, производимой продукции, оборудования и других факторов. Но, при всех потенциальных производственных различиях, требования, соблюдение которых необходимо для успешного

¹³ Кастомизация – это индивидуализация серийного продукта путем внесения конструктивных или дизайнерских изменений.

функционирования ИФ, в значительной степени универсальны и в одинаковой степени важны для каждой из них [141, Р.13].

В настоящее время «умные фабрики» являются наиболее конкурентоспособными формами организации производства. Поэтому в перспективе их количество во всем мире будет увеличиваться.

1.2.4. Организация эффективного производственного процесса с помощью принципов «бережливого производства» (см. Т.II прил.1 Л.1.5)

«Бережливое производство» (lean production, lean manufacturing) – «концепция управления производственным предприятием, которая основана на постоянном стремлении предприятия к устранению всех видов потерь. ... Эта концепция возникла как интерпретация идей производственной системы компании Toyota» [28]; и базируется на соблюдении следующих принципов [38, С.77; 178; 179, Р.71-78]:

- «вытягивающее производство»;
- «точно в срок»;
- компоновка производства по родственности выпускаемой продукции;
- постоянное улучшение процессов производства;
- человеко-ориентированное производство.

1. **Перепроизводство**, приводящее к излишним запасам готовой продукции и заготовок на промежуточных складах, является следствием некорректных представлений об оптимальных размерах партии, о времени, необходимом на переналадку оборудования и о способах исключения простоев. **Принцип «вытягивающего производства»** заключается в том, что на каждом предыдущем этапе обрабатывается ровно то количество изделий, которое требуется на последующем. Этот принцип распространяется и за пределы предприятия – то есть изготавливается ровно то количество продукции, на которое поступил запрос от потребителей.

2. **«Точно в срок» или «точно вовремя»** (Just-In-Time, JIT) – широко применяемая логистическая концепция и один из ключевых принципов «бережливого производства». «Основная идея концепции заключается в следующем: если производственное расписание задано, то можно так организовать движение материальных потоков, что все материалы, компоненты и полуфабрикаты будут поступать в необходимом количестве, в нужное место и точно к назначенному сроку для производства, сборки или реализации готовой продукции. При этом страховые запасы, замораживающие денежные средства фирмы, не нужны» [115].

С точки зрения объемно-планировочной организации производства, два упомянутых выше принципа ведут к сокращению складских площадей (сырья и готовой продукции),

редуцированию участков промежуточного складирования деталей и расходных материалов.

3. Традиционно планировка производственных помещений основывается на виде выполняемых работ (резка, сварка, сборка и т.д.). Производственные участки, как правило, группируются в цеха, отвечающие за определенные процессы и оснащенные соответствующим производственным оборудованием (кузнечный, сварочный, сборочный цеха и т.д.). Материалы и изделия перемещаются между ними с неравномерной скоростью, при помощи большого количества транспортного оборудования. Как следствие, увеличиваются сроки выполнения операций, нерационально удлиняется путь изделия от начального этапа производства до конечного продукта. Поцеховой способ организации производственного процесса требует на 30-50% больше пространства, по сравнению с принципами «бережливого производства» [178].

В рамках рассматриваемой концепции производственные отделы компоуются не по виду выполняемых операций, а по родственности обрабатываемых изделий или групп продуктов. При таком типе компоновки производства обеспечиваются более мелкие размеры партий, задействуется меньшее количество оборудования, сокращаются погрузо-разгрузочные работы и протяженность путей транспортировки. В итоге уменьшаются объемы и площади помещений, необходимые для выпуска того же количества продукции. **Планировка производственных помещений по родственности выпускаемой продукции** – неотъемлемый принцип «бережливого производства».

4. Принцип, предполагающий постоянное внесение изменений в технологические цепочки с целью непрерывного совершенствования производства, называется «**кайдзен**» (улучшение). В ходе его реализации обнаруживаются неэффективные операции и «технологические тупики» и возникает необходимость в перестановке оборудования. Чтобы облегчить этот процесс используется мобильное и самодвижущееся, малогабаритное и легкое производственное оборудование. Кроме того, объемно-планировочные решения производственных помещений должны обладать определенной степенью гибкости, позволяющей оперативно вносить изменения в технологические цепочки.

5. Концепция «бережливого производства» стимулирует построение **человеко-ориентированного производства**, основанного на мотивации и творчестве, учитывающих индивидуальные способности всех сотрудников [142, Р.115]. Путем вовлечения всех сотрудников в управление, в решение глобальных вопросов предприятия, у них создается ощущение причастности к одному общему делу. Такие свойства производственной среды как коммуникативность и осведомленность способствуют построению человеко-ориентированного производства, повышают производительность труда, создают благоприятную психологическую обстановку.

Внедрение «бережливых» принципов включает следующие положительные аспекты [179, Р.72]:

- растет производительность за счет устранения всех типов брака, отходов и трат;

- повышается качество продукции благодаря точности процессам производства;
- увеличивается гибкость производства;
- рабочая среда становится более гуманной и демократичной.

1.3. Исследование мирового опыта формирования архитектуры промышленных предприятий с высокотехнологичными производственными системами

1.3.1. Исторический обзор эволюции архитектуры предприятий (см. Т.II прил.1 Л.1.6)

Обзор эволюции архитектуры высокотехнологичных промышленных предприятий целесообразно начинать со второй половины XX-го в., так как именно с этого времени передовые достижения науки и техники становятся ключевыми факторами влияния на экономику, производственную и социальную сферы. После окончания Второй Мировой войны, которая стала серьезным толчком для развития технологий и строительства промышленных предприятий, НТР 1950-х гг. является следующим важнейшим событием, повлиявшим на формирование мировой промышленной архитектуры того времени.

1950-1960. С 1947 г. в сферу индустриального производства включаются кибернетика, а с начала 1950-х гг. – электронно-вычислительная техника, автоматика и первая робототехника. НТР приводит к появлению новых отраслей промышленности – радиоэлектроники, производства средств связи и первой компьютерной техники, что влечет за собой создание новых типов производственных объектов [39, С.65].

В этот период необходимость послевоенного восстановления диктует миру ускоренные темпы строительства заводов и фабрик. С этой же целью в нашей стране активно разрабатываются системы унификации и стандартизации отдельных конструкций и элементов, а также типовые проекты целых предприятий [66, С.76]. Кроме того, наблюдается рост всех строительных параметров – увеличение общей площади производственных объектов, сетки колонн, грузоподъемности кранового оборудования и др. Применение укрупненной сетки колонн дает увеличение полезной площади производственных цехов в среднем на 10 – 25% [43, С.540]. Превалирующим типом производственных корпусов машиностроительных и станкостроительных заводов становятся одноэтажные многопролетные здания [133, С.37,38; 168, Р.176,331-332].

Из-за стремления к максимальной функциональности, производительности и экономичности предприятий, гуманистическим и эстетическим аспектам уделяется недостаточно внимания. В США, для размещения предприятий машиностроения и электронной промышленности, активно используют одноэтажные производственные «здания–коробки» ортогональной формы, с искусственным освещением и вентиляцией [39, С.64; 93, С.7,9]. Исключением является технический центр «Дженерал Моторс»

(General Motors) (Эл. Саариен, Э. Саариен, США, 1951-55) (см Т.II прил.3 № 1) площадью 150 га, состоящий из 38 лаконичных зданий-параллелепипедов, который, благодаря продуманному благоустройству территории (искусственным водоемам, озеленению и арт-объектам), удается объединить в комфортный, эстетически выразительный и цельный ансамбль.

В СССР крупные промышленные комплексы этого периода характеризуются использованием светоаэрационных фонарей и декорацией фасадов при помощи прикладных искусств (мозаика, барельеф). На заводах-гигантах внимание уделяется не архитектурным решениям отдельных зданий, а композиции всего комплекса в целом. Цеха дифференцируются по производственным процессам и размещаются в разных корпусах (кузнечный, литейный, сборочный), так как проектирование сблокированных зданий площадью более 30 тыс. м кв. нецелесообразно. Для приборостроительных и станкостроительных заводов, общей площадью более 40 тыс. м кв., широкое распространение получает строительство на основе модульной системы координации размеров [108, С.400]. В силу дефицита металла в послевоенные годы и последующее время для возведения промышленных зданий активно применяются унифицированные сборные железобетонные конструкции.

В 1960-1970 гг. происходят изменения в производственных технологиях (создание первых автоматических систем производства и управления с использованием ЭВМ), вызванные дальнейшим развитием науки и техники. Они обуславливают начало проектирования производственных объектов с универсальными планировочными решениями [39, С.64,70]. Общая площадь предприятий уменьшается, а для обеспечения гибкости производства используется прием сплошной планировки. «Вместо нескольких производственных корпусов, как правило, проектируют один корпус-завод, занимающий центральное место на генеральном плане» [50, С.7]. Административные и санитарно-бытовые помещения блокируются с основным производственным корпусом или размещаются во встройках-этажерках непосредственно внутри корпуса.

Для создания универсальности пространства используются укрупненные сетки колонн (18x18, 18x24, 24x24 м и более). Глухими перегородками отделяются только помещения специализированных производств (термическое, малярное, прецизионное и др.). В остальных случаях проектируются светопрозрачные и сборно-разборные перегородки, которые допускают трансформацию помещений цеха [50, С.10]. В качестве примера создания универсального пространства можно привести машинный зал механической фабрики в Декеле (W. Henn, Германия, 1962) (см Т.II прил.3 № 2), где складчатые конструкции перекрывают пролет длиной 60 м и образуют единое помещение без промежуточных опор [147].

Кроме одноэтажных ширококорпусных зданий, начинают активнее использоваться однопролетные многоэтажные, двухэтажные (с увеличенным шагом колонн на верхнем этаже) и смешанной этажности здания с шириной корпуса всего 18-24 м [69, С.67]. Такая ширина обеспечивает хорошее естественное освещение помещений. Несмотря на то, что

многоэтажные здания позволяют сэкономить до 50-60 % площади участка, в силу технологических особенностей производственного процесса на приборо- и станкостроительных заводах, одноэтажные корпуса остаются самым востребованным типом.

На рубеже 1960-х, 1970-х гг. в СССР все еще преобладают крупномасштабные приборостроительные и станкостроительные заводские комплексы: Чебоксарский приборостроительный завод, завод автоматических линий в Барановичах (Ю. А. Шаталов, Ж. С. Дулькина, С. Г. Ремизов, инж. И. В. Балдин, 1970), завод гидрооборудования в г. Грязи (И. П. Буянов, инж. Р. Е. Колодина, 1970) (см Т. II прил. 3 № 3, 4, 5). Их «увязка» с городской средой осуществляется при помощи фланкирования предзаводской территории административно-бытовыми или лабораторными корпусами, сомасштабными человеку и гражданской застройке. За этими корпусами располагаются протяженные и многопролетные одноэтажные здания основного производства. Отличительной чертой проектов большинства приборостроительных заводов является резервирование значительной территории для будущего расширения предприятий [50, С.15].

В 1970-1980 гг. начинают развиваться цифровые технологии (информатика, системы дистанционного управления и дальнейшая автоматизация производственных процессов), совершенствуются промышленные роботы и системы автоматического складирования, которые не только расширяют направления и возможности производственной деятельности, но и начинают менять организацию и условия труда [38, С.76]. Первые шаги по гуманизации производственной среды определяют новые требования к организации мест работы, отдыха и социально-бытового обслуживания на предприятиях [39, С.80]. Например, в проекте фабрики «Герман Миллер» (German Miller) (N. Grimshaw, Англия, 1976) (см Т. II прил. 3 № 7) предусмотрены уютные полузакрытые дворики для приема пищи и отдыха рабочих. Система ограждающих конструкций устроена таким образом, что глухие и светопрозрачные панели, проемы дверей и ворот и даже ниши-дворики могут менять свое местоположение для обеспечения требований технологического процесса и комфорта сотрудников.

«С 1970-х годов в развитых странах наметилась ... тенденция увеличения числа малых производственных объектов. Экономически выгодным для них является использование субподрядных производителей. Очевидные преимущества малого и среднего производств, способных легко перестраиваться и обновляться в условиях свободного рынка, привели к увеличению доли капитальных вложений именно в малый бизнес» [85, С.249].

Увеличение числа наукоемких предприятий, появление гибких конвейерных линий, рост заинтересованности потребителей в меньших партиях продукции приводят к тому, что одним из главных качеств современного, по меркам того времени, предприятия становится возможность соответствовать трансформации и модернизации технологических процессов при интеграции последних достижений науки и техники в

производство [39, С.86]. Мировая промышленная архитектура этого периода отличается от архитектуры предыдущих этапов не только началом гуманизации промышленной застройки, но и включением научно-исследовательской, логистической и административных функций непосредственно в структуру зданий высокотехнологичных, на тот период, производств. Так, на фабрике по производству комплектующих для сверхмощных двигателей «Флитгард» (Fleetguard) (R. Rodgers Англия, 1979-81) (см Т.II прил.3 № 10) в одном объеме скомпонованы производственная, складская, логистическая и административно-бытовая зоны [166, Р.93]. Другой, более поздний пример – предприятие по производству аудио-оборудования «Лин Продуктс» (Linn Products) (R. Rodgers Англия, 1985-87) (см Т.II прил.3 № 15). В здании, представляющем собой два примыкающих друг к другу ортогональных объема, размещаются администрация, отдел исследований и разработок, производственные и сборочные зоны, а также автоматизированный высотный склад [159].

В это время в СССР разрабатываются экспериментальные проекты одно- и многоэтажных зданий для предприятий электронной и радиотехнической промышленности. Такие быстровозводимые производственные здания серии «Комплект» (см Т.II прил.3 № 11) отличаются универсальностью и предназначаются для размещения, как основного производства, так и лабораторий, складских зон и подсобных помещений [108, С.405-407]. Конструктивной особенностью многоэтажных зданий становится устройство промежуточных этажей меньшей высоты в межферменном пространстве, используемых для размещения бытовых, административных, конструкторских, инженерно-технических и других служб [55, С.5; 66, С.128-129].

Мировой энергетический кризис 1973-1974-го гг. обуславливает начало исследований потенциала энергоэффективности (в первую очередь тепловой эффективности) зданий и сооружений [113, С.4]. Вопросы экономии энергии и появление ее альтернативных источников начинают в большой степени влиять на организацию технологических процессов предприятий. Однако вплоть до начала 1990-х гг. основное внимание сосредотачивается на применении технологических и инженерных, а не архитектурных средств повышения энергоэффективности и экологической безопасности. Исключением является применение солнцезащитных ламелей и солнцезероов на фасадах производственных зданий. Такой прием, в частности, используется в лабораторно-производственном комплексе НИИ «Дельта» (И. Гохарь-Хармандарян, Ю. Никифоров, Л. Масолкина инж. М. Любопытов, Ю. Румянцев, СССР, 1978) и исследовательском центре «Ренк Ксерокс» (Rank Xerox) (N. Grimshaw, США, 1988) (см Т.II прил.3 № 9, 16).

Кроме того, на точных производствах, предприятиях приборостроения, радиоэлектроники и др. повышаются требования к чистоте воздушной среды и микроклиматическому режиму. Эти изменения приводят к возвращению производственных зданий с искусственной вентиляцией и кондиционированием, а также к увеличению объемов инженерных служб и к формированию специальных герметичных, чистых помещений. [67, С.7]. Например, в одной из модификаций типового проекта

«Комплект», чистые комнаты занимают только 10% площади здания, в то время как 60% предназначается для размещения инженерного оборудования для обслуживания этих чистых комнат [108, С.406-408].

В 1980-1990-е гг. развитие получают объемно-планировочные аспекты, связанные с гибкостью производственных зданий. В развитых странах последние достижения научно-технического прогресса того времени воплощаются в создании промышленных комплексов, объединяющих «под одной крышей» производственные и научно-исследовательские функции. На практике такие промышленно-научные объекты чаще всего размещаются в небольших по площади, универсальных и трансформируемых зданиях. Повышается интерес к новому типу промышленного здания – техническому отелю или универсальному промышленному зданию, обладающему определенной степенью гибкости планировочных решений. В то же время предприятия с небольшими габаритами оборудования, оснастки и выпускаемой продукции продолжают размещаться в зданиях с более жесткой архитектурно-пространственной структурой [39, С.92].

В Советском Союзе в середине 1980-х гг. разрабатываются проекты новых для того времени одноэтажных модулей зального типа, обеспечивавших возможность компоновать из них производственные здания многоцелевого назначения и необходимых размеров. Линейка типоразмеров этих модульных зданий (в плане от 36х36 м до 120х120 м и высотой от 6 до 13,2 м) удовлетворяет широкому спектру производственных задач [32, С.47-48]. При этом, основным средством повышения универсальности производственного пространства по-прежнему остается увеличение (зачастую неоправданное) габаритов пролетов строительных конструкций и общей площади промышленных объектов.

В это же время в Англии архитектор Н. Гримшоу формулирует идею о рациональном ограничении площади промышленных предприятий на основе ограничения количества сотрудников. Опираясь на результаты своей практической деятельности Н. Гримшоу устанавливает, что оптимальный полный списочный состав работников предприятия не должен превышать 300-500 человек [153, Р.52]. Исходя из этого, оптимальная площадь производственного объекта должна составлять от восьми до десяти тыс. кв. м.

В связи с совершенствованием производственных процессов продолжается гуманизация среды промпредприятий. Расширяется набор непроизводственных функций, включаемых в структуру этих объектов. Так, помимо научно-исследовательской и административно-офисной составляющих, вводятся демонстрационно-выставочные и сервисные функции. На фоне начавшегося процесса деиндустриализации в развитых странах (Г.1 п.1) идет активизация взаимодействия между наукоемкими предприятиями и городской средой.

В 1970-1990-х гг. именно в области промышленной архитектуры формируется новый стиль «хай-тек», который получает широкое распространение среди других функциональных типов зданий [146, Р.131-132; 168, Р.332-336]. Характерным становится

акцентирование внимания на взаимосвязи архитектурных и конструктивных решений, на использовании сборных конструкций и элементов заводского изготовления.

Большинство из рассмотренных тенденций этого периода воплощаются в дистрибьюторском центре «Рено» (Renault) (N. Foster, Англия, 1980), в здании по производству микропроцессоров «ИНМОС» (INMOS) (R. Rogers, Англия, 1982-1987) (см Т.II прил.3 № 12, 14), а также в исследовательском центре «Ренк Ксерокс». Выдающимся примером архитектурной организации гибкого и мобильного промышленного здания служит фабрика по производству полимерных изделий «ИГУС» (IGUS) (N. Grimshaw, Германия, 1984 – 2000)¹⁴ (см Т.II прил.3 № 22).

Последнее десятилетие XX-го в. характеризуется углублением всех вышеперечисленных тенденций (универсальность и гибкость, мобильность и энергоэффективность, гуманизация и стремление к многофункциональности). Вопросы повышения энергоэффективности промышленных объектов начинают решаться путем внедрения архитектурных средств и методов, используемых в области гражданской архитектуры. Производственно-офисное здание компании «Тобиас Грау» (Tobias Grau) (RBT, Германия, 1998) (см Т.II прил.3 № 18) интересно использованием различных архитектурных приемов эффективного естественного освещения и солнцезащиты, выбранных исходя из ориентации фасадов здания по сторонам света.

Площади и объемы предприятий высокотехнологичной промышленности, расположенных в городской среде, продолжают уменьшаться. Одним из основных аспектов эстетизации производственных объектов становится их гармонизация с окружающей средой и городской застройкой, визуальная «открытость» и «проницаемость». Хорошим примером такого средового подхода служит фабрика «Апликс» (Aplix) (D. Perrault Architecte, Франция, 1997-99) (см Т.II прил.3 № 19), фасады которой полностью облицованы панелями из нержавеющей стали с зеркальным эффектом [164, P.132-141]. Благодаря такой финишной отделке здание практически полностью растворяется в окружающем ландшафте.

В конце 1990-х гг. архитектор Гюнтер Хенн вводит в архитектурный словарь такое понятие как «осведомленность» (awareness) (см Г.2. п.2.1, п.3.5) [137, P.85-86] и реализует его в ряде проектов промышленных, научно-исследовательских, мультифункциональных и офисных зданий. Например, на сборочном заводе «Шкода» (Skoda) (G. Henn, Чехия, 1996) (см Т.II прил.3 № 17) «осведомленность» и постоянный обмен информацией достигаются путем расположения производственного конвейера вокруг конторских помещений, имеющих полностью остекленный периметр [137, P.94-99]. На фабрике по производству сотовых телефонов «Моторола» (Motorola) (Sh. Robson, Англия, 1998) (см Т.II прил.3 № 20) пространством для общения и укрепления взаимоотношений между

¹⁴ Дмитриева, А. О. Принципы объемно-планировочной организации новейших производственных объектов / А. О. Дмитриева – Текст : электронный // AMIT : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2019. – №2 (47). – С. 135-149. – URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/2kvart19/PDF/09_dmitrieva.pdf.

сотрудниками служит коммуникативная улица, соединяющая три производственных цеха с другими функциональными зонами [146, Р.134-135].

С начала 2000-х гг. наращивает темпы процесс неоиндустриализации развитых стран и крупных городов (см Г.1 п.1). В 1998-ом г. в США разрабатывается и вводится в архитектурное проектирование рейтинговая система сертификации зданий по критериям энергоэффективности и экологической безопасности – LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Высокотехнологичные производственные объекты становятся все более «устойчивыми». Осознание преимущества «сотрудничества» города и промышленности усиливает интеграцию высокотехнологичных предприятий в урбанизированную среду, повышая социальную и экономическую значимость промышленной архитектуры.

В целом, с 1950-х г. и начала НТР, то есть со времени начала существования высокотехнологичной промышленности в современном ее понимании, архитектура производственных объектов претерпела ряд последовательных изменений. Под влиянием развития науки и совершенствования высоких технологий, стремительного внедрения новаций в функционально-технологические процессы, в проектирование и строительство, практика возведения объектов промышленной архитектуры перешла от функциональных и экономичных, но малокомфортных и невыразительных «коробок» к не менее рентабельным, но гуманным, экологически безопасным и энергоэффективным зданиям, находящимся в гармонии и открытом диалоге с окружающей средой, городом и человеком.

1.3.2. Комплексный анализ современной практики проектирования промышленных предприятий, отвечающих передовым технологическим, экономическим и социальным трендами (см. Т.II прил.1 Л.1.7-1.14)

Комплексное исследование современной практики проектирования и строительства высокотехнологичных промышленных предприятий включает в себя многофакторный анализ по следующим основным позициям:

- местоположение объектов в урбанизированной среде и баланс территории;
- объемно-композиционные решения;
- соотношение и взаимное расположение основных функциональных зон;
- строительные параметры и конструктивные решения;
- внедрение приемов «устойчивой архитектуры»:
 - гибкость и расширяемость;
 - энергоэффективность, ресурсосбережение и экологическая безопасность;
 - гуманизация и демократизация производственной среды;
- архитектурно-художественные решения.

Всего отобрано и изучено **более 70 объектов-представителей** – предприятия точного машиностроения и приборостроения, сборочные фабрики, объекты по производству электрооборудования, а также несколько высокотехнологичных объектов научно-производственного и образовательно-производственного назначения. Все изучаемые объекты были построены в период с начала XXI-го в. по настоящее время.

1. Рассматриваемые объекты-представители находятся **в границах территорий городов и городских агломераций**. Больше половины (65%) из них расположены в урбанизированной среде средней плотности застройки, 25% – в среде с низкой плотностью застройки в окраинных зонах и только 10 % – в срединной зоне городов с высокой плотностью застройки. В таких условиях территории всех объектов примыкают к одной или двум транспортным магистралям. Реже рассматриваемые участки имеют полуостровное или островное положение. В большинстве случаев предусмотрено два входа-въезда на территорию, разделяющие пешеходные и транспортные потоки. Интересным решением представляется организация двух въездов для грузового транспорта с разных сторон участка для разделения транспортных потоков с сырьем и готовой продукцией, или для более удобного маневрирования крупногабаритного транспорта по территории предприятия. Этот прием реализован на площадках сборочного завода «Хёрманн Модин» (Hörmann Modine) (RMA Architekten, Германия, 2003), фабрики «Сирона» (Sirona) (Lengfeld & Wilisch Architekten, Германия, 2013) и производственного цеха в Хаттингене (Barkow Leibinger Architects, Германия, 2013) (см Т.II прил.4 № 6, 42, 41).

Существует несколько вариантов размещения изучаемых производственных объектов в зависимости от близлежащего окружения. Наиболее распространено автономное расположение промпредприятий в среде смешанного функционального назначения (56%). Реже изучаемые объекты включаются в состав более крупных производственных комплексов (20%), в структуру индустриальных или научных парков (13%) и университетских учебных кампусов (11%). У автономно расположенных предприятий, а также производственных зданий, расположенных в составе научных и индустриальных парков, территории участков имеют четко обозначенные границы. В то время как объекты, входящие в состав промышленных комплексов и учебных кампусов, не имеют собственного участка, а размещаются на площадке, одновременно принадлежащей всему промкомплексу или кампусу, соответственно. Отличительной чертой всех рассмотренных вариантов размещения является отсутствие глухих ограждений и визуальная интеграция территории в окружающую среду.

Плотность застройки ($S_{\text{общ}} / S_{\text{терр}}$) в зависимости от градостроительных и региональных условий размещения имеет очень широкий разброс, средняя плотность застройки находится в границах 40,3 – 66,0%, что соответствует рекомендуемым показателям [9, прил. В]. Усредненный баланс территории выглядит следующим образом:

- 40,8% – здания и сооружения;
- 28% – дороги и мощения;

26,7% – благоустройство и зеленые насаждения,
4,5% – прочие территории.

Необходимо отметить, что баланс территории новейших промышленных предприятий отличается увеличением доли благоустройства и озеленения по сравнению с рекомендуемыми показателями [9, п. 5.64]. Это объясняется не только преимущественным расположением объектов-представителей в среде со средней и низкой плотностью застройки, но и тенденцией к гуманизации и повышению качества производственной среды, а также стремлением компаний-владельцев предприятий пройти оценку по рейтинговым системам сертификации. При этом значительная площадь дорог и мощений объясняется большой площадью парковочных мест для личного автотранспорта сотрудников и посетителей.

2. Объемно-композиционные решения прогрессивных производственных объектов разнообразны, тем не менее, можно выделить ряд общих черт. Объемно-пространственная композиция, как правило, отличается лаконичностью. Площадь большинства рассматриваемых зданий находится в границах 3,5 – 30 тыс. кв. м, что дает возможность использовать прием сплошной планировки и скомпоновать предприятие в форме единого объема (50%), двух (29,5%) или нескольких параллелепипедов (20,5%), расположенных соосно или примыкающих друг к другу хаотично. Превалируют простые ортогональные формы планов, однако, здания фабрик «Фраба» (FRABA Sp. z o.o.) (BeL, Польша, 2006), «Витра» (Vitra) (SANAA, Германия, 2012) и мультиарендуемые промышленные здания в Дерио (Software and Biotechnology Plants) (Coll-Barreu Arquitectos, Испания, 2009) (см Т.II прил.4 № 12, 35, 13) имеют формы планов близкие к кругу.

Габариты объектов в плане, как правило, превосходят высоты зданий. В ряде случаев в качестве высотных доминант выступают автоматизированные склады, например в композиции производственно-логистического комплекса «Хилти» (Hilti) (ATP Architekten, Австрия, 2009), штаб-квартиры «Гира» (Gira) (Sauerbruchhutton architects, Германия, 2016) (см Т.II прил.4 № 16, 55), или многоэтажные блоки административно-офисного назначения, как в здании «Экспериментальной фабрики» (Sauerbruchhutton architects, Германия, 2001) и комплексе «Фабрики на Земле» (Ryuichi Ashizawa Architect & Associates, Малайзия, 2013) (см Т.II прил.4 № 5, 38). Архитектурно-композиционные решения обогащаются за счет заглибления входных порталов, например в здании сборочного завода «Модин» (Modine Hn) (RMA Architekten, Венгрия, 2008) и производственно-офисном здании фирмы «Филипп Хафнер» (Philipp Hafner) (gernot schulz: architektur, Германия, 2013) (см Т.II прил.4 № 14, 39), а также «вырезания» внутренних двориков и террас, как в производственно-офисном здании «Халь» (Hähl) (Peter W. Schmidt Architekten BDA, Германия, 2014) и производственном цехе «Пак-Систем» (Pac-Systeme) (Barkow Leibinger Architects, Германия, 2016) (см Т.II прил.4 № 47, 54). Кровли большинства зданий плоские, либо имеют незначительный уклон, как например кровля «Умной фабрики Трамф» (Trumpf Smart Factory) (Barkow Leibinger Architects, США, 2017) (см Т.II прил.4 № 62) и здания фирмы «Филипп

Хафнер». Выразительность силуэта формируется световыми фонарями различных конструкций и форм. Этот традиционный для промышленной архитектуры прием, использован в зданиях кооперативного предприятия «Гератверк Матрай» (Gerätewerk Matrei) (ATP Architekten, Германия, 2005) и фабрики «ХААС» (HAAS) (Barkow Leibinger Architects, Германия, 2000), центре разработок в Дитцингене (Barkow Leibinger Architects, Германия, 2009), корпусе Национального Промышленного Института (HLM Architects, Шотландия, проект) (см Т.II прил.4 № 9, 1, 15, 77), а также во многих других рассматриваемых объектах.

Лаконичность и простота объемно-планировочных решений способствуют компактности и композиционной целостности изучаемых предприятий. В целях сравнения и численного выражения этих свойств был использован коэффициент компактности здания, равный отношению внутреннего объема объекта к площади его ограждающих конструкций, без учета площади основания ($K_{\text{комп.}} = V_{\text{общ.}} / S_{\text{огр.констр.}}$) [23, С.18]. Следовательно, чем $K_{\text{комп.}}$ выше, тем более цельным и компактным можно считать объемно-планировочное решение объекта. Коэффициент компактности объектов-представителей находится в пределах от 4,6 до 12,25; средний $K_{\text{комп.}}$ составляет 6,95. Поскольку $K_{\text{комп.}}$ зависит от общей площади и абсолютных размеров объекта (с увеличением общей площади этот коэффициент растет). Для уточнения результатов сравнения коэффициентов компактности рассматриваемые производственные здания были поделены на группы, в зависимости от площади, и для каждой из групп был найден свой средний $K_{\text{комп.}}$ (табл.3).

Собщ. (тыс.кв.м)	до 6	6 - 10	10 - 17,5	17,5 - 25	более 25
К-комп.	5,3	6,5	6,6	8,3	10

Табл.3. Средний коэффициент компактности в зависимости от общей площади объекта

3. Функциональные программы объектов-представителей весьма разнообразны. В большинство изучаемых промышленных предприятий, помимо производственной функции, включается еще одна (25% объектов-представителей), две (39%), и более (25%) функциональных составляющих. Только 11% из рассмотренных объектов полностью монофункциональны. Чаще всего производственная функция дополняется полноценной административно-офисной составляющей, сервисной, исследований и разработок или логистической функцией. Например, в здании «Трамф Maschinen AG» (TRUMPF Maschinen AG) (Barkow Leibinger Architects, Швейцария, 2000-2001) и в штаб-квартире «Техноальпин» (TechnoAlpin) (Roland Baldi Architects, Johannes Niederstätter / VWN Architects, Италия, 2010) (см Т.II прил.4 № 3, 25) производство соседствует с административно-офисными помещениями. А на предприятии «Зенхейсер электроник» (Sennheiser electronic) (RMA Architekten, Германия, 2009) и на заводе «Хевел солар» (Hevel solar) (Мосэлектропроект, Россия, 2014) (см Т.II прил.4 № 17, 48) к производственной и административно-офисной составляющим добавляется функция исследований и разработок. В производственно-офисном объекте ООО «Трамф Саксония» (TRUMPF Sachsen GmbH & Co) (Barkow Leibinger Architects, Германия, 2003-2004) и в здании предприятия «ФАФСИ» (FAFSI) (LHVH Architekten BDA, Германия,

2010) (см Т.II прил.4 № 8, 23) интегрируются производственная, административно-офисная и логистическая функциональные зоны. В «Центре новейшего производства» (Advanced Manufacturing Building) (Bond Bryan Architects, Англия, 2018) (см Т.II прил.4 № 68) помимо опытного производства, проведения исследований и административной составляющей, реализуются функции тренинга и обучения. Производственно-офисное здание фирмы «Филипп Хафнер» и «инновационная фабрика Виттенштайн» (Wittenstein) (G. Henn Architekten, Германия, 2014) (см Т.II прил.4 № 46) имеют еще более расширенный набор функций и соответствующих функциональных зон – здесь осуществляются: производство, исследования и разработки, административно-офисная деятельность, демонстрация и обслуживание выпускаемой продукции.

Для анализа **соотношения и взаимного расположения функциональных зон** были выделены следующие составляющие современных производственных объектов:

- производственная;
- склада или дистрибуции;
- исследований и разработок;
- административно-офисная;
- санитарно-бытовая;
- социально-рекреационная.

Несмотря на то, что рабочие программы объектов-представителей весьма разнообразны, можно выделить ряд общих тенденций пропорционирования их функциональных зон¹⁵.

На предприятиях, в программу которых не заложены полноценные дистрибьюторские и складские функции, **редуцируются складские зоны**. В среднем помещения складирования и дистрибуции занимают 8,3% от всей площади здания. В случае, если логистическая функция является полноценным направлением деятельности производственного объекта, она может составлять от 1/4 до 1/5 всего строительного объема. Например, в комплексе штаб-квартиры «Гира» на автоматизированный высотный склад приходится 18% от общего объема здания, в производственно-логистическом комплексе «Хилти» – 21%, а в производственно-офисном здании «Таксхорн» (Tuxhorn) (Architekten Wannemacher + Möller GMBH Architects, Германия, 2013) (см Т.II прил.4 № 40) под складские площади отведено 27,8%.

Объем площадей и тип помещений для проведения исследований и разработок зависят от конкретной функциональной программы каждого объекта. В том или ином виде и объеме эта функциональная составляющая интегрирована в 38% объектов-представителей, что свидетельствует об **увеличении частоты ее внедрения** в структуру промышленных предприятий. Например, на предприятии «Нео Солар Пауэр» (Neo Solar Power Corporation) (J. J. Pan & Partners, Тайвань, 2009) 19,2% от общей площади занимают лаборатории по оптимизации фотоэлектрических панелей, а в производственном цехе в

¹⁵Дмитриева, А. О. Функциональное зонирование и архитектурные решения современных производственных предприятий / А. О. Дмитриева, А. А. Хрусталев // Системные технологии. – 2019. – №2 (31). – С. 104-106.

Грюше (Barkow Leibinger Architects, Швейцария, 2013) (см Т.II прил.4 № 18, 36) 18,3% отведено под чистое помещение для тестирования готовой продукции.

Наблюдается **увеличение административно-офисной составляющей** современных промышленных предприятий. В среднем, она занимает 18% от общей поэтажной площади здания. В ряде объектов площадь административно-офисных помещений приблизительно равна площади производственной зоны. В качестве примеров можно указать здание фирмы «Гира» (Gira) (Ingenhoven Architekten, Германия, 2003) (см Т.II прил.4 № 7), в котором площади административно-офисной и производственной составляющих равны 36,3% и центр разработок в Дитцингене (по 32,6%). В научно-производственном центре «БМГ МИС» (BMG MIS) (Matthias Wehrle, Германия, 2012) (см Т.II прил.4 № 32) и на «инновационной фабрике Виттенштайн» административно-офисные составляющие приблизительно в два раза превосходят производственные и занимают 32,5% и 44,2% от общей площади объектов соответственно.

Уменьшаются площади помещений санитарно-бытового обслуживания, в первую очередь раздевалок и душевых. Средняя площадь этой зоны равняется 2,7% от общей площади объектов-представителей. Это объясняется соответствующим санитарным классом производственных процессов, а также тенденцией к изменению характера труда: увеличению доли умственных и уменьшению доли физических видов работ вследствие роботизации и автоматизации (табл.4) [42, С.78].

		основные группы сотрудников предприятия (%)			
		рабочие занятые физическим трудом	вспомогательные рабочие, с более высокой квалификацией	инженерно-технические работники занятые умственным трудом	служащие (прочие)
техническое оснащение предприятий	предприятия с универсальным оборудованием	60	23-25	10-12	6-9
	предприятия с автоматизированным оборудованием	0-5	30-35	65	0-5

Табл.4. Соотношение разных групп рабочих в зависимости от уровня автоматизации предприятия [42, С.78]

Расширяются площади социально-рекреационного назначения. Например, на долю помещений, предназначенных для общественного питания, отдыха и общения, досуга и занятий спортом в здании штаб-квартиры «Пивексин Технолоджи» (Pivexin Technology) (MUS Architects, Польша, 2018) приходится 6,5% от всей площади здания, в штаб-квартире компании «Гаэс» (Gaes) (Mizien, Испания, 2011) – 7% (см Т.II прил.4 № 69, 28), в здании фирмы «Филипп Хафнер» – 10%.

Анализируя особенности взаимного расположения функциональных зон, необходимо отметить, что все они формируются максимально компактно. Применяются не только укрупненные схемы функционального зонирования в горизонтальной плоскости (характерные для традиционных производственных объектов), но и зонирование объемов

по вертикали, а также зонирование, предполагающее совмещение нескольких функций в одном объеме.

4. Основные строительные параметры объектов-представителей тоже достаточно разнообразны. Сегодня около 80% всех существующих предприятий размещаются в одноэтажных зданиях [80, С.28; 85, С.115]. Однако, 88% рассматриваемых объектов – смешанной этажности. В одноэтажных объемах большой высоты размещаются производственные и складские зоны, и в ряде случаев помещения для исследований и разработок. В 79% исследуемых объектов производственная зона расположена в одном уровне, реже она компонуется в двух (15%), или нескольких (6%) уровнях-этажах. Высота производственных и складских помещений увеличена (как правило, в 1,5-2 раза) по отношению к тем, где компонуются непроизводственные функции. Среди объектов-представителей преобладают объекты с высотой производственных помещений «в чистоте» 5,0-7,5 м и 9,0 м, непроизводственных – 3,5-4,5 м.

Большинство непроизводственных функций занимают многоэтажные встройки по периметру производственных зон или примыкают к производственному объему в виде многоэтажных блоков. Как правило, двух, трех или четырех этажные блоки с меньшей высотой этажа компонуются с одноэтажным объемом большой высоты таким образом, что верх последнего этажа многоэтажной части и высокого одноуровневого объема находятся на одной высотной отметке. Такой прием повышает компактность, эксплуатационную экономичность и энергоэффективность объектов. Например, он использован в здании завода «АМС 2000» (AMS 2000) (АТР Architekten, Австрия, 2000), производственном здании «Зумтобел» (ZUMTOBEL) (АТР Architekten, Австрия, 2013), комплексе штаб-квартиры «БОБСТ» (BOBST) (Richter Dahl Rocha & Associés, Швейцария 2012) (см Т.II прил.4 № 2, 43, 34) и ряде других объектов-представителей.

Конструктивная система всех производственных зданий, рассматриваемых в рамках диссертации, каркасная. Каркас обеспечивает свободную планировку производственного помещения и экономически более выгодное конструктивное решение [89, С.98]. В исследуемых объектах самым распространенным типом конструктивной каркасной системы является пролетный тип – 74,3%. При этом в 82% объектов-представителей применяются многопролетные конструкции, а у 18% из них использована продольно-поперечная компоновка пролетов. Каркасная система ячеякового типа использована в 14,3% объектов-представителей, зального типа – в 11,4%. Габариты сеток колонн очень разнообразны; основные строительные параметры в плане (шаг и пролет) можно свести к следующим типоразмерам: 10x12 м, 12x12 м, 10x16 м, 12x18 м, 12x24 м, 22x22 м. Только у 1/3 исследуемых объектов выявлен недифференцированный подход к выбору конструкций – единые габариты шага и пролета и цельнократные высоты помещений для всех функциональных зон. В остальных случаях для помещений разного функционального назначения используются индивидуальные высоты и габариты сеток колонн.

В качестве материала несущих конструкций рассматриваемых объектов применяются металл (44,5%), железобетон (46,0%) и деревянные клееные конструкции (ДКК) (9,5%). В 2/3 исследуемых зданий вертикальные несущие конструкции выполняются из железобетона. При этом, металлические колонны каркаса характерны только для зданий с производственными помещениями, расположенными в одном уровне (в уровне первого этажа). Конструктивные элементы из железобетона применяются как в зданиях с одноэтажной, так и с многоэтажной зонами производства. ДКК используются только в конструкциях покрытия, например в производственном здании «Зумтобел» и на «инновационной фабрике Брюннер» (Brunner Innovation Factory) (G. Henn Architekten, Германия, 2018) (см Т.II прил.4 № 70). Исключение составляют производственный цех в Грюше и «Субстратная Фабрика Аяс» (Substrate Factory Ayase) (Aki Hamada Architects, Япония, 2017) (см Т.II прил.4 № 65), где несущий каркас полностью выполнен из ДКК.

5. Для сохранения конкурентоспособности и высокой производительности в структуру современных промышленных объектов внедряются **приемы «устойчивой архитектуры»**, которые включают в себя технологические, экологические, социально-этические и экономические аспекты [118].

5.1. В первую очередь реализуются приемы **повышения гибкости** внутреннего пространства. Для этого производственные зоны не разделяются на цеха, а представляют собой единое помещение, свободное от стационарных перегородок и встроено-этажерок. Например, производственные помещения «Экспериментальной фабрики», производственно-исследовательского здания «Арена 2036» (Arena 2036) (G. Henn Architekten, Германия, 2016) и многофункционального здания «Павильон 16» (Проектное бюро «АПЕКС», Россия, 2016-2017) (см Т.II прил.4 № 56, 66) представляют собой цельные зальные пространства. Организация административно-офисных помещений также основана на планировочном приеме «оупен спейс» (open space), при реализации которого перегородками отделяются только кабинеты руководителей и переговорные комнаты. Отделы исследований и разработок выделяют в обособленные помещения только ввиду более строгих требований к микроклимату помещений.

Залогом «устойчивости» прогрессивного производственного предприятия является его продолжительное функционирование и планомерное развитие. Естественным является наращивание производственной мощности и **физическое увеличение самого объекта**. Установлено, что проектные решения 1/3 объектов-представителей предусматривают возможность для роста предприятия в границах участка – отведены резервные территории для расширения или реализованы специальные конструктивные решения для вертикального роста. Например, сборочный завод «Модин» и центр разработок в Дитцингене увеличиваются путем полного копирования существующих объемов. При этом новые корпуса могут функционировать автономно. В производственно-офисном здании фирмы «Филипп Хафнер» и производственном цехе в Хаттингене расширение предприятий осуществляется путем пристройки новых объемов вплотную, только в одном, заранее определенном, направлении. Штаб-квартира «Гира» и

фабрика «ХАВЭ» (HAWE) (Barkow Leibinger Architects, Германия, 2014) (см Т.II прил.4 № 45) имеют возможность независимого роста разных частей предприятий в разных направлениях.

5.2. Повышение энергоэффективности, ресурсосбережение и экологическая безопасность – неотъемлемые аспекты концепции «устойчивой архитектуры». Проектные решения большинства изучаемых предприятий включают различные меры по их соблюдению. Многие объекты сертифицированы по различным системам рейтинговой оценки «устойчивости». Например, штаб-квартира «Шлутер Системс» (Schluter Systems) (DCYSA Architecture & Design, Канада, 2009) имеет Золотой сертификат LEED, «инновационная фабрика Эскулап» (Aescular Innovation Factory) (Wilford Schupp Architects, Германия, 2014) – Серебряный сертификат DGNB, производственное здание фирмы «Метод» (Method) (William McDonough + Partners, США, 2015) и штаб-квартиры «Сименс» на Ближнем Востоке (Siemens Middle East HQ) (Sheppard Robson, ОАЭ, 2014) (см Т.II прил.4 №пп 20, 44, 53, 49) – Платиновые сертификаты LEED. В результате комплексного анализа объектов-представителей была определена частота применения различных компонентов концепции «устойчивой архитектуры»¹⁶:

- организация эффективного естественного бокового (частота применения – 79%) и верхнего (частота применения – 67%) освещения;
- комплексное озеленение и благоустройство участка, экстенсивное озеленение кровли (59%);
- установка средств солнцезащиты (35%);
- проектирование наиболее энергоэффективной формы объекта (28%);
- внедрение инженерных систем с возможностью рекуперации энергии (23%);
- установка фотоэлектрических панелей (17%) и других альтернативных источников энергии;
- применение экологически безопасных и сертифицированных строительных материалов, компонентов высокой степени заводской готовности (15%);
- устройство систем «двойного фасада» (9%).

Организация искусственных водоемов (5%) и зимних садов (8%), естественная вентиляция помещений, конструкции солнечных стен и тепловых коридоров имеют единичное использование.

5.3. «Технологический процесс прецизионного производства требует... повышенных комфортных условий труда, учитывающих значительные психофизические напряжения при работе» [50, С.13]; поэтому особое внимание уделяется **формированию условий максимально благоприятных для человека**. В первую очередь организуются эргономичные и безопасные рабочие места, зоны отдыха и места приема пищи. Кроме того, в структуру объектов включаются расширенные социально-рекреационные

¹⁶ Дмитриева, А. О. Архитектурные приемы повышения энергоэффективности и энергосбережения современных производственных зданий / А. О. Дмитриева // Наука, образование и экспериментальное проектирование: Тезисы докладов международной научно-практической конференции, профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. – Т. 2. – Москва : МАРХИ, 2019. – С. 464-465.

функции, например, зоны для прогулок на открытом воздухе, пространства для неформального общения или занятий спортом. За создание благоприятной психофизиологической обстановки отвечают элементы живой природы и цветоцветовой дизайн. Те или иные способы гуманизации производственной среды реализованы в 68% рассмотренных предприятий. В качестве примеров можно привести цех ЧТПЗ «Высота 239» (Ё-Программа, Россия, 2007-2010) (см Т.II прил.4 № 22), где для отдыха рабочих на территории цеха разбит сад камней. А сотрудники производственно-офисного здания ООО «Хюттингер Электроник» (Hüttinger Elektronik GmbH + Co. KG) (Barkow Leibinger Architects, Германия 2005-2006) (см Т.II прил.4 № 11) в теплое время года могут отдыхать в уютных внутренних двориках на крыше здания.

Важным аспектом в создании благоприятной психофизиологической обстановки на рабочих местах является установление визуальных связей с внешней средой. Этот прием реализован в 41% объектов-представителей.

Демократизация производственных отношений с одной стороны предусматривает бóльшую автономность отдельных рабочих групп, а с другой – коллективные обсуждения и решения некоторых вопросов. С архитектурной точки зрения демократизация выражается в объемно-планировочных решениях и функциональном зонировании обеспечивающих «осведомленность» (см. Г.2 п.2.1). Различные способы реализации этого приема были выявлены в 53% изучаемых предприятий.

6. Архитектурные решения многих объектов-представителей отличаются **высокой степенью эстетической выразительности**. Для достижения этого результата используется ряд архитектурных и дизайнерских приемов. В результате комплексного анализа внешнего вида и интерьеров современных высокотехнологичных предприятий были определены наиболее часто встречающиеся средства.

В связи с тем, что объемно-пространственная композиция промышленных предприятий в большей степени подчинена функционально-технологическим процессам, эстетизация экстерьеров достигается локальными средствами, в меньшей степени влияющими на внутреннюю организационную структуру объектов:

- пластическим и / или цветовым решением фасадов;
- инсталляцией светопрозрачных ограждающих конструкций большой площади;
- формированием выразительного силуэта кровли и эстетическим освоением «пятого фасада».

Например, облицовочные фасадные панели, установленные под различными небольшими углами к вертикальной плоскости, создают игру светотени и изменение восприятия фасада в зависимости от времени суток. Этот прием использован в здании фабрики «ХААС» и производственном цехе в Хаттингене [164, Р.90-99]. Здание «Экспериментальной фабрики» окутывает полосатое «покрывало», в котором чередуются оранжевый, розовый и серый цвета [164, Р.50-56]. А колористическое решение фасадов штаб-квартиры «Биалмед» (BIALMED) (3ХА, Польша, 2018) (см

Т.II прил.4 № 73) построено на контрасте облицовочных панелей черного и оранжевого цветов и плоскостей остекления.

Торцевой фасад лаконичного производственно-офисного здания «Халь» представляет собой стеклянную витрину, через которую можно наблюдать технологические операции внутри цеха. Таким образом, сложные процессы производства становятся «украшением» фасада. Другими примерами использования этого приема являются здание предприятия «Гира» и «Фабрика 2050» (Factory 2050) (Bond Bryan Architects, Англия, 2015) (см Т.II прил.4 № 50).

Силуэт кровли производственно-исследовательского здания «Метальса» (Metalsa) (Brooks + Scarpa Architects, Мексика, 2013) (см Т.II прил.4 № 37) имеет очень экспрессивные очертания и придает динамичность архитектурному решению всего здания. Кровля производственно-исследовательского здания «Арена 2036» составляет строгую ортогональную композицию из фотоэлектрических панелей и экстенсивного озеленения по бокам и шедовых фонарей в центральной части. В целом, шеды различных форм и конструкций являются «фирменным знаком» промышленной архитектуры.

Эстетическая выразительность интерьеров рассматриваемых производственных предприятий достигается за счет:

- колористических решений;
- сочетания различных отделочных материалов;
- инсталляции элементов дизайна.

Цвет является универсальным приемом, который эффективно формирует и трансформирует эстетические характеристики как производственных, так и непромышленных помещений. На сочетаниях активных цветов построены колористические решения интерьеров здания «ЦМР Сёрджикал» (CMR Surgical) (AZL Architects, Англия, 2019) и общественных зон предприятия «Люмпульс» (Lumenpulse) (Lemay, Канада, 2017) (см Т.II прил.4 № 74, 63). В помещениях всех функциональных зон повышенное внимание уделяется качеству обработки поверхностей. Используются нехарактерные для традиционных промышленных зданий отделочные материалы, например деревянные панели на «умной фабрике Трамф» или керамогранит и натуральный камень в здании фирмы «Филипп Хафнер». Элементы дизайна и произведения современного искусства обогащают интерьеры социально-рекреационных зон.

Несмотря на существующие различия в функциональных программах, в формировании архитектурно-композиционных и выборе конструктивных решений изучаемых предприятий, у объектов-представителей прослеживаются общие тенденции, отвечающие критериям «умного» производства и ИФ. Все рассмотренные выше особенности и общие характерные черты изучаемых объектов (локация в урбанизированной среде, объемно-пространственные решения и функциональное зонирование, строительные параметры, аспекты «устойчивости» и выразительности) позволяют говорить о формировании **новой группы / нового направления**

промышленной архитектуры. Архитектура высокотехнологичных производственных предприятий и ИФ существенно отличается и от архитектуры традиционных промышленных зданий и сооружений и от современных объектов другого функционального назначения.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Раскрыты преимущества локации новейших производственных объектов в урбанизированной среде, которая обеспечивает промышленные предприятия высококвалифицированной рабочей силой и рынками сбыта и создает благоприятные условия для включения дополнительных функций (офисных, научно-исследовательских, сервисных и др.) в структуру производственных объектов. Одновременно определены следующие требования среды к таким объектам:

- компактность объемно-планировочных решений, уменьшение общей площади и габаритных размеров объектов, максимально эффективное использование выделенной территории и тенденция к увеличению этажности зданий;
- экологическая безопасность производства, интеграция ресурсосберегающих и безотходных технологий;
- ограничение габаритов выпускаемой продукции и средств логистики;
- интенция к энергосбережению – отказ от энерго- и ресурсоемких производств;
- необходимость функциональной, социальной и архитектурно-художественной интеграции производственных зданий в сложившуюся окружающую среду.

В целом, урбанизированные условия размещения требуют формирования принципиально новых закономерностей проектирования производственных объектов и всестороннего улучшения качества промышленной архитектуры.

2. Рассмотрены «прорывные технологии» Четвертой промышленной революции, которые оказывают наиболее существенное влияние на организацию производственных процессов. В эпоху Индустрии 4.0 высокотехнологичные производства становятся более гибкими, компактными, коммуникативными и безопасными. Отмечены трансформации функционально-планировочных решений промышленных объектов, возникающие в результате интеграции новых технологий:

- «уплотнение» производственной зоны;
- редуцирование складских площадей различного назначения;
- тенденция к более компактному размещению всех функциональных зон и мобильности ряда функций.

3. Исследовано понятие «умная фабрика», обозначающее совокупность передовых принципов эффективной организации производства высокотехнологичных предприятий.

Архитектурные решения и объемно-пространственная структура таких предприятий должна формироваться на основе следующих позиций:

- гибкость, адаптивность и трансформируемость планировочных решений для размещения производства, находящегося в процессе непрерывных развития и изменения;
- модульность и расширяемость объемно-пространственной структуры ИФ, упрощающая трансформации производственных процессов, проведение технического обслуживания или ремонта;
- высокое качество микроклимата производственной среды, которое диктуется одновременным наличием на производстве высокотехнологичного оборудования, роботизированных систем и людей;
- создание эргономичной, комфортной и безопасной внутренней производственной среды при помощи архитектурно-строительных средств;
- использование архитектурных решений, формирующих коммуникативность и прозрачность промышленной среды для стимуляции креативности.

4. Установлено, что благодаря внедрению принципов концепции «бережливого производства», на предприятиях растет производительность, повышается качество изготавливаемой продукции, увеличивается производственная гибкость и снижаются количества брака и отходов. Также эта концепция изменяет отношение к индивидууму на производстве и является одним из импульсов к гуманизации и демократизации рабочей среды.

5. Рассмотрен и проанализирован последовательный путь эволюции архитектуры предприятий от момента становления наукоемких отраслей промышленности до современного их состояния. Определены ведущие аспекты формирования производственных зданий высокотехнологичных предприятий, характерные для разных этапов их развития. Выявлено последовательное расширение функциональной программы и увеличение эргономичности объектов. Отмечено решающее воздействие научных открытий и технических достижений на формирование ключевых тенденций и характерных черт промышленной архитектуры на каждом из этапов ее становления.

6. Проведен комплексный анализ объектов-представителей – современных заводов приборостроения и точного машиностроения, сборочных предприятий, фабрик по производству электрооборудования и выпуску других высокотехнологичных изделий, а также объектов опытного производства. При всем многообразии их архитектурных решений были выявлены следующие общие черты:

- преимущественное размещение в урбанизированной среде предоставляет предприятиям готовую инфраструктуру, высококвалифицированные рабочие кадры, места сбыта выпускаемой продукции и согласуется с процессом неоиндустриализации;
- лаконичность объемно-композиционных решений обеспечивает компактность и эффективное использование приема сплошной планировки;
- расширение функциональной программы и изменения в соотношении площадей основных функциональных зон повышают рентабельность предприятий;

- повсеместное использование каркасного конструктивного решения (наиболее распространенные сетки колонн – от 10x12 м до 24x18 м, высоты производственных помещений – 5-9 м), преобладание смешанной этажности объектов-представителей;

- внедрение аспектов «устойчивой архитектуры» обеспечивает гибкость и расширяемость изучаемых объектов, повышает энергоэффективность, ресурсосбережение и экологическую безопасность, а также гуманность производственной среды;

- эстетическая выразительность интерьеров и экстерьеров объектов-представителей достигается нешироким набором малозатратных и эффективных способов.

7. Определено, что архитектурные решения большинства рассмотренных предприятий обладают рядом недостатков, не позволяющих им в полной мере соответствовать требованиям «умных» производств и ИФ:

- расположение производственной зоны преимущественно в одном уровне препятствует компактному размещению гибких производственных процессов и необоснованно увеличивает протяженность логистических и инженерных сетей;

- использование каркасов пролетного типа и дифференцированный подход к выбору сеток колонн снижают гибкость и адаптивность как производственной зоны, так и здания в целом;

- часто интеграция приемов «устойчивой архитектуры» носит «внешний» характер и не затрагивает строительную структуру и объемно-планировочные решения (в большинстве случаев они остаются традиционными);

- в ряде случаев архитектурно-художественные решения не в полной мере удовлетворяют требованиям к качеству архитектуры ИФ и не отражают инновационный характер современного «умного» производства.

8. Таким образом, учитывая аспекты неоиндустриализации, стремительную эволюцию производственных процессов и современное состояние промышленной архитектуры, полностью обоснована необходимость разработки новых промышленных объектов для размещения «умных» производственных предприятий; своевременность и актуальность поиска перспективных принципов формирования архитектуры ИФ эпохи Четвертой промышленной революции.

ГЛАВА 2. ВЫЯВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЕМОМ И ТЕНДЕНЦИЙ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ФАБРИК (ИФ)

Во второй главе были исследованы: варианты локаций и специфика планировочных решений территорий ИФ; сформулированы особенности функционального зонирования и объемно-планировочной организации внутреннего пространства объектов; описаны наиболее рациональные конструктивные и новые инженерные решения. Проведена систематизация: приемов обеспечения «устойчивости» объектов новейшей промышленной архитектуры; средств повышения гуманизации производственной среды и создания эстетической выразительности ИФ.

2.1. Размещение и особенности современной планировочной организации генеральных планов ИФ в условиях урбанизированной среды (см. Т. II прил. 1 Л. 2.1-2.2)

Процесс неоиндустриализации способствует сохранению уже имеющихся и строительству новых высокотехнологичных производственных предприятий в урбанизированной среде: в окраинных, пригородных зонах и городских агломерациях крупнейших городов, срединных и пригородных зонах крупных городов, а также на территориях научных, бизнес и специализированных индустриальных парков. Эти локации обладают хорошей транспортной доступностью, которая облегчает выход предприятий на региональный и глобальный уровни, повышает конкурентоспособность продукции и поддерживает высокую оперативность функционирования предприятий в целом. Кроме того, обеспечивается надежность и бесперебойность логистических потоков – важнейшая составляющая новых производственных стратегий (концепции «умной фабрики» и «бережливого производства») (см Г. 1 п. 2.3, 2.4). Территориальная близость источников инноваций (научно-исследовательских центров, бизнес-инкубаторов и др.) оказывает положительное влияние на функционирование высокотехнологичных производств. Тесное соседство ИФ с другими наукоемкими объектами создает условия для творческого обмена знаниями и опытом, формирует синергетические связи между компаниями, увеличивая уровень профессиональной компетентности всех участников [167].

В свою очередь, городские условия размещения ограничивают площадь и увеличивают плотность застройки, диктуют более эффективное использование всего участка, принадлежащего объекту [22, С.23; 25, С.69; 78, С.18; 85, С.168]. На основании сопоставления территорий, площадей и строительных объемов объектов-представителей установлены следующие закономерности:

- в среде с низкой плотностью застройки (коэффициент плотности 0,6-0,4 [10, С.71-72]), к которой относятся пригородная и окраинная зоны городов и городские агломерации, размещаются предприятия площадью от 6 до 30-35 тыс. кв. м с участками до семи гектар; наибольшее распространение получили объекты общей площадью 20-30 тыс. кв. м, площадь застройки участка которых в среднем составляет 30% от общей площади территории;

- на территориях со средней плотностью застройки (1,2-0,8) (преимущественно окраинная зона городов) – размещаются предприятия площадью от 5 до 20 тыс. кв. м и участками от одного до трех га, у которых площадь застройки составляет примерно 45% от всего участка;

- в условиях плотной застройки (1,6-2,4) (преимущественно срединная зона городов) – находятся объекты общей площадью до шести тыс. кв. м, с участками до 0,5 га и площадью застройки участка свыше 52-55%.

На основании установленных закономерностей можно сделать вывод о том, что в урбанизированной среде целесообразно размещать предприятия малой (200-500 ед./г.) и средней (1000-5000 ед./г.) мощности и соответствующих физических объемов [65].

Внедрение «умных» технологий в производственные процессы обуславливает специфику планировки и застройки территорий ИФ:

- цифровизация и автоматизация логистических цепочек как внутри предприятия, так и за его пределами приводит к максимальному редуцированию складских зон различного типа;

- сравнительно малые габариты и вес производимой продукции, отсутствие площадей внешнего складирования, повсеместное использование безрельсового транспорта позволяет значительно повысить плотность застройки и, одновременно, более свободно располагать здания и сооружения на участке [34, С.28];

- значительная редукция вредностей (вибрации, шума, электромагнитного излучения и др.) и полная экологическая безопасность производств значительно сокращают или полностью устраняют санитарно-защитные зоны, что позволяет осуществлять более эффективную застройку отводимого участка, приближая производственные здания к его границам.

Традиционно существуют **производственный, транспортный и санитарный типы зонирования генерального плана промышленного предприятия** [105, С.395]. При этом выделяют следующие зоны функциональной планировки территории [9, С.6; 25, С.70]:

- основные производства,
- складские площадки,
- предзаводские территории и рекреационные зоны, включающие благоустройство и озеленение,
- участки движения транспорта,
- подсобные объекты (энергетические и инженерные).

Однако, для генеральных планов современных ИФ такой подход теряет свою актуальность и нуждается в корректировке по причине наличия следующих факторов:

- исследуемые объекты относятся к полностью экологически безопасным производствам, вследствие чего отсутствует необходимость рассматривать особенности планировки генеральных планов с точки зрения санитарного зонирования;

- из-за стремления к сокращению площадей участков и объемов современных предприятий, производственное и транспортное зонирование целесообразно рассматривать в комплексе.

В результате автором были определены следующие основные планировочные зоны на генеральных планах ИФ:

- зона объектов производства;
- логистическая составляющая;
- зона благоустройства;
- места размещения личного автотранспорта (паркинг);
- прочие территории.

Зона объектов производства – это места непосредственного расположения промышленных зданий. По сравнению с балансом территории традиционных производственных объектов, доля производственной зоны ИФ в общем балансе участка увеличивается в среднем на 15-20%. Это объясняется высокой стоимостью земли и стремлением к уменьшению площади участка, а также редуцированием ряда других функциональных элементов генерального плана. Например, на участках штаб-квартиры «Дайсон» (Dyson) (WilkinsonEyre, Англия, 1999) (см Т.II прил.3 № 21) и фабрики «Апликс», спроектированных и возведенных в последние десятилетия XX-го в., процент застройки составляет 23,5% и 20,5% соответственно, а на территориях современных, сопоставимых по площади, производственно-офисного комплекса «MTU Аэро» (MTU Aero) (G. Henn Architekten, Польша, 2009) (см Т.II прил.4 № 19) и штаб-квартиры «Гира» этот показатель уже равен 40,3% и 42,5%. Экстраполируя эту тенденцию, можно предположить, что в будущем у ИФ в городской среде процент застройки территории будет увеличиваться.

Логистическая составляющая генерального плана – это участки для погрузки / разгрузки, проезда и маневрирования грузового автотранспорта. В условиях урбанизированной среды эта планировочная единица сокращается до минимальных размеров. Также характерным становится ее частичное вхождение непосредственно во внутреннюю структуру объекта (устройство боксов и крытых погрузочных площадок). Примерами могут служить производственные цех в Грюше и цех компании «Пак-Систем».

Зона благоустройства включает в себя пешеходные дорожки, эспланады, места для отдыха и искусственные водоемы; значительную часть этой зоны составляет озеленение всех видов. Эта функциональная составляющая отвечает за улучшение экологического и эстетического состояния участка и занимает до одной трети всей территории

современных производственных объектов, что превышает средние показатели [9, С.17,18]. Необходимо отметить, что процент озеленения территории, равный 25-30% и выше, значительно улучшает экологическую обстановку вокруг объекта [32, С.34; 78, С.20]. Например, на территории штаб-квартиры «Шлатер Системс» зоны озеленения и благоустройства занимают 36,9%, «Умной фабрики Трамф» – 48%, а на участке кампуса «Мак-Ларен» (McLaren Campus) (Н. Фостер, Англия, 2011) (см Т.II прил.4 № 29) – более 50%.

На современных предприятиях **места временного хранения личного автотранспорта** персонала и посетителей заметно увеличиваются по площади и, превышая рекомендуемые нормы [10, С.103], становятся одним из необходимых планировочных элементов, занимая при этом до 1/5 всей территории. Однако, в урбанизированной среде с высокой плотностью застройки целесообразно организовывать подземную или полуподземную автостоянку, наземный паркинг под частью объекта, которая поднята над уровнем земли. Этот прием реализован в штаб-квартирах компаний «Газс» и «Шлатер Системс», научно-производственном центре «БМГ МИС» и здании предприятия «Нео Солар Пауэр».

Прочие территории – подсобные (энергетические и хозяйственные) зоны редуцированы до минимальных размеров или полностью отсутствуют, поэтому не оказывают существенного влияния на планировочные решения участков ИФ. Компактность и экологическая безопасность высокотехнологичных производственных систем дает возможность сосредоточить все подсобно-хозяйственные функции в рамках одного строительного объема, примыкающего или непосредственно входящего в зону объектов производства. Значительное сокращение подсобных территорий происходит и за счет того, что урбанизированная среда предоставляет готовую инженерную инфраструктуру, а современное инженерное оборудование, наравне с высокой производительностью обладает компактностью и малым выделением вредностей (вибраций, шума и др.), что позволяет интегрировать инженерно-технические объекты в структуру основного производственного здания. Наличие подсобной зоны остается характерным для крупных производственных объектов, площадью более 25 тыс. кв. м.

Баланс территории ИФ также отличается от баланса участков других промпредприятий по ряду позиций (см. табл.5).

Развитая дорожная сеть урбанизированных территорий обуславливает несколько возможных вариантов положения участка ИФ в окружающей застройке: параллельное (вдоль дороги), угловое и островное [97, С.32]. Во всех случаях сохраняется традиционное глубинное функциональное зонирование территории относительно главной магистрали - зоны благоустройства и паркинга располагаются ближе к основной транспортной артерии, за ними следует зона объектов производства, за которой находятся логистические и подсобные территории [41, С.31-32]. Последние также могут тяготеть к второстепенным улицам и внутриквартальным проездам.

традиционные производственные объекты		ИФ в условиях неоиндустриализации	
основные функциональные зоны генерального плана	%	основные функциональные зоны генерального плана	%
основного производства	30-50	производственная	50-80
складская	15-25	логистическая	5-10
предзаводская	5-10	благоустройства и озеленения	до 30
участков движения транспорта	15	паркинга	до 25
подсобных объектов	10-30	прочего назначения	10

Табл.5. Сравнение баланса территории традиционного предприятия и ИФ

В условиях урбанизированной среды возможны **три основных варианта** расположения ИФ, в зависимости от структуры окружения.

1. Автономное размещение ИФ в мультифункциональной среде – это наиболее распространенный вариант [65; 85, С.249], для которого характерно наличие четких физических границ участка. Такой тип локации ИФ обладает рядом преимуществ как для самого предприятия [36, С.12], так и для городского района, в котором оно размещается [85, С.250-251]. Одно из них состоит в сближении рабочих кадров, производителей и потребителей. Такие объекты обладают всем набором функционально-планировочных зон и элементов генплана (см. выше), обеспечивающих автономное функционирование объекта. Таким образом, расположение ИФ в урбанизированной среде мультифункционального назначения «приведет, во-первых, к снижению интенсивности транспортных перемещений, экономии времени и сил трудящихся и, во-вторых, к возможности дисперсного размещения предприятий на территории города» [22, С.34].

Процентное соотношение основных функциональных зон участка зависит не только от специализации предприятия, но и от уровня урбанизации окружающей среды. Автономные объекты, расположенные в высокоурбанизированной среде, отличаются компактностью планировки, высокой плотностью застройки и интенсивностью использования территории, например, производственно-офисное здание «АГП e-Гласс» (AGP eGlass) (V. Oid, Перу, 2015) (см Т.II прил.4 № 51), штаб-квартира компании «Гаэс». «Интеллектуальные» производства в среде с более низкой плотностью застройки, соответственно, обладают меньшей компактностью и большей долей озеленения территорий, например станкостроительный завод «ДМГ Мори-Секи» (DMG Mori Seki) (Россия, 2015) (см Т.II прил.4 № 52) и производственно-офисное здание «Халь». При этом отличительной чертой всех объектов-представителей является «визуальная открытость» участка.

2. Вариант локации объектов на территории индустриального или научного парка предполагает более низкую плотность застройки и увеличение «открытости» территории. Четкие границы участка сохраняются, но к «визуальной открытости» может добавляться «физическая проницаемость» территории (см. ниже). Функционально-планировочная организация участков таких предприятий обеспечивает их полноценное

автономное функционирование. Соседство с научно-исследовательскими центрами и другими высокотехнологичными и инновационными производствами, позволяющее создавать взаимовыгодные партнерства, является основным преимуществом данного варианта размещения. В качестве примеров можно привести «Фабрику 2050», научно-производственный центр «БМГ МИС», производственно-офисный комплекс «МТУ Аэро» и предприятие «Нео Солар Пауэр».

3. Размещение предприятия в составе образовательного кампуса, технопарка или крупного производственного комплекса обладает рядом отличий. Такие предприятия не имеют определенных границ участка, их территории свойственна как «визуальная», так и «физическая» доступность в пределах того крупного образования, в составе которого они находятся. Функциональное наполнение примыкающей к этим объектам территории может быть не полным, а сокращенным. Например, они могут не иметь собственной зоны парковки или хозяйственной зоны, а зона благоустройства может быть представлена в редуцированном виде, так как в составе крупного комплекса уже присутствуют эти планировочные элементы в необходимом объеме. Примерами могут служить «Экспериментальная фабрика», предприятие «Гира», центр разработок в Дитцингене и производственно-исследовательское здание «Арена 2036».

На основании анализа генеральных планов рассматриваемых предприятий определены несколько позиций, отражающих **особенности современной планировочной организации территорий ИФ.**

1. Новейшим производственным объектам свойственна **визуальная и физическая «открытость» и «проницаемость» территории** [85, С.257-258]. Визуальная «открытость» заключается в возможности обозрения большей части площадки предприятия извне, при одновременном ограничении свободного доступа посторонних на участок. Эта позиция достигается при помощи «гуманизации ограждений» и специальной вертикальной планировки территории¹⁷. Искусственные перепады рельефа хорошо маркируют границы участка и/или задают направления движения, но не препятствуют визуальной «открытости». Непрозрачные ограждения имеют небольшую высоту, а высокие заборы выполняются из прозрачных материалов или сеток. Также, в качестве ограждений могут использоваться плотные полосы зеленых насаждений.

Физическая «проницаемость» предполагает наличие свободного доступа на территорию объекта. Этот аспект свойственен высокотехнологичным производственным объектам, имеющим в своем составе расширенные социальные функции (см. Г.2 п.2.1) [64, С.6-7; 130, С.36-37], и/или находящимся в структуре образовательных кампусов или технопарков. Физическая «открытость» участка интегрирует площадки ИФ в систему общегородских территорий, улучшая их визуальную, пешеходную и транспортную

¹⁷ Дмитриева, А. О. Современные тенденции архитектурной организации территории промышленных объектов / А. О. Дмитриева // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: Тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. – Т. 1 – М. : МАРХИ. – 2016. – С. 413.

связанность [85, С.257]. Таким образом, «стирается» граница между участком предприятия и городской средой – реализуется «принцип формирования пространственной границы» [83, С.10].

Компромиссным решением между визуальной «открытостью» и физической «проницаемостью» является ограждение части площадки предприятия, где нахождение посторонних небезопасно или нежелательно (зоны погрузки-разгрузки, инженерных или подсобных объектов). Такой вариант предполагает включение в композицию участка и открытых общественных пространств, и обособленных, закрытых зон, доступных только сотрудникам предприятия [36, С.7; 37, С.94].

2. Важным аспектом планировочной организации территории является стремление к **упрощению схемы движения транспорта, уменьшению протяженности транспортных путей** [85, С.211] и сокращению времени на все виды передвижений [83, С.11].

Для решения этих задач могут быть устроены несколько въездов / выездов с разных сторон участка, которые:

- обеспечивают сквозной проезд грузового транспорта по территории;
- сепарируют потоки производственного и личного транспорта как, например, на территории центра «Нео Солар Пауэр» и «МТУ Аэро»;
- отделяют грузопотоки с заготовками и сырьем от транспорта с готовой продукцией; в качестве примеров можно привести фабрику «Сирона» и сборочный завод «Модин».

Вопрос о возможности и целесообразности устройства нескольких въездов на территорию ИФ зависит от конкретной градостроительной ситуации, размеров и конфигурации участка (протяженности ограждений) [9, С.11-15].

Для упрощения движения автотранспорта по территории ИФ организуются объезды по периметру зданий, разворотные круги или сквозной проезд грузового автотранспорта через зону погрузки-разгрузки. Разделение потоков грузовых и личных автомобилей упрощает транспортную схему и функциональное зонирование территории в целом. Оптимизации транспортной схемы способствует лаконичная форма планов зданий, расположенных на территории, и максимальное блокирование всех функциональных зон в одном объеме-корпусе [104, С.8].

3. В связи с тем, что производственным предприятиям в урбанизированной среде свойственна максимальная «визуальная открытость», отмечается **высокий уровень гуманизации территории ИФ** [131, С.18]; которая включает в себя:

- озеленение, устройство искусственных водоемов и ландшафтных композиций [22, С.34];
- создание площадок для отдыха и мест для занятия спортом;
- мероприятия по обеспечению передвижения маломобильных групп населения.

Устройство внутренних хозяйственных дворов, являющееся традиционным приемом планировки промышленных предприятий, в рамках этого аспекта приобретает новую

трактовку [9, С.9; 65, С.18; 85, С.91]. Например, во внутренних дворах фабрики «ХААС», «инновационной фабрики Витгенштайн» и в штаб-квартиры компании «Дюрр Системс» (Dürr Systems) (SmithGroup, США, 2016) (см Т.II прил.4 № 57), организованы частные рекреационные зоны для сотрудников. Кроме того, внутренние дворы различных габаритов и конфигураций позволяют улучшить условия инсоляции помещений, этот аспект реализован на «Умной фабрике Трамф», в научно-производственном центре «БМГ МИС» и штаб-квартире «БОБСТ».

4. Использование традиционного приема **резервации 10-15% площади участка для последующего развития ИФ** сохраняется, так как расширение существующего предприятия является более эффективным с экономической, производственно-технологической и экологической точек зрения, чем строительство нового объекта на новой территории.

5. На всех изучаемых объектах прослеживается тенденция к максимальной компактизации планировочных решений, реализуемая через **частичную многоуровневую планировку территории**, например:

- устройство открытых или полуоткрытых паркингов под зданием;
- внесение элементов благоустройства территории в структуру объекта (внутренние дворы, озелененные кровли и террасы);
- частичное перемещение функций, характерных для территории промышленных предприятий, во внутренний объем ИФ (логистических, инженерных, энергетических и подсобных).

Помимо вышеперечисленных позиций необходимо принимать во внимание то, что проект генерального плана должен предусматривать возможные развитие и изменение планировочной организации территории, реакцию на быстрый рост предприятия и / или замедление темпов развития [22, С.23]. В зарубежной практике такой прием получил название «мягкое проектирование» (Soft Planning) [177]. Он предполагает поэтапную планировку участка, «незавершенность» проекта генерального плана с возможностью малозатратного внесения изменений в планировочные решения территории.

В целом, будущее развитие территорий ИФ видится автору в многообразии форм и приемов планировочной организации, во взаимодействии предприятий с окружающей средой, в отказе от ориентации на какие-либо жестко закрепленные схемы и образцы [85, С.257].

2.2. Передовые приемы и тенденции архитектурного формирования ИФ

2.2.1. Влияние Четвертой промышленной революции на функциональное зонирование и объемно-планировочные решения ИФ (см. Т.II прил.1 Л.2.3-2.5)

Под влиянием предпосылок, рассмотренных в первой главе, складываются передовые тенденции архитектурного формирования ИФ. Функциональное зонирование и, следовательно, объемно-планировочные решения ИФ отличаются от соответствующих решений традиционных предприятий по ряду позиций.

1. На ИФ четко прослеживается **изменение процентного соотношения основных функциональных зон**¹⁸.

Были выделены следующие основные функциональные зоны, присущие как новейшим высокотехнологичным, так и традиционным объектам:

- производственная;
- подсобно-складская;
- исследований и разработок или лабораторная;
- административно-офисная;
- санитарно-бытовая;
- социально-рекреационная;
- инженерно-техническая.

В результате определены несколько актуальных тенденций по изменению долей функциональных зон, отличающие ИФ от традиционных промпредприятий.

1.1. Одна из наиболее существенных тенденций – это **концентрация производственной зоны**, которая достигается путем более рациональной и «плотной» компоновки производственного оборудования. Построение производственных цепочек на основе принципов «бережливого производства», ГПМ (см. Г.1 п.2.2, Г.1 п.2.3) и использование мобильного оборудования позволяют отказаться от производственных транспортных систем, сократить количество и ширину проездов, частично переместить проходы в уровень, находящийся над оборудованием. Сокращение длины линейно-поточных технологических систем и переход на стендовые и групповые способы производства [129, С.32], прямая передача продукции от агрегата к агрегату дают возможность реализовать нелинейную расстановку оборудования. Использование передовых промышленных роботов, оборудованных различными датчиками и сенсорами, ведет к уменьшению расстояний от рабочей зоны робота до неподвижных конструкций, проходов или проездов [1, С.9,10]. Например, на новой роботизированной фабрике «АБВ» (АВВ) (Китай, 2020) (см Т.II прил.4 № 78) планируют полностью отказаться от защитных конструкций, что обеспечит еще большее уплотнение производственной зоны [136]. Виртуальное моделирование новейших производственных процессов, в частности в

¹⁸ Дмитриева, А. О. Функциональное зонирование и архитектурные решения современных производственных предприятий / А. О. Дмитриева, А. А. Хрусталева // Системные технологии. – 2019. – №2 (31). – С. 103-111.

области аддитивного производства, подтвердило, что площади, занимаемые оборудованием, могут быть значительно сокращены, по сравнению с традиционными технологическими системами [116].

При этом, на фоне увеличения объемов других функциональных зон, доля **зоны производства** в общей площади ИФ **уменьшится**.

1.2. Стремление к кастомизации и мелкосерийности, к отсутствию перепроизводства, совершенствование систем внешней логистики приводят к **значительному сокращению складских зон** [177, P.225]. Одновременно, современные принципы организации производственных процессов (см. Г.1 п.2.4) позволяют сократить до минимума или полностью ликвидировать места промежуточного складирования заготовок, расходных материалов и запасного инструментария.

1.3. «Прорывные технологии» обеспечивают повышение экологической безопасности производственных процессов и создают оптимальные условия для размещения групп административно-офисных помещений в непосредственной близости к производственным зонам. Расположение промышленных предприятий в урбанизированной среде делает их привлекательными для расширения офисных функций и соответствующих пространств в структуре этих объектов. Таким образом, **увеличение офисной составляющей**, в первую очередь подразделений, обеспечивающих внутреннее функционирование компании и не работающих напрямую с клиентами (back- и middle-office), становится устойчивой тенденцией на многих новейших промышленных предприятиях, в особенности на ИФ.

1.4. Роботизация и цифровизация производства ведут к изменению характера и условий труда. Санитарную характеристику производства на ИФ в полной мере нельзя отнести ни к одной из групп производственных процессов, выделяемых в нормативных документах [11; 25, С.391]. Рабочая среда производственных цехов сближается с комфортными условиями работы в офисных помещениях и научно-исследовательских отделах. При этом «прорывные технологии» снижают людоемкость производственных процессов. На традиционных машиностроительных предприятиях площадь зоны основного производства на одного человека составляет 25 кв. м [25, С.391; 65, С.16]. По результатам визуального анализа объектов-представителей, можно заключить, что на современных высокотехнологичных объектах этот показатель увеличивается до 50-100 кв. м. Такие изменения приводят к **редуцированию санитарно-бытовых зон**. Т. о, данные помещения, необходимые для обслуживания сотрудников, непосредственно занятых на производстве, на ИФ будут составлять 2-3% от площади производственной зоны.

1.5. На высокотехнологичных объектах предъявляются повышенные требования к чистоте воздуха [3], регламентируется температурно-влажностный режим помещений и освещенность рабочих поверхностей [1, С.10]. Искусственная вентиляция всех помещений и повышенный воздухообмен, кондиционирование и очистка воздуха ведут к **расширению площадей, занимаемых инженерным оборудованием**, к определенному

способу прокладки инженерных сетей и к увеличению нормальных сечений¹⁹ воздуховодов. Специализированное производственное оборудование требует дополнительного инженерного обеспечения технической водой, сжатым воздухом, газами и др. Из-за высокой степени роботизации и автоматизации технологических процессов увеличивается плотность электросетей. Для реализации цифровых и «облачных» технологий растет насыщение здания слаботочными сетями. Таким образом, можно сделать вывод, что на ИФ происходит **увеличение доли площадей инженерно-технических зон**.

1.6. В настоящее время особое внимание уделяется проектированию **расширенных общественных и социально-рекреационных помещений**, что подтвердил анализ объектов-представителей, проведенный в главе 1. Рекреационно-коммуникативные пространства способствуют созданию «осведомленности» (см. ниже) – одного из ключевых факторов, необходимых для осуществления инновационной деятельности [137, Р.3]. В ряде случаев в состав помещений ИФ включаются элементы социальной инфраструктуры, доступные не только сотрудникам предприятия, но и посетителям. Организация открытых и частично открытых зон обеспечивает привлечение потенциальных клиентов и партнеров, а также полноценную интеграцию ИФ в окружающую среду [36, С.15-16].

Вышеизложенный материал проиллюстрирован таблицей сравнения усредненных процентных соотношений площадей основных функциональных зон (табл.6):

- традиционных предприятий машиностроения [124, С.81,116];
- современных высокотехнологичных объектов-представителей;
- перспективной модели ИФ, полученных методом экстраполяции.

основные функциональные зоны	усредненное процентное соотношение		
	традиционные предприятия машиностроения	современные высокотехнологичные объекты - представители	перспективная модель ИФ
производственная	64,0	48,0	53,0
подсобно-складская	13,0	8,3	5,5
исследований и разработок	3,5	4,8	6,0
административно-офисная	8,6	17,8	17,0
санитарно-бытовая	3,8	2,7	2,5
инженерно-техническая	4,1	6,0	9,0
социально-рекреационная	3,0	10,4	7,0

Табл.6. Сравнение процентных соотношений основных функциональных зон традиционных производственных объектов и ИФ

¹⁹ Нормальное сечение – сечение объекта плоскостью, перпендикулярной к плоскости / поверхности объекта

2. Для ИФ характерна **интеграция новых функций и соответствующих им функциональных зон**, не свойственных традиционным производственным объектам.

При этом новые функции могут выступать как в качестве дополнительных, «нарастающих снаружи» и принципиально не влияющих на функциональное зонирование «ядра» промышленного предприятия, так и в качестве неотъемлемых составляющих организационной структуры и функционально-планировочного зонирования ИФ. Выбор того или иного пути внедрения новых направлений деятельности зависит от индивидуальной функционально-технологической программы каждого объекта.

Включение отдела исследований и разработок, административно-офисных (back-office) и социально-рекреационных площадей в структуру высокотехнологичных промпредприятий используется на протяжении нескольких последних десятилетий [23, С.21; 39, С.117, 156, Р.19,20]. Интеграция лабораторий, конструкторских бюро, отделов контроля качества готовой продукции необходима для непрерывного совершенствования выпускаемых изделий и поддержания конкурентоспособности производства.

2.1. Новая цифровая парадигма, сервисная экономика и тенденция к кастомизации товаров размывают границы между сферами промышленного производства и предоставления услуг. Сервисы начали интегрироваться в высокотехнологичные изделия с 1990-х гг.. Их специализация охватывала весь жизненный цикл выпускаемой продукции, начиная со службы поддержки клиентов на этапе планирования и проектирования до модернизации, предоставления программных обновлений и запасных частей, а также сервисов по возврату и утилизации изделий по окончании срока эксплуатации. [179, Р.8]. Поэтому в функциональную структуру ИФ органично включать **представительские и сервисные функциональные зоны** и подразделения, осуществляющие непосредственный контакт с клиентами (front-office): отделы продаж, ремонта и технического обслуживания, дизайн-бюро, демонстрационно-выставочные помещения и др.

Объединение производственных и общественных функций, как и сближение соответствующих им функциональных зон, является относительно новой тенденцией в области развития промышленных объектов. Ранее крупные производственные комплексы включали подобные функции только в виде отдельно стоящих зданий или блоков, пристроенных к производственным объектам. «Принципиальное отличие новых тенденций состоит в том, что эти службы тесно интегрируются с производственными, располагаются с ними в одном корпусе ... и достаточно открыты друг для друга» [85, С.270-271].

Отделы дизайна и продажи могут размещаться в непосредственной близости от зоны производства, например, отделяться от нее светопрозрачными перегородками. Участки ремонта и технического обслуживания напрямую внедряются в производственные помещения ИФ. Для успеха на рынке и продвижения выпускаемых товаров ИФ необходимо демонстрировать свои производственные возможности. Функции выставки и

демонстрации могут объединяться с зонами исследований и разработок, тестирования и производства, социально-рекреационными помещениями или выделяться в самостоятельные пространства.

2.2. В состав новейших промпредприятий постепенно входят **функциональные зоны тренинга и обучения**. Постоянная и все ускоряющаяся смена технологического оборудования (1 раз в 3-5 лет) и совершенствование организации производства формируют такое явление как «обучение длиною в жизнь» (lifelong learning). Практика непрерывного обучения, переобучения и повышения квалификации в течение всей трудовой деятельности в ближайшем будущем станет рядовым явлением. ИФ будут активно участвовать в развитии человеческого капитала и подготовке необходимых им кадров.

Полноценное «непрерывное обучение» включает в себя несколько форм [179, Р.172-174], которым должны соответствовать функциональные зоны и помещения ИФ. **Формализованное обучение** осуществляется систематически и дидактически, используется для развития методологических компетенций и передачи точных знаний. Оптимальная форма организации пространства для формализованного обучения – учебные классы или конференц-залы. **Частично формализованное обучение** происходит в учебной среде, находящейся внутри производственного пространства. Примером могут служить расположенные в зонах непосредственного производства, исследований и тестирования специальные «учебные острова» или «учебные станции». **Неформальное обучение** не структурировано и состоит в приобретении и накоплении опыта. Оно необходимо для повышения квалификации и передачи неформальных знаний коллегам. Неформальное обучение не требует ни специальных помещений, ни оборудования, оно может происходить во всех функциональных зонах, где есть благоприятные условия для межличностных коммуникаций.

2.3. Энергетические ресурсы, в особенности электроэнергия, всегда являлись важной компонентой производства [32, С.58]. Цифровизация производства, «подключенность» оборудования, сбор и обработка Больших данных обуславливают потребность не только в помещениях для соответствующего оборудования, но и в дополнительном энергопитании. Роботизация производства и автоматизация процессов эксплуатации промышленных зданий актуализируют вопросы энергетической безопасности, бесперебойного питания производства, резервного и аварийного электроснабжения при одновременном сокращении расходов на электроэнергию. Поэтому в структуру ИФ вводится **новая составляющая энергетической функции**. Она выражается в непосредственной интеграции в состав завода-корпуса помещений и мест для установки различных альтернативных высокоэффективных и компактных источников энергии (когенерационных установок, мини-био-электростанций, фотоэлектрических панелей, ветрогенераторов и др.). Вырабатывая собственную энергию, ИФ частично берут на себя роль электростанций, они могут накапливать избыточную энергию в местной энергосистеме и действовать как буфер во время энергетических пиков [150].

2.4. Неотъемлемым элементом большинства новых зданий в урбанизированной среде является многоуровневая автостоянка, располагаемая в подземной или надземной нижней зонах здания. В связи с непрерывным ростом автомобилизации населения мира в целом, и в Российской Федерации в частности, представляется целесообразным включение **зоны хранения личного автотранспорта** сотрудников в функциональный состав ИФ. Паркингами, интегрированными в структуру здания, оснащены около 10% объектов-представителей. Включение этой функциональной зоны носит рекомендательный характер, однако необходимо подчеркнуть его актуальность для объектов, располагаемых в урбанизированной среде средней и высокой плотности.

Новые функции и функциональные зоны, рассмотренные выше, могут включаться в функциональную структуру ИФ как в полном составе, так и частично.

3. Мобильность функций и мультифункциональность пространств

3.1. Во второй половине XX - начале XXI вв. в области промышленной архитектуры преобладали концепции, утверждавшие **постоянное** и **неизменное** расположение функциональных зон в структуре здания. Современные аспекты организации производственной деятельности требуют изменения этого подхода, и, благодаря новейшим технологиям, позволяют реализовать его.

Установлено, что основные направления деятельности, входящие в функциональную программу ИФ, можно разделить на имеющие **устойчивые границы** и **«плавающие» границы**. Наличие **устойчивых границ** предполагает определенное и однозначное выражение функции в соответствующих площадях объемах (помещениях) и стационарное (в течение длительного периода времени) положение в объемно-пространственной структуре объекта. К таким функциям относятся:

- производственная;
- складская;
- исследований и разработок или лабораторная;
- инженерно-техническая;
- санитарно-бытовая.

Одним из отличительных свойств современного производства является его адаптируемость к различного рода изменениям, для этого одни функциональные зоны должны иметь возможность расширяться, а другие, наоборот, сокращаться. Благодаря внедрению новейших технологий, ряд функций, ранее являвшихся стационарными, приобретают возможность перемещения в границах предприятия. Функциональные зоны становятся более **мобильными**. Появляются функции с **«плавающими» границами**, которые перестают соответствовать жестко определенному местоположению, площади и объему, например:

- сервисная (ремонтные, демонстративно-выставочные, дилерские и др.);
- социально-рекреационная;
- тренинга и обучения.

Особенности мобильных функций и «плавающих» функциональных зон должны быть учтены в объемно-планировочной структуре зданий ИФ. На практике эти аспекты реализуются при помощи (подробно см Г.2 п.3.2-3.3):

- различных встроенных и сборно-разборных конструкций, выполненных из компонентов высокой степени заводской готовности [17, С.338; 124, С.273-274];
- мобильных капсул – объемных блоков небольшой площади, имеющих встроенное инженерное оборудование, подключаемое к общим инженерным сетям, и способных перемещаться во внутреннем пространстве ИФ;
- проектирования помещений мультифункционального назначения (см ниже).

Примером внедрения этих приемов является здание фабрики по производству полимерных изделий «ИГУС». Сборно-разборные этажерки из металлоконструкций организуют складскую зону, позволяя не только эффективно использовать весь отведенный под эту функцию объем, но и варьировать его по мере необходимости. Офисные капсулы снабжены воздушными подушками и могут быть передвинуты на любое место в течение пары нерабочих дней²⁰.

3.2. Наличие «плавающих» функций обуславливает необходимость проектирования **мультифункциональных пространств** и гибких структур. Например, «если использовать участки предприятия для нескольких функций в течение рабочего дня, то тем самым можно сократить территорию и увеличить плотность застройки» [85, С.171]. Применение гибкого зонирования дает экономию площади застройки и внутреннего пространства объекта до 20-30% [78, С.27]. Предполагается, что, в зависимости от сценария эксплуатации, один и тот же объем может вмещать в себя разные функции с «плавающими» границами:

- одновременно, когда разные функции в едином воздушном пространстве могут занимать разные уровни по высоте [64, С.6] и не иметь границ;
- циклично – по очереди, в течение рабочего дня, рабочей недели;
- не периодически – по очереди, без заранее заданных повторяющихся интервалов.

Часто коммуникационные пространства одновременно являются и рекреационными зонами, например, в штаб-квартире компании «ЦМР Сёрджикал», которая занимается производством роботизированных хирургических систем, в центре коммуникационного коридора установлен скалодром – место для занятий спортом. Производственная зона или центр исследований и разработок могут одновременно являться и демонстрационным залом [153, Р.25]. Смотровые мостики и галереи, которые обычно служат для наблюдения и контроля за производством, могут использоваться для демонстрации производственного оборудования посетителям. Этот принцип реализован на «умной фабрике Трамф». А в центре разработок в Дитцингене корпоративная столовая в не

²⁰ Дмитриева, А. О. Принципы объемно-планировочной организации новейших производственных объектов / А. О. Дмитриева – Текст : электронный // АМІТ : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2019. – №2 (47). – С. 135-149. – URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/2kvart19/PDF/09_dmitrieva.pdf.

обеденное время используется для проведения деловых встреч, собраний и переговоров [177].

Таким образом, можно сделать вывод, что на ИФ существуют следующие тенденции:

- ряд функций перестает соответствовать конкретным физическим объемам;
- в перспективе число «плавающих» функций и степень их подвижности будут только увеличиваться.

4. Усложнение объемного функционального зонирования обуславливается тремя предыдущими позициями. Расширение функциональной программы требует перехода от плоскостного (горизонтального и вертикального) к пространственному зонированию объекта в целом.

Традиционно «внутреннее пространство зонировано по вертикали и горизонтали. Горизонтальное зонирование включает выделение зоны основного производства, зоны обеспечения производства, зоны складов и зоны обслуживания рабочих. Все эти зоны размещаются параллельно друг другу вдоль или поперек здания (продольное или поперечное горизонтальное зонирование)» [85, С.104-105]. Вертикальное зонирование производственных объектов заключается в выделении нескольких уровней в пределах одного этажа. На нижнем уровне располагаются системы сбора и очистки отходов, складские, бытовые и другие вспомогательно-технические площади. Верхний уровень служит для размещения инженерного оборудования, трассировки различных коммуникаций [85, С.105]. В ряде случаев, когда горизонтальные несущие конструкции имеют большую высоту рабочего сечения (2,4 – 3 м) в уровне конструкции покрытия / перекрытия возможно устройство антресолей для вспомогательных производственных процессов, складов или бытовых помещений. [82, С.21]. Примерами традиционных способов **линейного зонирования** и расположения функциональных зон относительно друг друга могут служить производственно-офисный комплекс «МТУ Аэро», производственный цех в Хаттингене и завод «ДМГ Мори-Секи».

Для зданий смешанной этажности, с расположением производства в одном уровне, более предпочтителен **«дискретный» способ организации и зонирования** внутреннего пространства. При помощи дискретного объема внутреннее пространство делится на «производственную» и «непроизводственную» части. К «производственной» части можно отнести зоны основного и подсобного производства, складов, лабораторий, исследований и разработок, а также инженерно-технических помещений. В «непроизводственной» располагаются административно-офисные, санитарно-бытовые и социально-рекреационные помещения, а также часть сервисных функций. Дискретный объем может быть расширен до многоуровневого коммуникационно-рекреационного пространства или, наоборот, редуцирован до коридора минимально необходимой ширины. Прием «дискретного» зонирования реализован в центре разработок в Дитцингене, производственно-офисном здании фирмы «Филипп Хафнер», здании фабрики «Сирона», производственно-офисном здании «Халь» и др..

Увеличение числа функциональных зон и интенсификация связей между этими зонами приводит к усложнению зонирования пространства ИФ. Осуществляется переход от линейного (продольного или поперечного) к **«ядровому» зонированию**, и переход от вертикального зонирования в пределах этажа / пары этажей (с последующим тиражированием) к комплексному вертикальному зонированию многоэтажного производственного объекта.

Зонирование организуется вокруг «ядра» – центрального пространства, которое занимает одна из основных функциональных зон. В качестве центральной функции может быть выделена зона производства, отдел исследований и разработок или социально-рекреационное и коммуникационное пространство. По периметру, как правило, располагаются административно-офисные, санитарно-бытовые, подсобно-технические, а также частично научно-исследовательские и социально-рекреационные зоны. Целостное «ядровое» зонирование также предполагает сосредоточение в нижнем уровне многоэтажного объекта тех функциональных зон, которые чаще других коммуницируют с внешними субъектами (например, складская и сервисные зоны), в верхнем уровне – зон, которые, для нормального функционирования не нуждаются в активных внешних контактах с (например, инженерно-технические зоны и помещения исследований и разработок). «Ядровой» способ зонирования использован в здании фабрики «Зенхейсер электроник», научно-производственном центре «БМГ МИС» и «центре новейшего производства», в проекте центра «передовых способов производства» (Advanced Manufacturing Centre) (арх. бюро HASSELL, Австралия, 2010) (см Т. II прил. 4 № 24). Частично его наличие прослеживается в таких объектах как фабрики «ХАВЕ» и «ХААС», центр «Нео Солар Пауэр», а также завод «Хевел солар» и «фабрика 2050». «Ядровое» зонирование актуально для одноэтажных и многоэтажных зданий, а также объектов смешанной этажности. При этом, «ядровое» зонирование многоэтажных ИФ не исключает возможность дополнительного выделения нескольких функциональных уровней в пределах одного этажа.

Реализация предложенного способа «ядрового» зонирования обеспечивает наиболее взаимосвязанное и коммуникативное сосуществование функций, что особенно важно в условиях значительного расширения функциональных программ ИФ.

Объемно-планировочное решение ИФ формируется исходя из стремления к максимальной компактности и «устойчивости», создания эффективного функционирования, и обеспечения возможности адаптации к будущим изменениям.

1. Существенным критерием рациональности объемно-планировочных решений зданий ИФ выступает их **компактность** [85, С.168]. Применение компактных планировочных схем и сокращение общей площади промышленных объектов вызвано отсутствием больших свободных территорий и участков удобной конфигурации, ростом цен на недвижимость и стремлением к сокращению эксплуатационных расходов.

Компактность объемно-планировочных решений способствует значительному снижению затрат на строительство и эксплуатацию здания путем уменьшения площадей

ограждающих конструкций, сокращения длины транспортных коммуникаций и сетей различного назначения [80, С.10,75; 124, С.138]; а также не препятствует эффективной реализации видов функционального зонирования ИФ, рассмотренных выше.

К приемам компактизации и рационального использования площадей и объемов производственных зданий относятся²¹:

- прием сплошной планировки (см ниже);
- блокирование объемов разного функционального назначения, различных высоты и этажности с подведением верха последних этажей под одну высотную отметку;
- переход на формы планов ИФ, которые близки к квадрату – отказ от протяженных и узких конфигураций;
- расположение непроизводственных помещений по периметру здания, в промежутках между колоннами основного каркаса, с примыканием к наружным ограждающим конструкциям;
- устройство автоматизированных высотных складов, полностью и эффективно занимающих весь выделенный для этой функции объем и одновременно выполняющих транспортные функции;
- устройство антресолей в уровне конструкций покрытия и встройка помещений подсобного назначения в верхнюю неиспользуемую зону производственных пространств (например, над проездами и участками с малогабаритным оборудованием);

С тенденциями к компактизации объектов ИФ согласуется гуманистический подход к расчету площади производственных объектов. Ранее было установлено, что общее число сотрудников около 300 человек является оптимальным для установления личных контактов и дружеских связей в коллективе [150, Р.52]. То есть, промышленные объекты средней и малой мощности и физических объемов являются и наиболее комфортными для персонала, и, следовательно, наиболее эффективными. Кроме того, статистика показывает, что за последние несколько десятилетий в странах СНГ занятость населения на предприятиях с числом сотрудников более 500 человек уменьшилась на 5%, в то время как на объектах с числом работающих до 500 человек она увеличилась на 39%, [85, С.249-250]. При этом, в урбанизированной среде «бесконфликтным» и рациональными считается размещение производственных предприятий с численностью сотрудников от 200 до 500 человек [65, С.13-17].

Исходя из сути гуманистического подхода и усредненных данных о количестве кв. м площади различных функциональных зон на одного работника [170, Р.283], а также о их процентном соотношении автором произведен расчет размеров максимальной и минимальной рекомендуемых площадей ИФ (см Т.II прил.5). В результате установлено, что площадь ИФ при размещении в урбанизированной среде должна находиться в границах от 9 до 23 тыс. м кв. (оптимальная – 13,7 тыс. кв. м). При этом следует

²¹ Дмитриева, А. О. Принципы объемно-планировочной организации новейших производственных объектов / А. О. Дмитриева – Текст : электронный // АМІТ : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2019. – №2 (47). – С. 135-149. – URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/2kvart19/PDF/09_dmitrieva.pdf.

учитывать, что общая площадь производственного объекта в первую очередь определяется его мощностью, задаваемой в ТЗ на проектирование, поэтому гуманистический подход, ограничивающий площадь ИФ, может носить индикативный характер. Полученные рекомендуемые значения согласуются с рядом эксплуатационных расчетов наиболее рациональной площади промышленных зданий. Этот диапазон также соответствует границам, в которых целесообразно решать производственные объекты в виде единого объема завода-корпуса (до 30 тыс. кв. м). Если площадь производственных объектов выходит за показатель в 30-35 тыс. кв. м, они теряют компактность; возникает ряд затруднений при организации естественного освещения, трассировке транспортных и инженерных коммуникаций [80, С.57]. А при необходимости одновременного возведения объекта (то есть, строительства в одну очередь) целесообразно устанавливать ограничение максимальной площади ИФ в 15 тыс. м кв. [54, С.13].

Исследования Ю. Н. Хромеца показали, что проектировать производственные здания, в том числе здания ИФ, площадью менее восьми-девятой тыс. кв. м не рационально, так как при увеличении площади здания заметно снижаются удельные расходы на его строительство и эксплуатацию (в первую очередь на отопление). Например, при увеличении площади объекта с 9 до 23 тыс. м кв. затраты на эксплуатацию снижаются на 6%, а стоимость строительства – на 14,7%. В то время как для производственных зданий площадью менее восьми тысяч кв. м эксплуатационные расходы возрастают на 10%, а затраты на строительство – почти в 1,5 раза [124, С.64-67].

2. В условиях сложившейся застройки не менее важным аспектом становится **повышение этажности ИФ** и развитие вертикальной компоновки всех функциональных зон. Изменения характера и способов организации производства на ИФ (см Г.1 п.2.3) нивелирует традиционные недостатки размещения производств в многоэтажных зданиях. При этом вертикальные технологические коммуникации осуществляются при помощи грузовых лифтов, подъемников, пандусов, вынесенных за объем производственной зоны, и автоматизированных высотных складов.

Кроме того, при строительстве многоэтажных промышленных объектов уменьшается площадь застройки и снижается стоимость строительства (в среднем на 10%), сокращается протяженность транспортных и инженерно-технических коммуникаций, уменьшаются эксплуатационные расходы на кондиционирование и отопление [85, С.117; 133, С.137]. «Многоэтажные здания имеют бóльшие архитектурно-художественные возможности. Их объем, силуэт, крупный масштаб деталей всегда выделяют подобные строения в городской среде, контрастно оттеняя окружающую общественную и жилую застройку» [85, С.117].

Исходя из максимального количества этажей объектов-представителей и экстраполяции тенденции к повышению этажности промышленных объектов, на ИФ можно считать рациональной высоту многоэтажной производственной зоны четыре-шесть этажей. В таком случае объем вертикальных коммуникаций не будет превышать 10-15% от общей площади этажа [87, С.16].

В результате комплексных исследований, проводимых в 1980-х гг., было установлено, что для размещения ряда высокотехнологичных отраслей промышленности широкие (48-72 м) многоэтажные производственные объекты обладают определенными преимуществами, по сравнению с узкими (18-24 м) [54, С.12-14]. Сопоставление экономических показателей широких и узких многоэтажных зданий выявило снижение единовременных затрат при строительстве, а также расходов при эксплуатации.

Широкорпусные промышленные здания больше соответствуют потребностям ИФ – в них модификация производственной технологии, реконструкция или перепланировка, замена оборудования и изменение его конфигурации осуществляются быстрее и с меньшими затратами. Также упрощается создание термостойких и чистых помещений с повышенными требованиями к температурно-влажностному режиму и чистоте воздуха. Для их устройства оптимально подходит центральная часть широкого корпуса, максимально удаленная от окружающей среды. При увеличении ширины многоэтажного здания с 18 до 72 м площадь, требуемая для расстановки оборудования, сокращается на 20%, кроме того уменьшается стоимость строительства и протяженность внутрикорпусных транспортных и инженерных сетей. В среднем на 35% снижается материалоемкость и расходы на поддержание нормального микроклимата. Суммарно, единовременные затраты могут быть сокращены на 40%, а эксплуатационные на 30% [54, С.14].

Так как на высокотехнологичных производствах, практически невозможно получить нормируемые показатели освещенности (от 400 до 750 КЕО) с использованием только естественного освещения, в широких многоэтажных корпусах следует предусматривать смешанное освещение с преобладанием искусственного, а также различные эффективные архитектурные решения, повышающие естественную освещенность в глубине помещений (см. Г.2 п.3.4).

3. Для организационной системы ИФ характерна сетевая структура с превалированием горизонтальной иерархии управления²². Одним из показателей эффективности «интеллектуального» производства являются плотность и интенсивность деловых коммуникаций и неформального общения [179, Р.42-43]. При этом особое значение приобретают: прозрачные, гибкие вертикальные и горизонтальные связи, свободный доступ к информационным потокам, межличностное взаимодействие, индивидуальная и коллективная ответственность, а также всеобщая заинтересованность в успехе предприятия [36, С.15].

Важным приемом объемно-планировочного решения ИФ является создание **осведомленности (awareness)** [137, Р.94-96,114] – вовлечение в производственный процесс и информированность всех сотрудников предприятия обо всех новациях и

²² Горизонтальная иерархия управления – децентрализованная, гибкая и оперативная координация действий отдельных единиц (сотрудники) и соответствующих функциональных подразделений в ходе исполнения общих задач, предоставляющая большую свободу действия на операционном уровне, без промежуточных ступеней контроля между исполнителем и руководителем.

изменениях, происходящих на предприятии. «Осведомленность» предполагает, что при проектировании рабочего пространства особое внимание уделяется формированию условий для создания и поддержания коммуникаций в его объеме. Наиболее рациональными считаются такие помещения, которые и обеспечивают возможность индивидуальной деятельности, и стимулируют командную работу [174, Р.18].

«Осведомленность» осуществляется при помощи различных архитектурно-планировочных решений, а также некоторых локальных средств организации пространства. Она создается в зальных, открытых помещениях с хорошими акустическими свойствами (шумопоглощением и звукоизоляцией), с возможностью индивидуального регулирования параметров микроклимата. Еще один подход, обеспечивающий бесконфликтное и комфортное сосуществование коллективной и индивидуальной работы, – это комбинирование открытых и закрытых пространств [36, С.9]. Другой прием состоит в непосредственном сближении основных функциональных зон – сокращении дистанции между производственным, научно-исследовательским, административно-офисным и сервисным отделами. Он осуществляется, главным образом, путем применения сплошной планировки [80, С.10,57] – объединения в одном здании всех подразделений предприятия, которые традиционно размещались в самостоятельных корпусах и связывались между собой через наружное пространство или посредством крытых галерей-переходов. Еще один способ увеличения «осведомленности» – создание визуального контакта между разными отделами, который осуществляется путем установки светопрозрачных перегородок и панорамного остекления. Наиболее показательными примерами могут служить сборочный завод «Модин», штаб-квартира «ГИРА», производственно-исследовательское здание «Арена 2036». Также бóльшая «осведомленность» может быть достигнута путем использования архитектурных элементов, обеспечивающих безопасный и информативный обзор производственной зоны – пешеходных мостиков, галерей и площадок.

Очевидно что, чем больше площадь объекта, тем сложнее осуществлять коммуникации между различными отделами и функциональными зонами. Поэтому, «осведомленность» является объемно-планировочным приемом организации пространства ИФ тесно связанным с компактностью.

С понятием «осведомленности» сопряжено поддержание коммуникативности среды на ИФ. Коммуникативность может создаваться при помощи:

- «центров притяжения» – комфортных и эстетически привлекательных мест ежедневного кратковременного посещения большинством сотрудников компании (зоны приема пищи, пространства для отдыха и занятий спортом);

- «ядровых» или «осевых» коммуникационных пространств на стыке нескольких функциональных зон [36, С.9], где реализуется специальный прием «пересечения потоков», например, проектирование единой входной группы для сотрудников занятых в разных производственных зонах и посетителей предприятия.

«Интеграция всех имеющихся на предприятии служб и помещений приводит к сближению производственного и управленческого труда. Развитие автоматизированных и высокотехнологизированных средств делает сам производственный процесс достаточно чистым. Внедрение новых форм организации труда (замена конвейера работой на стендах небольшим коллективом людей) повышает творческие и интеллектуальные составляющие труда. Нивелирование границ между производственным и управленческим трудом всячески подчеркивается при проектировании современных, действительно передовых предприятий» [85, С.272-273]. Описанные выше приемы функционального зонирования, обеспечения компактности и «осведомленности» особенно важны для организации инновационной деятельности и высокотехнологичного производства на ИФ.

2.2.2. Наиболее рациональные конструктивные и инженерные решения предприятий (см. Т.II прил.1 Л.2.6-2.7)

Грамотные функциональное зонирование и объемно-планировочные решения являются залогом для эффективного функционирования предприятий и основанием для выбора конструктивной системы и инженерных решений. Определение наиболее рациональных конструктивных и инженерных решений заключается в выборе типа конструктивной системы, ее наиболее подходящих параметров, способа и места прокладки инженерных сетей, размещения инженерного оборудования.

В целом при проектировании ИФ сохраняются традиционные конструктивные и инженерные решения.

Так как конструктивная система здания является наиболее сложноизменяемой составляющей и сохраняется в первоначальном виде с момента возведения до этапа трансформации или демонтажа объекта, то от выбора ее типа и наиболее рациональных ее параметров зависит продолжительность нормальной эксплуатации и экономическая эффективность функционирования ИФ.

На основе изучения объектов-представителей (см. Г.1 п.3.2) было установлено, что оптимальной несущей системой для ИФ является **каркасная конструктивная система**.

По сравнению с другими конструктивными системами, элементы каркасной системы занимают значительно меньший объем от общего объема здания. Она в полной мере соответствует концепции сосредоточения строительных материалов с высокими прочностными показателями в частях, отвечающих за устойчивость объекта. Также, для каркасной системы характерно использование сборных элементов заводской готовности, что значительно снижает сроки и стоимость строительства [89, С.98]. Рассредоточенность вертикальных несущих элементов в плане обеспечивает свободную планировку внутреннего пространства, большую независимость планировочных решений и большую

свободу в выборе видов и конфигураций ограждающих конструкций. Поэтому каркасная конструктивная система лучше других адаптируется к архитектурно-композиционным и объемно-планировочным решениям ИФ – предприятий, обладающих высокой гибкостью и изменяемостью не только производственных систем, но и всей функциональной структуры.

Из трех существующих типов конструктивных каркасных систем (пролетный, зальный, ячейковый) для зданий ИФ с одноэтажной производственной зоной наиболее подходящими являются зальный и ячейковый, а для зданий ИФ с многоэтажной зоной производства – ячейковый тип каркасной системы [85, С.120].

В условиях высокой гибкости, трансформируемости и мобильности производства на ИФ целесообразно предусматривать возможность размещения производственных потоков в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Этой особенности современного «умного» производства в наибольшей степени соответствует конструктивная каркасная система ячейкового типа, которая позволяет создавать внутри здания легко перестраиваемые и гибкие пространства [85, С.103]. Квадратная в плане сетка колонн «позволяет формировать здания с разнообразными очертаниями плана, допускает расширение площади здания без нарушения его конструктивного единства» и в целом обеспечивает большую вариабельность архитектурно-композиционных решений производственных объектов [133, С.19].

На выбор рациональной сетки колонн и высоты помещений прежде всего, оказывают влияние технологические требования производства, и только потом – экономические факторы. Ряд исследований, проведенных отечественными учеными во второй половине – конце XX в., доказывает целесообразность отказа от мелкой сетки колонн [54; 55; 67, С.11; 72, С.82-83; 93, С.21; 103; 133]. Так, например, переход от сеток колонн с габаритами 6х6 м, 6х9 м, 6х12 м, 9х9 м и 9х12 м к сетке колонн с расстояниями в осях колонн ≥ 12 м обеспечивает следующие преимущества:

- экономию производственной площади до 11%, за счет более рациональной и вариабельной расстановки производственного оборудования;
- возможность более эффективного использования непромышленных площадей здания в среднем на 4-7%;
- уменьшение стоимости строительства на 4-6%;
- снижение затрат на эксплуатацию на 2-15%;
- сокращение длины технологических линий и грузопотоков на 4-18%.

Основываясь на ряде отечественных и зарубежных исследований [54; 55; 93, С.27; 126; 133; 179], можно сделать вывод, что оптимальными строительными параметрами, отвечающими требованиям большинства одноэтажных производственных объектов, обладают квадратные в плане сетки, с расстоянием между осями колонн от 18 м до 25 м [54, С.15; 93, С.19,21-23]. В многоэтажных производственных зданиях это расстояние может быть сокращено до 12 или 15 м. Квадратные сетки колонн с параметрами 12х12 м (для многоэтажных зданий), 18х18 м и 24х24 м являются наиболее эффективными с точки

зрения технологической целесообразности и технико-экономических показателей [93, С.21]. При этом рациональная высота внутренних пространств «в чистоте» может варьироваться в зависимости от специфики производства, в среднем она составляет от 6,0 до 8,4 м.

Дальнейшее укрупнение габаритов сеток колонн приводит к незначительному расширению полезной площади, при существенном увеличении рабочих сечений конструктивных элементов, перерасходе материала и росте стоимости строительства. При этом возникают сложности с трассировкой инженерных коммуникаций [93, С.19]. Одновременно, перспективы эволюции промышленного оборудования в сторону уменьшения его размеров, сокращение длины технологических цепочек и отказ от подвешеного подъемно-транспортного оборудования обуславливают нецелесообразность дальнейшего увеличения высот помещений и габаритов сеток колонн. Таким образом, прием укрупнения сетки колонн предполагает увеличение ее габаритов только до рациональных значений.

Для инновационных производственных зданий характерным является недифференцированный подход к выбору строительных габаритов, когда в границах всего здания и нескольких функциональных зон по возможности назначаются одинаковые сетки колонн, общие высоты и другие параметры. В соответствии с выявленной тенденцией вхождения одной функциональной зоны в другую, внутри основной конструктивной системы могут возникать меньшие по габаритам несущие конструкции («конструктивные подсистемы»), например сборно-разборные встройки-этажерки и промежуточные подвесные перекрытия. В качестве примера можно привести здание фабрики «Витра», где складские объемы значительно увеличены за счет встроенных стеллажных конструкций (другие примеры см Г.2 п3.3).

Так как современное производственное оборудование становится более мобильным, в зданиях ИФ представляется целесообразным не использовать индивидуальные фундаменты для установки производственных агрегатов, а проектировать перекрытия с несущей способностью не менее 10 кН/м^2 по всей его площади [52, С.37; 103, С.216; 133, С.11].

Ряд требований и организационных принципов новейших высокотехнологичных производств и стремление к улучшению условий труда приводят к увеличению объема **инженерного оборудования и соответствующих сетей**. Например, на ИФ повышенные требования к чистоте воздуха, температурно-влажностным показателям, увеличенный воздухообмен способствуют росту объема установок искусственной вентиляции и охлаждения. В связи с высокой степенью автоматизации и цифровизации не только производственных процессов, но и всего здания ИФ, растет плотность электросетей, слаботочных сетей и информационно-коммуникационных потоков, повышается универсальность их разводки. Рациональное размещение инженерного оборудования сокращает протяженность сетей и энергетические потери при транспортировке, увеличивает гибкость и трансформируемость внутреннего пространства.

Все инженерные системы и соответствующее оборудование ИФ можно разделить на две группы, одна из которых отвечает за жизнеобеспечение и эксплуатацию здания, а другая – за функционирование производства [170, Р.321]. В первую группу входят системы:

- вентиляции, отопления и кондиционирования;
- водоснабжения и канализации;
- освещения;
- слаботочные системы коммуникации, сигнализации и мониторинга;
- пожаротушения.

Во вторую – системы:

- энергообеспечения;
- подачи пара, сжатого воздуха и других газов;
- технического водопровода и водоотведения;
- слабых токов.

Ввиду того, что одни инженерные системы используются постоянно и повсеместно (например, электросети и слаботочные сети), а применение других ограничено, для каждой из групп целесообразно проектировать свой способ и место установки инженерного оборудования и трассировки сетей.

С точки зрения вариативности и мобильности более предпочтительно децентрализованное размещение инженерного оборудования [179, Р.284] и автономное инженерное обеспечение отдельных планировочных зон. Это дает возможность локального внесения изменений, частичного отключения оборудования с минимальными воздействиями на производственный процесс. При этом сокращается протяженность инженерных коммуникаций и обеспечивается более гибкое расширение распределительной сети – переменное подключение или переподключение производственного оборудования к любой из ближайших децентрализованных сетей [170, Р.321].

Современное инженерное оборудование требует замены в среднем раз в 10 лет, поэтому место и способ его размещения должны предусматривать возможность демонтажа устаревших и установки новых агрегатов. Вынесение инженерно-технических помещений за пределы общего объема положительно сказывается на гибкости внутреннего пространства ИФ. Например, модульные решения инженерного оборудования, основанные на концепции «доставляй и подключай» («ship and plug-in»), представляют собой мобильные блоки с готовыми к использованию агрегатами определенной мощности [33]. В соответствии с техническими требованиями конкретной ИФ определяется необходимый комплект таких модулей, которые подключаются друг к другу и к магистральным сетям и образуют готовые к работе системы. Такие решения ускоряют введение здания в эксплуатацию, не требуют дополнительных мероприятий по шумопоглощению, пожарной безопасности и защите от вибраций [179, Р.285-286].

Магистральную разводку коммуникаций, отвечающих за эксплуатацию, оптимально осуществлять выше уровня рабочей зоны и в границах конструкций перекрытия / покрытия [133, С.21]. При прокладке инженерных сетей открытым способом (без шахт и коробов) легче производятся их осмотр, ремонт, замена и модификация [93, С.44; 127, С.93; 170, Р.325].

Магистральные инженерные сети, связанные с производством, целесообразно совмещать с вертикальными элементами несущего каркаса. Если колонны и стойки выполняются из сборных металлических элементов и имеют решетчатое (коробчатое) сечение, магистральные трубо- и воздухопроводы могут быть встроены внутрь каркаса [162]. В многоэтажных производственных зданиях также возможна трассировка магистральных сетей, питающих оборудование вышележащего этажа, под потолком или в уровне конструкций перекрытия нижележащего этажа. Эти варианты трассировки позволяют максимально освободить рабочую зону помещений от элементов магистральных инженерных сетей. Подключение оборудования чаще всего осуществляется снизу, поэтому непосредственную подводку инженерных сетей следует размещать ниже рабочей зоны, в каналах в полу или выше уровня пола при помощи гибких кабеле- и трубопроводов. При этом должна соблюдаться определенная плотность и модульность разводки [55, С.22-23], чтобы дать возможность легкого и быстрого подключения и переподключения агрегатов в любой точке производственной зоны, в случае необходимости. Эффективным решением является использование модуля разводки инженерных сетей, равного или кратного габаритам сетки колонн, применяемой на объекте. Оно обеспечивает достаточные трансформируемость и универсальность пространства.

Относительно новой составляющей инженерного обеспечения являются **информационные и цифровые системы**. Как отмечалось выше, на ИФ они приобретают большую значимость [170, Р.365-372], включая в себя не только программное обеспечение для планирования и контроля всех производственных и эксплуатационных показателей, но и соответствующее оборудование для сбора, передачи (в том числе и беспроводной), обработки, хранения и презентации данных. Многочисленные датчики, мониторы и индикаторы, маршрутизаторы, сервера и вычислительные устройства, а также персональные компьютеры, лэптопы и многое другое составляют значительную часть всего инженерно-цифрового обеспечения здания. Помещения для серверных и ЦОД (ЦХОД) требуют особых условий по обеспечению контроля доступа, пожарной безопасности и защиты от вибраций. Кроме того, серверные стойки, средства хранения данных и компьютерные системы потребляют большое количество энергии и нуждаются в бесперебойном питании, при этом выделяют значительное количество теплоты и требуют постоянного охлаждения. Поэтому, при централизованной системе инженерного обеспечения, их целесообразно размещать рядом с установками кондиционирования и вентиляции и снабжать резервными источниками бесперебойного питания. А при децентрализованной системе – размещать в нижнем этаже, цоколе или подвале, обеспечивая их индивидуальной охлаждающей установкой.

2.3. Основные позиции «устойчивой архитектуры» при проектировании современных промышленных объектов

2.3.1. Использование цифровых технологий при проектировании ИФ (см. Т.II прил.1 Л.2.8)

В современном развитом обществе, осознающем ответственность перед будущими поколениями и окружающей средой, важнейшей стратегией его существования является **устойчивое развитие**. Это «процесс экономических и социальных изменений, при котором природные ресурсы, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений» [119].

В 2009 году Международным Союзом Архитекторов была сформулирована и принята программа «устойчивой архитектуры» (Копенгагенская декларация или «устойчивость по проекту») – концепция развития архитектуры в рамках стратегии устойчивого развития [70]. Соответственно, **«устойчивая архитектура»** – это архитектура, в программу которой заложены согласованность и взаимосвязь объемно-планировочных, функциональных, социально-экономических, инженерно-технологических и экологических требований, а также эстетических позиций автора, основанных на принципах устойчивого развития [59]. Степень и полнота реализации этих требований могут определяться при помощи различных рейтинговых систем оценки «устойчивости» среды обитания.

Ключевыми аспектами стратегии «устойчивой архитектуры» являются:

- активное вовлечение в процесс проектирования всех участников проекта, начиная с самых ранних стадий;
- получение наиболее полной информации о будущей эксплуатации здания и ее комплексный анализ;
- проектирование всех стадий жизненного цикла здания (в том числе их временной протяженности) с минимизацией затрат на наиболее ресурсоемких и энергоемких этапах.

Для реализации этих аспектов применяется новый подход к проектированию, основанный на **передовых цифровых и информационных технологиях**.

Информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM) – это такой подход к проектированию, строительству, эксплуатации, ремонту и даже деконструкции и реновации здания, который предполагает создание единой цифровой модели, содержащей все архитектурные, конструктивные, технологические и инженерные, экономические и прочие данные об объекте со всеми их взаимосвязями и

зависимостями [62]. В рамках BIM-проектирования здание и всё, что с ним связано, трактуется как целостный объект.

Информационное моделирование и проектирование – это особенно важный инструмент при формировании архитектуры ИФ и других современных промышленных зданий. С увеличением объема инженерного оборудования, плотности инженерных сетей, усложнением технологий производства возрастает вероятность возникновения коллизий, в то время как объемная визуализация проектных решений помогает их выявлению.

«Цифровые двойники», полноценные цифровые модели существующих и будущих заводов и фабрик, позволяют быстрее и точнее вносить изменения как в проектные решения, так и в уже реализованные объекты. Создание «цифровых двойников» ИФ имеет большое значение для их эффективной эксплуатации. Возможность предварительной визуализации объемно-планировочных проектных решений, виртуальная проверка интеграции всех компонентов архитектурно-строительной структуры и производственного оборудования, являются важными преимуществами «цифровых двойников» [141, Р.13; 156, Р.41]. BIM-технологии позволяют консолидировать все внешние (природно-климатические и антропогенные) и внутренние (функционально-технологические) факторы и выполнить анализ производительности ИФ при различных сценариях эксплуатации²³.

«Устойчивая архитектура», как проектная установка, требует использования «умных» технологий при проектировании, привлечения исследовательских, аналитических и оценочных процессов, основанных на BIM-технологиях, в традиционные способы формирования архитектуры промпредприятий [58, С.21].

Широкое использование BIM-моделирования зданий на всех стадиях проектирования способствует созданию гибких объемно-планировочных решений – еще одной составляющей стратегии «устойчивой архитектуры» [98]. В целом интеграция современных информационных и цифровых технологий в процессы проектирование повышает качество выпускаемой документации и сокращает сроки реализации ряда этапов жизненного цикла ИФ.

²³ Дмитриева, А. О. Архитектурные аспекты проектирования «фабрик будущего» / А. О. Дмитриева // Материалы научной конференции «Актуальные проблемы современной архитектуры, градостроительства и дизайна» в рамках XXVIII Международного смотра-конкурса лучших выпускных квалификационных работ по архитектуре, дизайну и искусству (06 – 13 октября 2019 г.): сборник трудов. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2019. – С. 125-129. С.126

2.3.2. Приемы увеличения гибкости и адаптивности внутреннего пространства производственных объектов (см. Т.II прил.1 Л.2.9)

В условиях сложнопрогнозируемого развития науки и технологий, важным показателем «устойчивости» служит гибкость и адаптивность внутреннего пространства ИФ под изменяющиеся производственные нужды, новые технологии и оборудование или инженерные системы. Через каждые три-пять лет меняются производственные технологии и агрегаты, через 10-15 лет – инженерные установки и сети. В связи с этим возникает необходимость в организации гибких и адаптивных пространств, готовых отвечать возможным трансформациям технологического процесса, перепрофилированию производства и даже смене основного направления деятельности предприятия [33, С.18; 52, С.107; 85, С.264-265; 89, С.171; 100]. Увеличение гибкости позволяет продлить срок эксплуатации здания без внесения кардинальных изменений в его объемно-планировочное решение и конструктивную систему.

Все элементы, составляющие структуру здания, можно разделить на неизменяемые и изменяемые [71, С.20]. К первой категории относятся несущие конструкции – фундаменты, вертикальные несущие конструкции, перекрытия, вертикальные коммуникации (лифтовые и лестничные узлы). Ко второй – элементы, не требующие существенных экономических и временных затрат на их преобразование. К ним можно отнести перегородки и ограждающие конструкции из легких строительных материалов и сборных компонентов заводского изготовления, инженерные коммуникации, проложенные открытым способом, разборные встройки-этажерки²⁴. В целом, гибкость и адаптивность возрастают при максимальном сокращении неизменяемых и увеличении доли изменяемых элементов в архитектурно-строительной структуре ИФ [44, С.3,15; 170, Р.260].

На практике сформировался определенный набор **традиционных** приемов (архитектурных, конструктивных и инженерных), повышающих универсальность и адаптивность промышленных зданий. Также, в ходе данного научного исследования автором также был выявлен ряд **новых** приемов.

1. Традиционные приемы включают несколько следующих позиций [117, С.25].

1.1. Поиск оптимальной конфигурации производственной зоны – простой, ортогональной формы план, с близкими по величине основными габаритами (длиной и шириной). Несмотря на то, что современные ГПС могут выстраиваться в пространствах различной конфигурации, протяженные и узкие, сложные и криволинейные формы планов являются нерациональными.

²⁴ Дмитриева, А. О. Принципы объемно-планировочной организации новейших производственных объектов / А. О. Дмитриева – Текст : электронный // АМІТ : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2019. – №2 (47). – С. 135-149. – URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/2kvart19/PDF/09_dmitrieva.pdf. С. 138.

1.2. Выбор соответствующей конструктивной системы, а также способов и мест трассировки инженерных сетей оказывают значительное влияние на адаптивность внутреннего пространства [169, Р.395-396]. Наиболее рациональные несущие конструкции, их габариты, места размещения инженерного оборудования и коммуникаций были определены в Г.2 п.2.2.

1.3. Повышение гибкости за счет создания цельных, открытых, нерасчлененных пространств свободной планировки, отсутствия капитальных стен и встроек²⁵. Вместо стационарных капитальных конструкций рекомендовано устройство легких передвижных перегородок, имеющих возможность многократного монтажа и демонтажа. При реализации таких планировочных решений требуется на 30-50% меньше площади для расстановки производственного оборудования, чем при традиционном цеховом способе организации производства. Также целесообразно применение элементов полной заводской готовности – различных сборно-разборных конструкций, мобильных объемных блоков административного и санитарно-бытового назначения [17, С.338; 23, С.14].

1.4. Выполнение ограждающих конструкций как системы, состоящей из сборных модульных элементов заводской готовности. В зависимости от изменений во внутреннем зонировании компоненты такой системы (оконные и дверные блоки, витражи и грузовые шлюзы) могут менять свое местоположение на фасаде, демонтироваться и заменяться на новые [125, С.3; 138, Р.92,108,144]²⁶.

1.5. Проектирование уровня пола производственных помещений, в пределах одного этажа, на единой отметке, без уклонов и перепадов высот облегчает перемещение производственного оборудования. Расчет несущей способности конструкций «с запасом» и одинаковая несущая способность всей площади перекрытия обеспечивают большую вариативность при выборе производственных агрегатов и их расстановке [133, С.11].

2. Выявленные в рамках данного исследования **новые способы** обеспечения гибкости заключаются в реализации обозначенных ниже решений.

2.1. Стратегический подход к проектированию, частичная или полная деконструкция и трансформация структуры ИФ, переход от статической универсальности к перманентной изменяемости объемно-планировочных решений [59]. Строительство перестает рассматриваться как однонаправленное действие по созданию константного объекта. Следовательно, всё больше внимания уделяется проектированию структур, предусматривающих последующие трансформации, демонтаж элементов и конструкций, возможность увеличения и сокращения физических объемов. Для этого используются решения, обеспечивающие полную или частичную «разборность» объекта [156, Р.43]:

- максимальная модульность [2], типизация и унификация конструкций и элементов, позволяют производить их быструю и эффективную замену [75];

²⁵ Там же С.139

²⁶ Там же С.139

- повсеместное использование механического способа соединения элементов и конструкций (вместо термического и химического) обеспечивает легкое разъединение строительных компонентов, уменьшает их повреждение, облегчает вторичное использование и переработку;

- применение «вторичных» строительных материалов или материалов с возможностью их последующей переработки;

- сокращение количества типов используемых строительных материалов при демонтаже упрощает их сортировку и транспортировку отходов²⁷.

2.2. Особенно актуальным в условиях урбанизированной среды, приемом является увеличение этажности предприятий (см. Г.2 п.2.1). Распределение производственных площадей в нескольких этажах позволяет легче и быстрее осуществлять реконфигурацию оборудования и даже изменение функционального назначения этажа [123, С.38].

2.3. Для повышения гибкости и адаптивности производственных помещений рельсовое и полустационарное подъемно-транспортное оборудование (козловые и мостовые краны, конвейеры и транспортеры) целесообразно заменять различными видами полностью мобильного транспорта (электротележки, электроподъемники, и др.) [89, С.17]. Применение такого вида внутрицехового транспорта позволяет более эффективно использовать всю высоту внутреннего объема помещения. Появляется возможность проектировать производственные линии в любом направлении, так как отсутствует необходимость выстраивать их в соответствии с неизменной траекторией движения подъемно-транспортного оборудования со стационарными элементами. Однако следует отметить, что для складских и логистических функциональных зон применение рельсового оборудования (например, автоматизированные краны-штабелеры) не теряет актуальности.

2.4. На повышении гибкости зданий ИФ положительно сказывается максимально возможная организация эффективного естественного освещения всего внутреннего пространства. Помещения, расположенные по периметру здания, освещаются естественным боковым светом через светопрозрачные элементы ограждающих конструкций. Все внутреннее пространство одноэтажных зданий и верхние этажи многоэтажных зданий – при помощи равномерно распределенных световых фонарей на кровле. Для естественного освещения центральных пространств многоэтажных зданий проектируются световые атриумы [172], световые колодцы [109], а также световоды, современные модификации которых достигают значительных показателей эффективности, гибкости и протяженности. Комплексное использование всех обозначенных выше приемов обеспечения естественного освещения дает большую вариабельность размещения площадей с постоянным пребыванием людей (не только по

²⁷ Дмитриева, А. О. Архитектурные аспекты проектирования «фабрик будущего» / А. О. Дмитриева // Материалы научной конференции «Актуальные проблемы современной архитектуры, градостроительства и дизайна» в рамках XXVIII Международного смотра-конкурса лучших выпускных квалификационных работ по архитектуре, дизайну и искусству (06 – 13 октября 2019 г.): сборник трудов. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2019. – С. 125-129. С.127

световому периметру, но и в центре здания) [12], а также повышает мобильность функциональных зон.

2.3.3. Способы роста и расширения предприятий (см. Т.II прил.1 Л.2.8)

С течением времени успешно функционирующие промышленные предприятия, как правило, наращивают производственные мощности, расширяют номенклатуру выпускаемых изделий и функциональную программу, что приводит к необходимости увеличивать физические объемы этих объектов. Когда для роста промышленного объекта приходится осваивать новые, несмежные территории, возникает ряд негативных последствий – ухудшается связанность с головным предприятием, усложняется логистика. Потеря «осведомленности» и ослабление коммуникативности отрицательно сказываются, в первую очередь, на высокотехнологичных и наукоемких предприятиях. Поэтому, уже на стадии проектирования ИФ целесообразно предусматривать способы их роста и расширения, соответствующие функционально-организационному, объемно-планировочному решениям и конструктивной системе здания. Возможность расширения производственных зданий увеличивает их функциональную гибкость, позволяет адаптироваться к будущим технологическим и эксплуатационным изменениям.

Автором было выделено два принципиально разных вида роста и расширения площадей: **внутренний** и **наружный**.

Внутренний способ заключается в увеличении полезных площадей средствами реконфигурации внутреннего пространства без изменения общего объема здания. Этот способ расширения реализуется при помощи встройки дополнительных сборно-разборных конструкций, например этажерок по периметру здания, в пространстве между колоннами [86, С.165], промежуточных перекрытий, антресолей и др.. Преимуществами такого роста являются бóльшая экономичность и более простое возвращение к исходному положению по сравнению с внешним способом. К его недостаткам можно отнести уменьшение гибкости внутреннего пространства и нарушение нормального функционирования объекта на период проведения расширения.

Прием внутреннего расширения объекта, с опорой дополнительных перекрытий на вертикальные конструкции, использован в здании фабрики «Стерлинг» (Sterling) (RMA Architekten, Испания, 2001) (см Т.II прил.4 № 4), где дополнительные административные площади были размещены над зоной производства с малогабаритным оборудованием. На сборочном заводе «Модин» для размещения административно-офисных площадей над зоной логистики к конструкциям покрытия были подвешены промежуточные перекрытия.

Наружный способ роста и расширения состоит в приращении полезной площади ИФ за счет добавления физического объема объекта. Он, в свою очередь, включает в себя несколько вариантов:

- модульный;
- секционно-осевой;
- ячеиковый.

Модульный способ роста ИФ предполагает, что объект изначально строится на основе объемных модулей (одного или нескольких). В данном случае модуль – это унифицированный строительный объем, который обладает эксплуатационной и производственной автономностями, благодаря наличию в нем всех необходимых помещений, функциональных зон и инженерного оборудования [17, С.164; 33; 55, С.25]. Этот способ роста промышленных объектов допускает поэтапный ввод объекта в эксплуатацию, что является преимуществом для крупных производственных комплексов. При этом сокращаются сроки окупаемости всего предприятия – в то время, когда одни модули еще находятся на стадии проектирования и строительства, ранее возведенные модули уже начинают функционировать и приносить прибыль. Модульный способ формирования промышленных объектов упрощает процессы технического обслуживания, ремонта и модернизации производственного оборудования, так как для осуществления этих действий нет необходимости прерывать процессы производства на всем предприятии [48]. Этот способ расширения подходит для динамично развивающихся и автоматизированных производств [85, С.276-277], однако основным его недостатком является потеря компактности объекта – как правило, новые модули размещаются на расстоянии от уже существующих зданий для обеспечения противопожарной защиты, сохранения инсоляции и аэрации территории²⁸.

Разновидностью модульного способа расширения является рост вверх – размещение нового модуля на кровле уже существующего – надстройка как производственной, так и всех сопутствующих зон. Вертикальный способ роста свойственен предприятиям с первоначально одноэтажной производственной зоной. Например, такой способ роста предусмотрен на предприятии «Сирона». При таком способе модульного роста сохраняется компактность, но возникает необходимость устройства вертикальных коммуникаций и наличие соответствующего запаса прочности несущих конструкций.

Секционно-осевое расширение оптимально для зданий, имеющих осевую, реже линейную, схему функциональной организации внутреннего пространства. Новые объемы, повторяя характер планировочной структуры существующего здания, «нанизываются» на планировочную ось. Они не предполагают автономного функционирования и пристраиваются вплотную к объекту. На основе изучения объектов-представителей было установлено, что секционно-осевой способ дает возможность

²⁸ Дмитриева, А. О. Принципы объемно-планировочной организации новейших производственных объектов / А. О. Дмитриева – Текст : электронный // АМІТ : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2019. – №2 (47). – С. 135-149. – URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/2kvart19/PDF/09_dmitrieva.pdf. С.143.

однократного расширения объекта на объем до 100% от существующего предприятия, при этом пропорционально увеличиваются площади всех основных функциональных зон и сохраняется сплошная планировка производственного объекта. Особенностью этого способа расширения является возможность роста только соосно, в одном, заранее определенном, направлении.

Ячейковый рост используется для одноэтажных зданий с лаконичной функционально-планировочной организацией внутреннего пространства и простыми технологическими процессами (например, логистической функцией), а также для зданий с однородной конструктивной системой, как правило, каркасной системой ячейкового типа и ее модификациями. Этот вид роста допускает развитие архитектурно-пространственной структуры в любом направлении и в неограниченном объеме, с возможностью расширения в один или несколько этапов. При этом сохраняется прием сплошной планировки, но утрачивается компактность объекта.

«При разработке проектов промышленных предприятий, последние следует рассматривать как живые организмы, обладающие способностью к развитию или к сокращению» [77, С.179]. То есть, для обеспечения высокой адаптивности объемно-планировочной структуры ИФ оптимальным является сочетание внутреннего и внешнего расширений, осуществляемые способами, которые учитывают и возможность последующего сокращения площадей.

2.3.4. Методы повышения энергоэффективности, экологической безопасности и ресурсосбережения промышленных зданий (см. Т.II прил.1 Л.2.10)

Одной из основных составляющих концепции «устойчивой архитектуры» является **повышение энергоэффективности, экологической безопасности и ресурсосбережения** промышленных зданий, которое достигается при помощи групп архитектурных приемов и технических средств [120]. Архитектурные способы можно разделить на приемы общего и локального характера.

1. Архитектурные методы обеспечения энергоэффективности и ресурсосбережения общего характера тесно связаны с объемно-планировочными и архитектурно-композиционными решениями ИФ; к ним относятся:

- выбор общей формы здания;
- ориентация объема относительно сторон света и преобладающих направлений ветров;
- компоновка внутренней структуры объекта;

1.1. В ходе поиска **наиболее энергоэффективной общей формы объекта** в первую очередь учитывается как положительные, так и отрицательные воздействия на здание

климатических условий окружающей среды. В холодное время года низкие температуры, ветра и осадки оказывают негативное влияние, а солнечная радиация носит положительный характер. В теплое время года солнечное излучение сказывается негативно, а ветровое воздействие, наоборот, – положительно. Поэтому наиболее энергоэффективная общая форма объекта должна быть такой, чтобы одновременно уменьшать негативное влияние окружающей среды и, по возможности, усиливать ее положительные аспекты [113, С.170]. Так как моделирование подобной формы, при одновременной реализации функционально-технологических и объемно-планировочных решений, является сложнейшей задачей, компромиссное решение состоит в снижении любого воздействия внешнего климата на внутреннюю среду здания, что особенно актуально для высокотехнологичных производств с заданными константными параметрами внутренней среды. Для решения этой задачи необходимо стремиться к сокращению площади поверхностей ограждающих конструкций здания при сохранении требуемого внутреннего объема. Такие показатели достигаются в объектах простой ортогональной формы при соотношении высоты к длине здания 1:4 и, одновременно, при примерно равных габаритах длины и ширины, то есть при форме плана приближенной к квадрату или кругу [112]. Соблюдение таких соотношений позволяет уменьшить эксплуатационные затраты на 10-15% [49]. Среди рассматриваемых объектов-представителей наиболее приближенными к таким параметрам оказались здание фабрики «Фраба» и офисно-производственное здание компании «Пивексин Технолоджи».

1.2. Ориентация здания по сторонам света определяется исходя из ветрового режима и солнечной активности на конкретной территории. В условиях средней полосы России, для обеспечения наиболее эффективного естественного освещения внутреннего пространства, здание необходимо ориентировать так, чтобы продольная ось объекта находилась под углом 45° - 100° к меридиану [122, С.9]. Однако необходимо учитывать, что в данном случае увеличение инсоляции прямо пропорционально увеличению радиационного нагрева. При этом, оптимальный режим проветривания территории обеспечивается при ориентации продольной оси здания под углом 45° - 90° по отношению к преобладающему направлению ветра в теплое время года [85, С.217; 122, С.9]. Общая лаконичная форма объекта, отсутствие замкнутых и полузамкнутых дворов также способствуют улучшению проветривания.

1.3 Внутренняя структура объекта формируется исходя из его технологической программы и схемы функционального зонирования, но при этом ее желательно согласовывать с одним из энергосберегающих приемов организации пространства.

«Светлое ядро» – это формирование внутренней структуры вокруг светового остекленного атриума. Преимущество такого приема заключается в возможности максимальной естественной инсоляции внутреннего пространства, что сокращает расходы на освещение [172]. Такие световые атриумы интегрированы в структуры зданий «инновационной фабрики Виттенштайн» и «Дышащей фабрики» (Breathing Factory) (Takashi Yamaguchi & Associates, Япония, 2009) (см Т.II прил.4 № 21).

«Темное ядро» предполагает построение объемно-планировочной структуры многоэтажных производственных зданий вокруг подсобно-инженерных, коммуникационных, складских зон или других зон, не требующих естественного освещения. При этом для остальных функциональных зон, расположенных по периметру здания, создаются условия для организации максимального естественного освещения. Примерами могут служить многоэтажные производственные здания нового типа с ядром жесткости многофункционального назначения, разработанные ЦНИИпромзданий [49].

2. Локальные архитектурные приемы повышения энергоэффективности, экологической безопасности и ресурсосбережения помимо прямого назначения существенно дополняют образ современного промышленного здания. Для внедрения в архитектурную структуру ИФ наиболее подходят следующие приемы:

- организация эффективного естественного освещения в сочетании со средствами солнцезащиты;
- системы локальной терморегуляции;
- включение природных элементов в структуру объектов.

2.1.1. На многих промышленных объектах до 70% от всех эксплуатационных расходов приходится на обеспечение искусственного освещения помещений. Максимальная **организация естественного освещения** сокращает эти затраты и создает комфортные психофизиологические условия внутренней среды [149; 179, P.245-248].

Повышение естественной освещенности прямо пропорционально увеличению площади остекления. Однако, с увеличением площадей светопрозрачных ограждающих конструкций растет теплообмен внутреннего пространства с окружающей средой. Так при увеличении процента остекления в 2,5 раза, расходы на отопление возрастают в 1,5 раза [27]. Согласно рекомендациям ЦНИИпромзданий оптимальный процент остекления от общей площади ограждающих конструкций для средней полосы России не должен превышать 25% [45, С.64]. Поэтому существует ряд других приемов эффективной организации естественного освещения внутреннего пространства производственных объектов:

- сочетание бокового и верхнего естественного освещения, создающее равномерную освещенность во всем здании;
- инсталляция специальных архитектурных элементов и конструкций, комплексное применение которых позволяет сократить использование искусственного освещения и до 30% снизить потребление электроэнергии [16, С.45-46], таких как:
 - применение световых полок, отражателей и рассеивающих устройств, способствующих попаданию бокового естественного света вглубь помещений;
 - использование световых колодцев, световых труб и световодов для верхнего естественного освещения ширококорпусных зданий;
 - освещение центральных пространств вторым светом, через светопрозрачные перегородки, которые отделяют центральный объем от помещений небольшой глубины, расположенных по периметру здания.

2.1.2. Для климата средней полосы России в теплое время года характерен радиационный нагрев помещений через светопрозрачные конструкции. Для минимизации этого негативного воздействия в фасадные системы промышленных зданий интегрируются различные **средства солнцезащиты**:

- перфорированные экраны, оболочки и сетчатые конструкции, которые монтируются снаружи здания на расстоянии от основных ограждающих конструкций;

- увеличенные выносы и свесы кровли, козырьки различной формы и конструкции, препятствующие попаданию в помещения солнечных лучей, направленных под большим углом к горизонту (эффективны для южных фасадов);

- ламели и жалюзи, которые устанавливаются перед светопрозрачными конструкциями и со стороны интерьера, и на фасадах здания, или полностью интегрируются в систему остекления; можно разделить на следующие группы:

- вертикальные ламели эффективно защищают от низкого солнца;

- горизонтальные используются для защиты от высокого солнца;

- фиксированные, с неизменным углом наклона ламели к ее продольной оси;

- подвижные ламели, могут менять свое положение, например, в соответствии с движением солнца.

В умеренном климате, в ряде случаев, интеграция солнцезащитных устройств позволяет полностью отказаться от охлаждения помещений в летнее время года [16, С.15-20].

2.2. Системы локальной терморегуляции – это архитектурно-строительные конструкции и структуры, которые изменяют температуру воздуха в помещениях без помощи инженерных устройств. К таким системам можно отнести:

- системы двойного фасада – многослойные конструкции, состоящие из внутренней и наружной оболочек и разделенные воздушным зазором; они обеспечивают дополнительные теплоизоляцию, пыле- и шумозащиту, формируют воздушные потоки для естественного проветривания [31];

- тепловой коридор представляет собой протяженный тоннель или простой лабиринт, расположенный в подвальном этаже и служит для уменьшения затрат на подготовку (нагрев или охлаждение) воздуха для систем вентиляции и кондиционирования, за счет теплообмена наружного воздуха с ограждающими конструкциями коридора [151, Р.43];

- солнечный коллектор (стена Мишеля-Тромба) – конструкция большой площади, выполненная из материала с высоким коэффициентом радиационного нагрева, с системой трубопроводов под поверхностью конструкции – применяется для нагрева теплоносителя в этой системе и последующей передачи тепла на эксплуатационные нужды здания.

2.3. Интеграция природных элементов и озеленения являются обязательной составляющей любой из рейтинговых систем экологической сертификации зданий²⁹.

²⁹ Дмитриева, А. О. Производственные здания с использованием различных видов озеленения / А. О. Дмитриева // Наука, образование и экспериментальное проектирование : тезисы докладов международной научно-практической конференции, профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов 6-10 апреля 2015г. – М. : МАРХИ, 2015. – С.341-343.

Ключевой положительный момент от их внедрения – это общее улучшение экологической обстановки как внутри производственного здания, так и за его пределами. Этот прием используется и в экстерьере, и в интерьере производственного объекта. Снаружи он реализуется в виде **экстенсивного озеленения кровли**³⁰. Площадь кровли многих производственных зданий составляет десятки тыс. кв. м, что делает их оптимальными пространствами для размещения экстенсивного озеленения. В целом, эксплуатационные выгоды от устройства «зеленой кровли» покрывают затраты на ее монтаж и уход за ней. Основными положительными аспектами такого типа покрытия являются [61; 160; 163]:

- создание хорошей теплоизоляции, особенно в летний период, и полное устранение «эффекта теплового острова»³¹;
- улучшение звукоизоляции в среднем на 8 дБ по сравнению с традиционными кровельными покрытиями;
- общее улучшение качества воздуха: абсорбция вредных веществ различного происхождения, регулировка влажности, выработка кислорода;
- поддержание биоразнообразия и создание локальных экосистем;
- формирование благоприятных условий для установки фотоэлектрических панелей или систем сбора дождевой воды;
- защита нижележащих слоев от воздействия окружающей среды.

Включение природных элементов – растительности и искусственных водных объектов – в интерьеры промышленных зданий нормализует микроклимат помещений, формирует благоприятную психологическую обстановку, очищает воздух от механических, химических и бактериологических загрязнений. Эти элементы в интерьере могут быть представлены зимними садами, вертикальным озеленением стен, стационарными или мобильными растительными композициями. Целесообразно устанавливать природные элементы не только в помещениях социально-рекреационного и бытового назначения, но и в административно-офисной и производственной зонах, где они поглощают пыль и электромагнитное излучение.

3. Технические средства включают в себя несколько позиций.

3.1. Установки и устройства для получения энергии альтернативными способами, которые, помимо традиционных источников энергии малой мощности, включаются в структуру промышленных зданий [149]:

- солнечные фотоэлектрические модули – системы из набора фотоэлементов, конвертирующие солнечную энергию в постоянный электрический ток, место и способ установки которых зависят от инсоляционного режима региона, участка строительства, формы и ориентации самого производственного объекта;

³⁰ Экстенсивное озеленение кровли – тип кровли, где в качестве «финишного» покрытия используется слой растительного субстрата толщиной 20-30 см, с высаженными в него неприхотливыми растениями.

³¹ Эффект теплового острова (heat island effect) – зона повышенных температур в области источника тепловыделений или места, подверженного радиационному нагреву.

- когенерационные и тригенерационные установки³², чьи относительно небольшие размеры, отсутствие значительного шума и вибраций, а также экологическая безопасность позволяют располагать их непосредственно внутри самих производственных объектов, в подвалах, цокольных этажах и на уровне земли;

- ветрогенераторы – устройства для выработки электроэнергии за счет движения воздушных масс:

- ветрогенераторы с вертикальной осью вращения обладают сравнительно небольшими габаритами и могут значительно обогатить образ любого здания, эффективно используют энергию даже небольших по скорости ветров (от 4 м/с), создают меньше шума и вибраций;

- ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения по ряду технических особенностей требуют проведения дополнительных конструктивно-строительных мероприятий при интеграции в здания с долговременным пребыванием людей.

3.2. Инженерные системы, основанные на низкопотенциальной энергии окружающей среды и рекуперации ресурсов, а также другие виды теплообменников, теплоинерционных отопительных приборов, конденсационных котлов и эффективных воздухораспределителей позволяют сократить эксплуатационные и энергетические расходы.

3.3. Интеллектуальные инженерные системы эксплуатации производственных зданий – это часть концепции «умной фабрики» (см Г.1 п.1.2.3), а также обязательный компонент реализации решений по энергосбережению, энергоэффективности и экологической безопасности. Автоматизированные и адаптивные системы жизнеобеспечения здания снижают эксплуатационные затраты, повышают безопасность производства [111]. Стремительное совершенствование технологий «умных» систем управления делает их более коллаборативными и экономически доступными.

Технические средства, указанные в пп. 3.2 и 3.3, не оказывают существенного влияния на архитектурный облик современных производственных объектов.

Совокупность общих приемов повышения энергоэффективности, ресурсосбережения и экологической безопасности формирует первоначальный потенциал энергоэффективности объекта. Технические средства и локальные архитектурные методы развивают и усиливают его. Архитектурно-композиционные решения ИФ (компактность, повышение этажности, увеличение ширины корпуса, «дискретный» и «ядровой» способы функционального зонирования), как правило, согласуются с общими приемами повышения энергоэффективности. При этом специфика высокотехнологичных производств определяет выбор локальных архитектурных и технических средств, применение которых наиболее целесообразно:

- формирование эффективного естественного освещения и солнцезащиты;
- экстенсивное озеленение кровли;

³² Когенерация – процесс высокоэффективной выработки тепла и электроэнергии. Тригенерация – преобразование первичной энергии в холод, тепловую энергию и электроэнергию.

- внедрение источников и средств получения альтернативной энергии;
- интеграция интеллектуальных систем эксплуатации ИФ.

Комплексное применение рассмотренных выше способов и инструментов обладает свойством **эмерджентности** – взаимным усилением положительных свойств отдельных элементов при их использовании в системе. Эффективность внедрения большинства рассмотренных приемов зависит от их количественных показателей (например, чем больше суммарная площадь солнечной стены или фотоэлектрических модулей, тем заметнее их положительное влияние). Кроме того, на целесообразность использования тех или иных средств влияют климатические условия и ряд других характеристик среды размещения ИФ.

2.3.5. Пути гуманизации и демократизации производственной среды новейших предприятий (см. Т.II прил.1 Л.2.11)

Социальный аспект – один из трех базовых компонентов концепции устойчивого развития, ориентирован на человека и направлен на сохранение стабильности общественных и культурных систем, обеспечение равных возможностей и справедливого распределения благ. В архитектуре ИФ это направление реализуется путем **гуманизации и демократизации** рабочей среды.

Производственная или рабочая среда это широкое понятие, которое включает в себя все внутренние пространства здания, его оболочку и всю территорию в границах участка, на котором расположено предприятие. Производственная среда имеет немало отрицательных свойств (шум, вибрации, различные загрязнения воздуха, электромагнитное излучение и тепловыделения), которые могут неблагоприятно сказываться на физическом и психологическом здоровье человека, долговременно находящегося в такой обстановке.

Технологическая специфика современного и будущего производства, основанного на достижениях Индустрии 4.0, в значительной степени редуцирует негативные составляющие рабочей среды, присущие традиционным промышленным предприятиям. Автоматизация и роботизация производства способствуют гуманизации производственных процессов (см Г.1 п.2.2). На ИФ отсутствуют значительные тепловыделения, конструктивные особенности оборудования локализуют механические и химические вредности, обеспечивает их эффективное удаление. Но, в то же время на таких предприятиях возрастают психологические и информационные нагрузки, а широкое применение беспроводных средств передачи информации является источником электромагнитных волн. В целом условия труда на ИФ относятся к первому и второму классам условий труда, то есть являются оптимальными и допустимыми [6].

Совершенствование производственной среды и формирование микроэкологии труда должны идти по пути минимизации воздействия вредных факторов и оптимизации внутренних условий, обеспечивающих высокопроизводительную деятельность сотрудников [17 С.132].

Наиболее эффективный способ уменьшения негативного воздействия производственных факторов – это максимально возможное приближение мер и средств защиты к источникам вредностей. В условиях трансформируемости производственных процессов и мобильности технологического оборудования появляется вероятность перемещения и самих источников неблагоприятного воздействия, следовательно, мероприятия по борьбе с вредностями также должны носить мобильный характер. Например, для минимизации уровня шума могут использоваться передвижные напольные экраны и подвесные шумопоглощающие конструкции. На практике, в помещениях с повышенными требованиями к акустическому комфорту большие плоскости ограждающих конструкций (как правило, потолок) покрываются специальными шумопоглощающими материалами.

Формирование комфортных микроклиматических условий на ИФ предполагает возможность индивидуальной настройки и регулирования параметров внутренней среды (освещенность, температура) в том случае, если это не противоречит производственным требованиям к микроклимату. Персонализация микроклиматических параметров достигается путем точечной разводки подающих устройств в уровне рабочей зоны, в местах долговременного пребывания людей.

На создание комфортных психофизиологических условий оказывают влияние цветовые решения интерьеров [68, С.20; 91; 179, Р.202-204]. А в связи со значительной долей труда на ИФ, связанной с высоким зрительным напряжением, колористика внутренних пространств приобретает ключевое значение. В производственных, административно-офисных и научно-исследовательских помещениях изучаемых объектов преобладают спокойные светлые тона, активнее всего используются белый и серый цвета, цветовые акценты применяются очень ограниченно или полностью отсутствуют.

На психофизиологическом комфорте также положительно сказывается создание прямых и визуальных взаимосвязей внешней и внутренней сред [53, С.73]. Для последнего проектируются светопрозрачные ограждающие конструкции больших площадей, создающие ощущение «открытости» и «проницаемости». Прямой контакт с внешней средой обеспечивается при помощи эксплуатируемых кровель, внутренних двориков и террас. Если связь с внешней средой отсутствует, в интерьеры производственного объекта вводятся композиции из природных элементов (см. Г.2 п.3.4).

Проектирование безопасной среды включает в себя понятия экологической, технологической и эксплуатационной безопасностей. Экологическая безопасность состоит в отсутствии вредностей; технологическая «должна быть обеспечена при работе технологического оборудования, движении технологического транспорта, при

передвижении людей и машин» [68, С.11]. Эксплуатационная безопасность – это соответствие конструктивных и планировочных решений здания ИФ классам капитальности и огнестойкости [8; 13], соблюдение мероприятий по пожарной безопасности и эвакуации, удовлетворяющих нормам и техническим регламентам. Эффективному обеспечению технологической и эксплуатационной безопасности способствуют комплексные меры сигнализации – приемы, воздействующие на разные органы чувств (цветовая и световая маркировки, тактильное информирование, звуковое оповещение). В качестве примера можно привести рельефную и цветовую разметку пола, которая применяется для обозначения участков, безопасных для передвижения людей в производственных помещениях.

В целях улучшения условий труда изменяются технологии производства, что одновременно приводит и к благоприятным последствиям для самих предприятий. Примером является завод «Вольво» (Volvo) в городе Калмар (G. Goehl, T. Karlsson, Швеция, 1973-74) (см Т.II прил.3 № 6), где был осуществлен отказ от конвейера в пользу стендовой сборки автомобилей – переход от индивидуальной к групповой организации работы. Эти изменения сделали труд рабочих более творческим, привели к росту производительности труда, улучшению качества сборки, сокращению брака [168, Р.221-222]. С той же целью на конвейерных производствах вводятся приемы ротации рабочих мест, укрупнения простых действий или дробления длительных монотонных операций на несколько этапов [30, С.148]. Приемы повышения качества труда, связанные с расширением или насыщением рабочих задач, с архитектурной точки зрения обеспечили новые возможности формообразования и определили новые требования к организации пространства производственных помещений, связанные с повышением компактности рабочих зон, увеличением гибкости помещений и мобильности рабочих мест [179, Р.66]. Эргономичность производственной среды проявляется в оптимизации условий и процессов труда в соответствии с физическими возможностями человека [170, Р.284-287].

Передовые организационные подходы к структуре современных предприятий стимулируют **демократизацию** внутренней среды (см.Г.1 п.1.3.2), которая «...предполагает раскрытие планировочными художественными средствами равенства возможностей потребителей архитектуры, пространственную открытость, свободу передвижения, учет личных предпочтений людей в соответствии с социальной дифференциацией общества, общедоступность всех социальных учреждений промышленных предприятий...» [68, С.12]. Она проявляется в предъявлении одинаково высоких требований к архитектурной организации рабочих мест, качеству отделочных материалов и условиям искусственного микроклимата помещений всех функциональных зон. Однотипные и одинаково качественные архитектурные решения производственных и административно-офисных помещений ликвидируют иерархичность пространств, сближают «белых и синих воротничков», улучшают коммуникативность и координацию [165, Р.4; 173, Р.22-27]. Рабочие пространства проектируются исходя из формы организации труда, а не из привилегированности тех или иных групп сотрудников. Открытые пространства предназначены для коллективной и групповой работы, закрытые

– для индивидуального труда и работы в небольших группах, а также для видов работ, требующих особых микроклиматических условий [36, С.9].

Гуманизация и демократизация производственной среды также проявляются в расширении рекреационных и социально-культурных функций и соответствующих им зон ИФ, в повышении качества их архитектурных решений [50, С.72; 53; 176, Р.34-40; 179, Р.255]. Особое внимание уделяется проектированию мест отдыха. Пространства для кратковременного индивидуального отдыха или отдыха небольшими группами максимально приближены к рабочим местам, но изолированы, «развернуты» от них. Это небольшие помещения, для которых характерны защищенность от всех источников производственных вредностей (в первую очередь от шумового загрязнения) и обращенность в экстерьер, к природе и естественному освещению. Места для ежедневного коллективного приема пищи и сопутствующего более продолжительного отдыха – столовые и кафетерии – располагают в «центре нагрузок». Дополнительной положительной характеристикой этого пространства также служит его визуальная и физическая связанность с экстерьером – панорамное остекление и устройство открытых террас. К зонам для долговременного отдыха в нерабочее время относятся места для занятий спортом на открытом воздухе. Также в функциональную структуру ИФ могут быть интегрированы небольшие по площади тренажерные залы и спа-центры. Плоская эксплуатируемая кровля оптимально подходит для организации спортивных площадок, функционирующих в теплое время года. Например, во внутреннем дворе на крыше фабрики «Фьючур Стич» (FUTURE STITCH) (AZL Architects, Китай, 2018) (см Т.II прил.4 № 72) размещена баскетбольная площадка, на территории производственно-офисного комплекса «Пивексин Технолоджи» также находится баскетбольная площадка.

В процессе гуманизации и демократизации производственной среды важная роль отводится формированию высокой **коммуникативности** внутреннего пространства [50, С.73]. Все виды межличностных коммуникаций на современном предприятии можно разделить на формальные и неформальные, запланированные и случайные [179, Р.239-242]. Каждый из этих видов происходит в соответствующем функциональном пространстве. Случайные неформальные коммуникации, которые могут оказаться не менее важными для развития инновационной производственной деятельности, чем другие виды общения, возникают в циркуляционных пространствах – коридорах, лифтовых холлах и на лестницах. Поэтому для стимуляции случайных неформальных коммуникаций рекомендуется:

- проектирование более комфортных циркуляционных пространств;
- размещение общих зон отдыха на пути наиболее активного перемещения сотрудников и в местах пересечения траекторий движения служащих из разных отделов, то есть совмещение рекреационных и циркуляционных пространств.

В качестве примера реализации этих приемов можно привести офисно-производственное здание «Аэмулс» (Aemulus at the Runway) (Design Unit Architects, Малайзия, 2020) (см Т.II прил.4 № 80), где в центральном атриуме объединяются

циркуляционное пространство и места для отдыха и общения. Одновременно, благодаря остекленным стенам офисных и лабораторных помещений, выходящих в этот атриум, формируются дополнительные визуальные контакты между социально-рекреационной и рабочими зонами.

Рост количества второстепенных функций ИФ (см. Г.2 п.2.1) и общая тенденция к «открытости» современных предприятий, приводят к тому, что многие функциональные зоны становятся доступны не только сотрудникам предприятия, но и его клиентам, практикантам и даже экскурсантам. В связи с этим производственная среда должна обеспечивать простоту ориентации и обладать повышенной информативностью, которые достигаются архитектурными средствами и элементами графического дизайна:

- лаконичность и ортогональность форм и объемов обеспечивает их «интуитивное считывание» – дает представление о форме по ее фрагменту;
- выделение основных траекторий перемещения линейными цветовыми и световыми акцентами, а также знаками направления движения;
- маркирование «ключевых точек» элементами дизайна, единичными цветовыми и световыми акцентами и соответствующими пиктограммами.

Информативность одновременно повышает безопасность внутренней среды ИФ.

На современном и будущем этапах развития промышленной архитектуры гуманизация и демократизация производственной среды не менее важны, чем вопросы обеспечения максимальной производительности и экономической рентабельности предприятий. Существенное значение имеет комплексный и детальный подход к решению рабочего пространства: от его общих свойств, до характеристик индивидуального рабочего места. Добиться такого высокого качества производственной среды можно только путем тесного сотрудничества архитектора с технологами и дизайнерами, социологами и психологами, заказчиком и будущими потребителями [121, С.140].

2.4. Обеспечение качества и эстетической привлекательности промышленных объектов (см. Т.II прил.1 Л.2.12)

Архитектура является наиболее фундаментальным и неизменным средством выражения социальной культуры. «Эстетический взгляд на предмет проектирования в промышленной архитектуре, как наиболее доступный для восприятия и комплексно отражающий итоги труда..., является одним из наиболее существенных при оценке качества архитектуры промышленных предприятий» [68, С.28]. Необходимость **повышения эстетической выразительности промышленных объектов** является прямым следствием рассмотренных тенденций формирования ИФ. Архитектурно-композиционные решения производственных предприятий в значительной степени

продиктованы параметрами технологических процессов и требованиями функционального зонирования. В тоже время они должны основываться не только на специфике производства, но формироваться в процессе творческого синтеза производственной технологии, контекста, характеристик климата, культуры, предпочтений общества; учитывать социальную составляющую (см. Г.2 п.3.5) и современные стратегии предпринимательской деятельности.

В архитектуре ИФ эффективность и эстетика должны быть согласованы и сбалансированы. Поэтому архитектурный образ, основой для которого, как правило, служат характерные признаки технологии производственного процесса, помимо гуманистической составляющей должен транслировать ощущение высокотехнологичности и трансформируемости, высокой эффективности и клиенто-ориентированности, экологической безопасности, «устойчивости» и новизны.

Образ и архитектурные решения промышленного объекта являются более объективным свидетельством отношения компании к своим сотрудникам и клиентам, чем любые рекламные акции. Сама архитектура ИФ воспринимается как имидж компании-владельца и реклама выпускаемой продукции [146, Р.157,183-188]. Поэтому, важной задачей в формировании образа производственного объекта является выражение фирменного стиля предприятия средствами архитектуры и дизайна в соответствие с корпоративной культурой и философией. Первое впечатление от экстерьера ИФ уже бессознательно формирует у реципиента его отношение к компании, которое укрепляется при входе в здание, в общественные или даже производственные помещения. В этой связи показательно исследование Гарвардского университета, подтвердившее гипотезу о том, что 70% суждений респондентов о различных известных корпорациях основаны на визуальных наблюдениях. Каждое здание ИФ должно обладать характерными чертами, указывающими на принадлежность к определенной компании и отличающими его от предприятий конкурентов. В тех случаях, когда производственный процесс ориентирован на привлечение внешних инвестиций, расходы, связанные с эстетическими аспектами архитектуры ИФ увеличиваются [145, Р.46; 165, Р.2-7].

Помимо выполнения сугубо утилитарных задач, архитектурно-пространственная структура ИФ обеспечивает позитивную мотивацию и побуждает к коммуникации. Таким образом, качественная, эстетически привлекательная промышленная архитектура создает привлекательный образ компании-работодателя, положительно влияет на производительность труда и помогает поднять престиж рабочих профессий – решить задачу, которая была поставлена на государственном уровне. А выражение корпоративных ценностей через корпоративную архитектуру мотивирует каждого сотрудника постоянно руководствоваться этими ценностями.

Еще одной задачей эстетического освоения промышленных предприятий является нивелирование и корректирование тех нежелательных образных качеств производственных объектов, которые являются прямым следствием стремления к утилитарности и экономической эффективности. Например, повышение гибкости

производственного объекта ведет к предельной лаконичности и простоте форм. Традиционно бóльшие площади промышленных зданий и сооружений по сравнению с объектами гражданской архитектуры, увеличенные высоты этажей и габариты некоторых проемов вызывают не сомасштабность архитектуры и человека, ощущения монотонности и пустоты ограждающих поверхностей.

При работе над архитектурным образом ИФ необходимо придерживаться нескольких основных закономерностей [179, Р.306-309].

Соблюдение структурного порядка создает ощущение гармонии. Упорядоченность достигается последовательным соотношением между частями и целым, построением производственного объекта как живого организма, где существует внутренняя согласованность между элементами и их совокупностью.

Выверенная простота, минимализм и отсутствие сложных декоративных элементов согласуются с требованиями экономической эффективности производственных объектов. Продуманное сокращение количества объемов и упрощение форм, рациональное ограничение набора применяемых материалов и цветов позволяет создавать мощные образные эффекты. Качество, освобожденное от лишних элементов, непосредственно воздействует на зрителя и является более «устойчивым» эстетическим приемом, чем стремление упаковать объект в «красивую» оболочку.

Рациональность архитектурного образа обеспечивается поиском визуально комфортного **баланса между монотонностью и разнообразием**. С одной стороны, наблюдателя быстро утомляет полное однообразие и монотонность, если они доминируют в архитектуре. С другой – тотальная пестрота и сверхнасыщенность приводят в нервное возбуждение; кроме того, подобные образные решения очень быстро теряет свою актуальность.

Гармония между идентичностью и индивидуальностью создает самобытный архитектурный образ. Самобытность является результатом творческого сочетания авторского видения производственного объекта, требуемых объемно-планировочных решений и особых, неповторимых характеристик окружающей среды и локальной культуры. На гармоничную совокупность этих позиций опирается выбор тех или иных конструктивных решений, архитектурных элементов и материалов. Другими словами, два идентичных по эксплуатационно-техническим характеристикам производственных здания, принадлежащие одной компании, но возведенные в разных локациях не могут иметь одинаковый архитектурный образ [165, Р.4].

Здания, архитектурный образ которых оставляет позитивное впечатление в сознании наблюдателя, обладают **эмоциональным качеством**. Архитектура ИФ может транслировать не только объективные свойства, такие как чистота и экологичность, но и создавать более сложные эмоциональные послы. Эмоциональное качество среды способствует более глубокому восприятию пространства, материалов и колористических решений за пределами утилитарной рецепции. В процессе разработки любого

современного продукта поднимается вопрос о том, какие чувства этот продукт должен вызывать у потребителя, соответственно, и при определении целей архитектурного проекта, особое внимание следует уделять формированию эмоционального качества производственного здания.

Рассмотренные задачи и закономерности формирования эстетической выразительности ИФ реализуются при помощи набора средств, применение которых рационально для интерьера или для экстерьера здания, а также колористического решения – универсального приема как для внутренних, так и для наружных поверхностей.

Эстетическому освоению кровли, «пятого фасада», должно быть уделено особое внимание. Несмотря на увеличенную высоту этажа по сравнению с объектами гражданской архитектуры, общая высота производственных зданий (даже многоэтажных) оказывается меньше, чем высота многоэтажных жилых домов, офисных и бизнес центров. Кроме того, с увеличением частоты использования беспилотных летательных средств со встроенными фото- и видеокамерами, позволяющими получать визуальную информацию с высоты птичьего полета, кровли зданий становятся более «визуально доступными». «Пятые фасады» ИФ целесообразно решать как рельефные и плоскостные композиции из световых фонарей различной формы, участков экстенсивного озеленения и плоскостей, покрытых фотоэлектрическими панелями, а также, элементов инженерно-климатического оборудования в качестве акцентов. «Пятый фасад» центра разработок в Дитцингене представляет собой ленты скатной кровли, расположенные со сдвижкой конька и ендовы относительно соседних лент, что обеспечивает верхнее естественное освещение производственных и офисных помещений и формирует поверхности кровли в виде «плетёнки», обогащает и силуэт, воспринимаемый с уровня земли и вид с воздуха. Небольшие участки плоской кровли между основными модулями заполнены экстенсивным озеленением. Эффектный силуэт четырех одноэтажных корпусов фабрики «ХАВЭ» также создается исключительно при помощи шедовых фонарей.

В контексте согласованности архитектурных решений ИФ с позициями устойчивой архитектуры актуальна **интерпретация энергоэффективных и ресурсосберегающих решений как элементов, формирующих архитектурный образ** производственного объекта [52, С.99]. Солнцезащитные устройства и элементы двойного фасада, озеленение и некоторые виды источников альтернативной энергетики дополняют образ ИФ. Горизонтальные волнообразные ламели на южном фасаде технологического центра «Трамф» (Trumpf) (Barkow Leibinger Architects, Польша, 2016) (см Т.II прил.4 № 60) придают динамичности лаконичному архитектурно-композиционному решению. Два ветрогенератора с вертикальными осями вращения эффектно раскреповывают один из углов многоэтажного гаража «Гринвей Селфпарк» (Greenway SelfPark) (НОК, США, 2010) (см Т.II прил.4 № 26), формируют акцент сразу для двух фасадов паркинга.

Увеличенный масштаб промышленных зданий отличает их от гражданской застройки. Поэтому важным приемом, свойственным в первую очередь промышленной архитектуре, является **работа с масштабом и масштабностью** [34; 35]. С одной стороны,

сегментирование, изгибание и дробление поверхностей фасадов помогает визуально уменьшить объемы производственных объектов до сомасштабного человеку. Подобным образом решены фасады лазерной фабрики «ХААС» и «Дышащей фабрики». Оба здания облицованы однотонными унифицированными панелями, установленными под небольшими разными углами к плоскости фасада. С другой стороны, увеличенный масштаб промышленных объектов выгодно выделяет их на фоне окружающей среды и застройки более мелкого масштаба, позволяя создавать сильные образные эффекты и впечатляющие контрасты. Например, эвакуационные лестницы, выкрашенные в ярко-красный цвет, на одном их глухих фасадов многоэтажной фабрики «Фьючур Стич» ликвидируют монотонность плоскости и позволяют составить представление о масштабе и масштабности объекта.

Важную роль в формировании фасада и образа ИФ в целом играет **место размещения и конфигурация остекления**. С помощью больших плоскостей светопрозрачных ограждающих конструкций (ленточного остекления в нижней части фасада, находящегося на уровне глаз человека, или панорамного остекления) интерьеры производственных зданий участвуют в архитектурном решении фасадов. Размещение такого остекления в зонах непосредственного производства позволяет экспонировать эстетику и зрелищность производственных процессов, что является одним из самых сильных маркетинговых инструментов [130, С.38,41]. Наблюдать за процессами производства на кооперативном предприятии «Гератверк Матрай» и в производственном цехе в Хаттингене можно сквозь ленточное остекление нижней части фасадов. Демонстрационные витрины есть на фасадах фабрики «Сирона». А здание производственного цеха в Грюше имеет полностью остекленный периметр.

Увеличение эстетической выразительности интерьера осуществляется при помощи предметного дизайна и современного графического искусства, эстетизации конструктивных и инженерных решений и интеграции элементов живой природы в интерьеры производственного и непромышленного назначения.

Элементы дизайна, шрифтовые и графические композиции, современные картины и постеры, скульптуры и инсталляции обогащают интерьеры входных, представительских и рекреационных зон. Блестящая инсталляция из металла установлена в вестибюле «умной фабрики Трамф». Крупномасштабная, но изящная двухметровая скульптура демонстрирует возможности современных технологий обработки листового металла (на которых специализируется компания Trumpf) [171]. В многосветной коммуникационно-рекреационной зоне фабрики «Фьючур Стич» на стенах развешаны яркие постеры и картины современных художников, что превращает это доступное для посетителей пространство в художественную галерею внутри производственного объекта.

Конструктивные элементы и инженерные системы подвергаются эстетической интерпретации, а не скрываются за подвесными потолками (если отсутствуют особые требования к микроклимату). Многочисленные трубопроводы и кабельные трассы

образуют строгие метрические композиции. В здании «фабрики на Земле» железобетонные капители имеют звездчатые очертания. В интерьерах фабрики «ХАВЭ» формы технологических отверстий для пропуска инженерных коммуникаций в несущих перекрестных балках исходя из эстетических соображений получили более округлый, визуально гармоничный контур. Внимание также уделяется дизайну заборных и приточных устройств и осветительных приборов. На «инновационной фабрике Брюннер» реализован уникальный прием по интеграции элементов освещения в несущие конструкции покрытия, выполненные из ДКК.

Элементы живой природы и озеленения символизируют связь интерьеров производственного объекта с окружающей средой и обладают многими положительными свойствами (см. Г.2 п.3.4).

Универсальный прием, используемый повсеместно – работа с цветом – это эффективный способ повышения архитектурной выразительности и формирования комфортной среды промышленных объектов. Использование цвета как средства улучшения эстетических качеств архитектуры имеет несколько преимуществ, основные из которых – малозатратность, высокая визуальная эффективность и формирование благоприятного психологического климата³³. В интерьерах и экстерьерах производственных зданий этот прием реализуется по нескольким наиболее часто встречающимся направлениям:

- монохромное цветовое решение, чаще всего исполняется в нейтральном ахроматическом цвете, создает ощущение целостности, подчеркивает архитектурно-композиционный замысел объекта, пластику и фактуру его поверхностей;

- акцентное цветовое решение состоит в выделении контрастными цветами на общем спокойном фоне наиболее значимых и выразительных элементов интерьера и экстерьера – входных групп, эвакуационных лестниц, границ функциональных зон, что усиливает информативность архитектурных решений;

- «пикселизация» – средство, более характерное для экстерьеров, – это мозаичное сочетание цветов, подобранных по одному из принципов построения цветовой композиции (нюансные, контрастные или дополнительные оттенки) [63, С.91], при этом границы цветов цельнократно габаритам штучных облицовочных элементов фасада (сэндвич панелям, плиткам, стеклам витража).

Многие из описанных выше приемов помимо эстетической составляющей выполняют и утилитарные функции, такие как гуманизация производственной среды, повышение энергоэффективности и экологической безопасности, увеличение информативности пространства, сигнализация. В силу своей отличности от других функциональных типов зданий промышленная архитектура обладает большей образной свободой и возможностью не следовать традиционным эстетическим и стилевым решениям. Тем не

³³ Дмитриева, А. О. Цвет как средство повышения архитектурной выразительности промышленных объектов / А. О. Дмитриева // Наука, образование и экспериментальное проектирование-2018. Труды МАРХИ: Материалы международной научно-практической конференции 2-6 апреля 2018 г. – М. : Московский архитектурный институт (государственная академия). – С. 288-291.

менее, новейшие производственные здания успешно усваивают и адаптируют многие существующие архитектурные стили и направления – параметрическая архитектура, новый минимализм, хай-тек и функционализм, эко- и «устойчивую» архитектуру [40; 57; 158].

Современное информационное общество характеризуется не только ускорением научно-технического прогресса и производственных процессов, но и процессов проектирования, строительства, ввода в эксплуатацию, трансформации и деконструкции архитектурных объектов. Восприятие и визуальное насыщение зрителя также ускоряются, это ведет к невероятной скорости изменения эстетических воззрений и предпочтений профессионального архитектурного сообщества, заказчиков, пользователей и сторонних наблюдателей. Демократичность, толерантность и кастомизация обуславливают наличие множества глобальных, региональных и авторских стилей и направлений архитектуры. В этой связи рациональной становится реализация решений, обеспечивающих мобильность, изменяемость и адаптивность эстетической составляющей архитектуры ИФ, например, применение сборно-разборных элементов и мультимедийных средств. Архитектура промышленных зданий и сооружений открыта для новых технологий, конструкций и материалов и представляет собой чрезвычайно интересную задачу по поиску новых эстетических и художественных концепций.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Перечислены факторы, определяющие рентабельность участка размещения ИФ в урбанизированной среде: глобализация производственных и бизнес- процессов, рост значимости внешней логистики, близость источников инноваций. Определено три вида размещения ИФ:

- дисперсное размещение в многофункциональной среде наукоёмких и экологически безопасных предприятий с увеличением плотности и компактности промышленной застройки путем блокировки и многоэтажной компоновки производственных структур;
- групповое размещение на территории научных и индустриальных парков в близком соседстве, с возможностью взаимодействия и обмена технологиями и идеями с такими же инновационными предприятиями;
- включение в состав образовательных кампусов, где ИФ позиционируют себя не только как центры передачи знаний и генераторы новых идей, но и как «охотники за талантами».

Рассмотрены особенности современной планировочной организации территорий ИФ, которые заключаются в следующих позициях:

- визуальная и физическая «открытость» и «проницаемость» территории;

- стремление к блокированию объектов, упрощению схемы движения транспорта и уменьшению протяженности транспортных путей;
- высокий уровень благоустройства участка;
- гибкая планировка территории, учитывающая все возможные перспективы развития предприятия.

В целом наблюдается тенденция к максимальной компактности и простоте планировочных решений, частичной многоуровневой организации генеральных планов. Такая компоновка предусматривает перемещение ряда функций и планировочных зон, традиционно находившихся в уровне земли, под здания или на кровлю ИФ.

2. Выявлен ряд новых тенденций функционального зонирования ИФ, отличающий их от традиционных производственных предприятий. Изменяется соотношение между производственными, непроизводственными и подсобными площадями. Площади производственных помещений сокращаются, но увеличивается эффективность использования пространства, непроизводственная составляющая – увеличивается, подсобная – редуцируется. В структуру ИФ интегрируются новые функции и функциональные зоны, не свойственные традиционным производственным объектам: сервисная, представительская, тренинга и обучения, энергетическая. Наблюдается мобильность и изменяемость ряда функций по площади и местоположению, а также возникновение мультифункциональных пространств с многоуровневой планировочной организацией.

Функциональное зонирование большинства современных производственных объектов подчинено одной из трех принципиальных схем: линейной, «дискретному», «ядровой». В целом, с увеличением числа функций, наблюдается переход от линейной к «дискретной» и «ядровой» схемам зонирования, от плоскостного распределения функциональных зон в пределах одного этажа с последующим тиражированием по высоте – к объемному. Объемным зонированием также предусматривается распределение функциональных зон в пространстве многоэтажного здания в зависимости от потребности этих зон в коммуникациях с внешней средой.

3. Предложен гуманистический подход (исходя из оптимального списочного состава сотрудников) к расчету наиболее рациональной площади ИФ; определены ее значения (от 9 до 23 тыс. кв. м). Помимо организационно-социальных преимуществ этот подход обладает рядом положительных аспектов с точки зрения эксплуатационных, технологических и архитектурно-строительных решений. Данный подход не является определяющим при проектировании ИФ, однако должен быть учтен при составлении ТЗ на проектирование.

4. Раскрыто понятие «осведомленности» – неотъемлемого свойства архитектурной организации пространства современных инновационных предприятий. Это свойство обеспечивается с помощью ряда приемов формирования архитектуры ИФ:

- компактизация объемно-планировочных решений;
- проектирование пространств с высоким уровнем коммуникативности;

- непосредственное пространственное сближение основных функциональных зон и создание визуальных связей между ними;
- организация центров притяжения.

Компактность объемно-планировочных решений, как важная составляющая эффективной организации современного изменяемого производства, реализуется путем увеличения этажности и ширины корпуса зданий ИФ.

5. Установлено, что на ИФ сохраняются традиционные подходы к выбору наиболее рациональной конструктивной системы, места и способа трассировки инженерных сетей, обеспечивающих гибкость архитектурной структуры. В качестве рационализирующих решений можно обозначить недифференцированный подход к выбору сеток колонн и других конструктивных параметров для различных функциональных зон, застройку сборно-разборных подсистем в основные конструктивные системы, децентрализованное размещение инженерного оборудования и модульное распределение подающих и заборных устройств. Из-за высокого уровня цифровизации производственных и эксплуатационных процессов значительно увеличивается объем соответствующего инженерного оборудования и сетей, что вызывает необходимость уделять особое внимание местам их трассировки и размещения.

6. Объемно-планировочные решения «умных фабрик» согласуются с основными аспектами устойчивого развития и «устойчивой архитектуры».

Показано, что цифровые технологии трансформируют не только производство, но и все этапы жизненного цикла ИФ: от создания концептуальной модели до деконструкции. Трансфер цифровых и технологических ноу-хау по разработке, тестированию и созданию инновационной продукции, по эффективной эксплуатации «умного» производства дает высокие результаты на аналогичных стадиях жизненного цикла архитектурных объектов. В задачи архитекторов входят не только архитектурное проектирование ИФ, выбор материалов и определение методов строительства, но и планирование путей трансформации или демонтажа объекта по окончании установленного срока эксплуатации.

7. Определено, что требование гибкости выходит за пределы производственной зоны и распространяется на всю структуру ИФ. Традиционные и новые приемы создания гибкости симбиотично дополняют друг друга. Архитектурные решения в целом должны предусматривать возможность двух противоположных векторов развития, предполагающих и наращивание, и сокращение элементов структуры. Согласованная модульность и унификация всей архитектурно-строительной структуры, ее подсистем и отдельных элементов упрощают изменяемость архитектуры ИФ.

Учет характеристик и возможностей трансформируемости, начиная с ранних стадий проектирования, приводит к созданию производственных зданий, способных следовать за быстрыми изменениями условий и технологий производства с помощью модульных и масштабируемых (расширяемых) структур и мобильных компонентов.

8. Средства и методы повышения энергоэффективности, экологической безопасности и ресурсосбережения становятся обязательной составляющей любого архитектурного проекта, в том числе и производственного предприятия. Вышеперечисленные тенденции и приемы формирования архитектуры ИФ создают предпосылки для гармоничной интеграции энергоэффективных и ресурсосберегающих решений в структуру этих зданий. Общие архитектурные методы обеспечения энергоэффективности и ресурсосбережения (поиск формы и внутренней структуры объекта) согласуются с приемами функционального зонирования и объемно-планировочными решениями ИФ. Комплексное внедрение локальных архитектурных средств (организация эффективного естественного освещения и солнцезащиты, локальная терморегуляции, интеграция природных элементов) и технических приемов (получение энергии альтернативными способами, использование низкопотенциальной энергии окружающей среды, рекуперация ресурсов, интеллектуальная эксплуатация) создает эффект эмерджентности.

9. Отмечается, что виду непрерывных настоящих и будущих трансформаций производства и общества, роста значимости интеллектуальных способностей и человеческого капитала, социально-гуманистические и эстетические аспекты формирования архитектуры промышленных предприятий станут особенно значимыми, так как их реализация улучшает производительность и повышает конкурентоспособность в борьбе за рынки сбыта, клиентов, партнеров и сотрудников.

В ближайшие десятилетия актуальность концепции устойчивого развития и направления «устойчивой архитектуры» будет только возрастать.

10. Архитектурная выразительность ИФ оказывает непосредственное влияние на успешность функционирования предприятия, благополучие и имидж компании. Применяемые средства эстетизации согласуются с общими тенденциями и аспектами проектирования ИФ. Для создания уникального и аттрактивного визуального образа новых производственных предприятий выбираются простые и экономичные приемы, сочетающие в себе и эстетические и утилитарные функции. В целом, архитектура ИФ транслирует особенности, идеи и ценности «интеллектуального производства» и рассматривается как одна из важнейших составляющих производственного процесса, способствующая не только высокой производительности, но и межличностному общению, эстетизации внешнего вида, формированию корпоративной идентичности и мотивации сотрудников.

ГЛАВА 3. АРХИТЕКТУРА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В третьей главе синтезируются принципы архитектурного формирования ИФ; рассматриваются критерии оценки качества архитектурных решений новейших производственных объектов. Разрабатывается методика поиска оптимального концептуального объемно-планировочного решения «интеллектуальных» производственных объектов с изменяемой функционально-технологической программой и концептуальные модели новых зданий ИФ. Описываются и анализируются итоги внедрения основных результатов исследования в архитектурную теорию и практику.

3.1. Принципы архитектурного формирования ИФ³⁴

3.1.1. Принцип функциональной диверсификации (см. Т. II прил. 1 Л. 3.1)³⁵

В результате многофакторного анализа объектов-представителей, систематизации и оценки тенденций и приемов архитектурного проектирования новейших производственных объектов, а также применения методов научного прогнозирования и экстраполяции современного материала были синтезированы основные принципы архитектурной организации ИФ, охватывающие все важнейшие технологические и функциональные аспекты архитектуры современных высокотехнологичных производственных объектов.

Общий кризис типологий в архитектуре проявляется как переход от монофункциональности к полифункциональности, от доминирования одной функции к паритетному сосуществованию нескольких направлений деятельности в рамках одной архитектурной структуры или градостроительного объекта [101]. Чрезвычайно актуальным становится проектирование многофункциональных комплексов с очень широким набором основных и второстепенных функций.

В отношении промышленных зданий и сооружений кризис типологии означает переход от доминирования производственной функции к взаимосвязанному и равноправному размещению ряда функционально-технологических зон, включая производственную, в границах одного объекта, то есть диверсификацию функций промышленной архитектуры [44, С.19]. Таким образом, в контексте данного исследования **диверсификация** означает расширение номенклатуры видов деятельности, включенных в архитектурный объект, добавление новых функций, функциональных зон

³⁴ Дмитриева, А. О. Новые аспекты архитектурного проектирования «интеллектуальных фабрик» / А. О. Дмитриева // Проект Байкал. – 2020. – №65. – С. 132-139.

³⁵ Диверсификация (новолат. *diversificatio* — изменение, разнообразие) — расширение ассортимента выпускаемой продукции и переориентация рынков сбыта, освоение новых видов производств с целью повышения эффективности производства, получения экономической выгоды.

и помещений, нехарактерных для традиционных промышленных зданий с целью повышения их рентабельности.

Можно выделить три уровня функциональной диверсификации современных промышленных предприятий: низкий, средний и высокий³⁶.

1. На низком уровне функциональной диверсификации производственная, основная, зона сохраняет свои доминирующий объем и центральное положение в структуре промышленного объекта и дополняется минимальным набором вспомогательных площадей, необходимых для нормальной эксплуатации предприятия. Как правило, к таким дополнительным функциональным зонам относятся административно-офисные, санитарно-бытовые и инженерно-технические помещения, складские объемы. Например, на низком уровне функциональной диверсификации находятся функциональные программы предприятия «ФАФСИ» и сборочных заводов «Хёрманн Модин» и «Модин». Для них характерны простые линейные схемы расположения основных функциональных зон, одноуровневая производственная зона и низкая плотность коммуникационных связей.

2. Средний уровень функциональной диверсификации состоит в том, что функциональная программа предприятия включает в себя два основных направления деятельности (одним из которых является производство), а также вспомогательные и подсобные задачи. В качестве второй основной составляющей могут быть интегрированы:

- административно-офисные помещения расширенного состава, например, как в производственно-офисном здании ООО «Трамф Саксония энд Ко» и на предприятии «Флэш Баттери» (Flash Battery Headquarters) (Studio Bocchi, Италия, 2020) (см Т.II прил.4 № 79);

- увеличенные складские или логистические зоны, в качестве примеров можно привести производственно-логистический центр «Хилти» и фабрику «Фраба»;

- демонстрационно-выставочные функции, например, в зданиях «Фабрики 2050» и «Умной фабрики Трамф».

При этом, в зависимости от функциональной программы конкретного объекта, второе основное направление деятельности может занимать как подчиненное, так и равноправное или превалирующее положение по отношению к производственной функции (примеры см Г.2 п.2.1).

3. Высокий уровень функциональной диверсификации предполагает наличие нескольких (трех и более) основных направлений деятельности и нескольких функциональных зон, соответствующих им. Помимо производственной зоны, такие ИФ могут одновременно включать:

³⁶ Дмитриева, А. О. Функциональное зонирование и архитектурные решения современных производственных предприятий / А. О. Дмитриева, А. А. Хрусталева // Системные технологии. – 2019. – №2 (31). – С. 103-111.

- обозначенные выше административно-офисные, логистические и демонстрационно-выставочные составляющие, например, предприятия «Фьючур Стич» и «МЦЕ» (MCE) (HEIM BALP Architekten, Румыния, 2019) (см Т.II прил.4 № 75);

- помещения для ведения научно-исследовательских работ, зоны разработки и тестирования новой продукции, в качестве примеров можно привести штаб-квартиру «ГИРА» и научно-производственный центр «БМГ МИС»;

- различные образовательные компоненты, возникающие, и как результат сотрудничества с соответствующими отраслевыми учебными заведениями, и автономно, например, «Центр новейшего производства» и «Центр передового производства (Advanced Manufacturing Center) (Cannon design & JGMA, США, 2018) (см Т.II прил.4 № 71).

Дополнительные компоненты могут быть представлены расширенными социально-рекреационными помещениями, демонстрационно-выставочными зонами и сервисными службами разного рода. Наиболее распространены объекты, интегрирующие зоны производства, офисные составляющие и помещения для исследований и разработок. Важным аспектом такой интеграции является возможность реализации полного производственного цикла – от концептуальной модели до серийного производства новой продукции, с параллельным осуществлением сопровождающих «канцелярских» операций – в пределах одного производственного здания. Например, в здании «инновационной фабрики Виттенштайн» все стадии создания новой продукции осуществляются в пределах 30-метрового радиуса. «Благодаря этому плодотворному сближению различных функциональных зон прогнозируется сокращение сроков выполнения проектов на 30%»³⁷.

Также необходимо отметить, что более высокий уровень функциональной диверсификации требует более сложной структуры внутреннего пространства и соответствующего размещения функциональных зон, более развитого архитектурно-композиционного решения, а также более насыщенной системы коммуникаций. Если на низком и среднем уровнях функциональной диверсификации допустима и оправдана линейная схема и плоскостное функциональное зонирование, то на высоком уровне такие решения уже нерациональны. Для многофункциональных производственных зданий более характерны «дискретная» и «ядровая» схемы функционального зонирования, объемное функциональное зонирование, а также многоуровневая организация пространства всего внутреннего объема (см. Г.2 п.2.1).

Высокий и средний уровни функциональной диверсификации увеличивают рентабельность предприятий в современных неустойчивых условиях экономической и производственной деятельности, создают больше возможностей адаптироваться к будущим сложнопрогнозируемым изменениям. Это дает основания говорить о постепенном уменьшении доли высокотехнологичных производственных предприятий с

³⁷ Дмитриева, А. О. Архитектура «интеллектуальных фабрик» / А. О. Дмитриева // Проект Байкал. – 2020. – №65. – С. 132-139.

низкой степенью функциональной диверсификации и о росте числа промышленных объектов с ее высокой степенью.

3.1.2. Принцип многофакторной гибкости-адаптивности (см. Т.II прил.1 Л.3.1)

Важнейшими особенностями современного производства и организационной концепции ИФ являются гибкость, изменяемость и адаптивность производственно-технологических процессов к различным внешним и внутренним факторам (см. Г.1п.2.3).

В общепринятом значении гибкость – это «многоцелевое использование [помещений] при размещении разнообразных производств и возможность беспрепятственного осуществления перепланировок и переоборудования (при замене существующей технологии более прогрессивной) без капитального переустройства самого здания» [55, С.7-8]. Многие ученые-архитекторы XX века [55; 66, С.66-76; 133] и современные исследователи в области промышленной архитектуры [22, С.35; 23; 85; 95] называют гибкость и трансформируемость цехов в числе ключевых принципов формирования архитектуры производственных зданий и сооружений. Однако, следует уточнить, что в рамках данного исследования речь идет о **новом понимании гибкости и адаптивности**. Данные свойства – это готовность не только к будущим изменениям производства, но и к трансформации других важных составляющих ИФ. Многофакторная гибкость-адаптивность имеет более широкие границы (пространственные и временные) и выходит за пределы конкретных функциональных зон и строительных объемов, стадий и сроков эксплуатации.

Было определено несколько разновидностей многофакторной гибкости-адаптивности.

1. Технологическая гибкость – возможность «по-новому» конфигурировать производственные цепочки, перемещать технологическое оборудование и рабочие места, а также другие элементы обстановочного комплекса в кратчайшие сроки и без внесения значительных изменений в пространственную структуру объекта.

2. Функциональная гибкость – осуществление быстрых и малозатратных изменений местоположения различных функциональных зон с «плавающими» границами, увеличения или уменьшения их площадей. Положительное влияние на функциональную гибкость оказывает формирование многофункциональных пространств, вмещающих несколько функций одновременно или поочередно.

3. Экономическая гибкость – это способность архитектурно-строительной структуры ИФ реагировать на изменения функционально-производственной составляющей, например на спад или рост продаж путем сокращения, расширения, трансформации архитектурных решений предприятия. Стремление к минимизации затрат

на всех стадиях жизненного цикла производственного объекта (от проектирования до деконструкции), и, следовательно, сокращение общего срока окупаемости здания ИФ, также делает здания более гибкими с экономической точки зрения.

4. Социальная гибкость – готовность адаптироваться к новым требованиям и параметрам эргономичности и комфортности пребывания человека на производстве, «вступать в диалог» с окружающей застройкой, природной или городской средой и ее резидентами. Это возможность соответствовать изменяющимся общественным представлениям, позициям и приоритетам в областях гуманизации, демократизации и безопасности производственной среды.

5. Эстетическая гибкость – интерактивность и изменяемость архитектурного образа ИФ (экстерьера и интерьера), как в течение коротких промежутков времени (сутки, неделя), так и в долгосрочной перспективе (несколько лет). Она связана со стремлением к обогащению образа промышленного объекта и с изменчивостью эстетических приоритетов проектировщиков, заказчиков и общества.

Многофакторная гибкость-адаптивность имеет определенные пределы. «Конечность» гибкости состоит в том, что сроки физического износа материалов и конструкций здания превышают время морального старения архитектурных, объемно-планировочных и функциональных решений. В условиях постоянно ускоряющегося и не поддающегося долгосрочным прогнозам технического прогресса не существует приемов, позволяющих значительно продлить сроки моральной амортизации. Поэтому представляется целесообразным сокращение заданного срока службы производственного здания, как объекта строительства, и приближение его к периоду комфортной эксплуатации с точки зрения функциональности. При этом процесс строительства необходимо понимать не как однопавленное действие по возведению неизменяемых объектов, а как одну из стадий жизненного цикла здания, допускающего возможность быстрой, простой и экономичной деконструкции или частичного демонтажа и перестройки по истечению общего (морального и физического) времени эксплуатации объекта.

Определяющим критерием современной и будущей многофакторной гибкости является скорость внесения изменений. Быстрая, легкая и малозатратная трансформируемость архитектурных решений становится приоритетнее их универсальности.

Обеспечению принципа гибкости способствует концепция «мягкого проектирования», допускающая вариативность и «незавершенность» проектных решений, которые позволяют вносить определенные изменения на более поздних стадиях проектирования и даже на ранних стадиях строительства [177, Р.223]. Эта концепция взята на вооружение рядом зарубежных архитектурных бюро, специализирующихся на промышленной архитектуре.

Таким образом, для реализации принципа гибкости-адаптивности архитектуры ИФ могут использоваться как традиционные приемы (если они не противоречат другим

принципам формирования архитектуры ИФ), так и весь спектр новейших методов и средств (см Г.2 п.3.2). Системы САПР и BIM, «виртуальный эксперимент» и «умная» аналитика позволяют принимать прогностические решения, ускорять и автоматизировать внесение изменений.

В качестве примеров объектов-представителей, в которых соблюден принцип многофакторной гибкости-адаптивности, можно привести центр разработок в Дитцингене, фабрику «Стерлинг» и здание «Субстратной Фабрики Аяс».

3.1.3. Принцип необходимой и достаточной компактности (см. Т.II прил.1 Л.3.1)

Принцип компактности является одним из основных принципов формирования «устойчивой архитектуры». Традиционно он отвечает за энергосбережение и минимизацию теплопотерь через ограждающие конструкции здания. Для определения эффективности компактных архитектурно-композиционных решений вводится коэффициент компактности – отношение внутреннего объема здания к площади ограждающих конструкций [23, С.18; 112] (см. Г.1 п.3.2). Чем меньше площадь «оболочки» по отношению к внутреннему объему, тем показатель компактности выше. Таким образом, **внешнее проявление** рассматриваемого принципа выражается в стремление к максимальному коэффициенту компактности.

Но, на современном и будущем этапах развития архитектуры ИФ первостепенное значение приобретают другие аспекты этого принципа.

Прежде всего, соблюдение необходимой и достаточной компактности обусловлено задачей организации кратчайших технологических цепочек и эксплуатационных связей, увеличением числа функциональных коммуникаций и неформальных контактов. Компактное архитектурно-композиционное решение способствует созданию «осведомленности» и коммуникативности внутренней среды (см.Г.2 п.2.1, п.3.5). **Внутренний аспект** принципа необходимой и достаточной компактности проявляется в том, что связанность и информированность требуют организации особой структуры внутреннего пространства, формирования нелинейных (разветвленных) и многоуровневых циркуляционных объемов, когда одновременно должны обеспечиваться максимальное территориальное приближение, быстрая и простая доступность основных функциональных зон. Его реализации способствуют:

- гибкость современных производственных систем;
- экологическая безопасность высокотехнологичных предприятий;
- тенденция к увеличению этажности и ширины зданий ИФ.

Кроме того, декларирование этого принципа актуально в связи с неоиндустриализацией – процессом размещения новых производственных объектов в

сложившейся урбанизированной среде при отсутствии свободных участков достаточной площади и необходимой конфигурации. Принцип необходимой и достаточной компактности согласуется с существующей тенденцией к уменьшению общей площади ИФ (см. Г.2 п.2.1), относительно традиционных производственных объектов³⁸.

При поиске **достаточно** компактного решения должны быть учтены нормы пожарной безопасности, эвакуационные требования, нормы естественного освещения и санитарные нормы [8; 11; 12; 15]. Для этого могут использоваться такие архитектурные приемы, как вынесение вертикальных коммуникаций за периметр основного объема (для многоэтажных зданий), весь спектр средств по организации естественного освещения (см Г.2 п.2.3.3). Крупные объекты, общей площадью значительно более 15 тыс. кв. м, может быть целесообразно компоновать из автономных модулей, при этом общая площадь модуля должна быть равна или кратна площади пожарного отсека, и каждый модуль в отдельности должен иметь хорошие показатели компактности. Стремление к максимальной компактности не должно входить в противоречие с необходимостью создания благоприятной и комфортной внутренней среды с точки зрения аэрации, акустики, психофизиологических показателей. Кроме того, компактное архитектурное решение здания должно соответствовать конфигурации участка строительства.

Принцип **необходимой и достаточной** компактности заключается в **компромиссе** между стремлением к максимальной компактизации и соблюдением вышеизложенных норм и требований, как правило, ограничивающих компактность.

Рассматриваемый принцип имеет и экономическое значение. Его внутренняя составляющая влияет не только на сокращение протяженности технологических цепочек и инженерных сетей, но и на уменьшение пятна застройки и требуемой площади участка, что снижает расходы на покупку или аренду земли. Внешний аспект ведет к минимизации эксплуатационных затрат. Вторым важным экономическим преимуществом реализации принципа необходимой и достаточной компактности является сокращение сроков разработки и производства новой продукции.

Примерами соблюдения принципа оптимальной компактности служат здания предприятия по производству микрочипов «АМС 2000» и центра «Нео Солар Пауэр», «инновационной фабрики Виттенштайн» и «умной фабрики Фьючур Стич», где в лаконичной «оболочке» эффективно компонуются многофункциональные программы и сложные объемно-планировочные решения.

³⁸ Там же

3.1.4. Принцип экологической ответственности (см. Т.II прил.1 Л.3.2)

В связи с прогрессирующим ухудшением экологической обстановки во всем мире, исчерпаемостью таких традиционных энергоресурсов, как нефть и газ, сегодня во всех сферах жизнедеятельности человека все больше внимания уделяется аспектам экологической безопасности и энергосбережения.

Поэтому, в числе базовых принципов формирования архитектуры ИФ, назван принцип экологической ответственности, соблюдение которого обязательно для всех типов современных архитектурных объектов. Данный принцип особенно актуален при проектировании, строительстве и эксплуатации производственных зданий и сооружений, которые нуждаются в больших объемах электроэнергии и других ресурсов, а также могут являться источниками различного рода загрязнений. Однако, при соблюдении принципа экологической ответственности, сами эти объекты могут оказывать положительное влияние на окружающую среду. Благодаря значительным масштабам, площадям и объемам производственных зданий, отличающих их от объектов гражданской архитектуры, результативность внедрения в них большинства приемов энергосбережения и энергоэффективности возрастает. Например, размер положительного эффекта от интеграции экстенсивного озеленения прямо пропорционален размерам поверхности, занимаемой озеленением. При этом плоские кровли производственных зданий, площадью несколько тысяч метров квадратных, оптимально подходят для его устройства.

Вопрос об экологической безопасности и энергетической эффективности производственных зданий начал серьезно изучаться после энергетического кризиса 1973-74 гг. Сегодня мировая архитектурная практика насчитывает тысячи примеров экологически безопасных и энергоэффективных производственных предприятий, большинство из которых сертифицированы по различным рейтинговым системам критериев «устойчивости». Яркими примерами соблюдения принципа экологической ответственности могут служить «фабрика на Земле», фабрика «Парамит» (Paramit) (Unit Architects Sdn. Bhd., Малайзия, 2017) (см Т.II прил.4 № 64) и ряд других объектов, рассмотренных ранее (см Г.1 п3.2).

Цель соблюдения принципа экологической ответственности – гармоничное сосуществование промышленной архитектуры и живой природы, сохранение окружающей среды для будущих поколений и обеспечение социально-экологических потребностей человека на всех стадиях существования архитектурного объекта (от проектирования до деконструкции). Выделено три его составляющих.

1. Превентивный аспект включает в себя меры по предотвращению негативного воздействия промышленных объектов на человека, природу и архитектурное окружение в процессе их строительства, эксплуатации и деконструкции. Он также предполагает минимизацию неблагоприятного влияния климата и окружающей среды на внутренние условия объекта, что особенно важно для ИФ с повышенными требованиями к внутреннему микроклимату и чистоте помещений. Реализация этого аспекта

осуществляется при помощи инженерно-технических и технологических средств (различные системы фильтрации, экологически безвредные производственные процессы), использования экологически безопасных, возобновляемых и сертифицированных строительных материалов, а также ряда других приемов (см Г.2 п.3.2-3.4). Превентивный аспект принципа экологической ответственности реализуется в архитектурных решениях фабрики «Фраба» и мультиарендуемых промышленных зданий в Дерио.

2. Компенсационная составляющая представляет собой действия по восполнению экологических и энергетических потерь, а также ресурсов, потребляемых в ходе строительства, эксплуатации и возможного последующего демонтажа здания ИФ. Ее основной задачей является поддержание экологического баланса между предприятием и окружающей средой путем уравнивания каждого отрицательного воздействия положительным. Например, экологические потери при строительстве компенсируются рекультивацией почв и интенсивным озеленением участка, а электроэнергия, затрачиваемая в процессе производства, может быть частично или полностью восполнена при помощи средств альтернативной энергетики, интегрированных в структуру ИФ. Этот подход был реализован при строительстве комплекса по переработке отходов Вальес-Оксиденталь (CTR Vallés Occidental) (Batlle & Amp, Roig Architects, Испания, 2008-2010) (см Т.II прил.4 № 27).

3. Стимулирующая компонента состоит в создании благоприятного экологического влияния архитектурных объектов на человека, в улучшении качества окружающей среды и преумножении биоразнообразия. Эта составляющая рассматриваемого принципа также включает в себя архитектурно-технические решения, обеспечивающие положительное влияние природных факторов на энерго- и ресурсосбережение, внутренний микроклимат и психологический комфорт. Она реализуется путем введения элементов живой природы в архитектуру ИФ, применением устройств для улучшения инсоляции, передачей излишков электроэнергии, полученной альтернативными способами на территории ИФ, в городскую сеть. Примерами интеграции стимулирующей компоненты могут служить здания штаб-квартиры «Техноальпин» и био-электростанции «Гочкис» (Hotchkiss) (Centerbrook Architects&Planner, Германия, 2012) (см Т.II прил.4 № 33).

С одной стороны, в рамках принципа экологической ответственности, архитектура ИФ должна формироваться как максимально самодостаточный и автономный объект, в котором любые воздействия на окружающую среду и потребление внешних ресурсов стремятся к минимуму. С другой стороны, здание и территория ИФ рассматриваются как часть локального сообщества и экосистемы, находящиеся во взаимодействии и гармонии с человеком, природным окружением и урбанизированной средой. Поддержание баланса между «открытостью» и «замкнутостью» является важной комплексной задачей, решить которую можно путем поиска и реализации **компромиссных и «устойчивых»** архитектурных решений.

Основной результат следования принципу экологической ответственности – это сохранение окружающей среды. Кроме этого, его внедрение на производстве позволяет достичь значительной экономии эксплуатационных расходов, и, в итоге, снизить себестоимость выпускаемой продукции. Косвенно все эти результаты также положительно сказываются на имидже и конкурентоспособности предприятия.

3.1.5. Принцип социальной экстраверсии (см. Т.II прил.1 Л.3.2)³⁹

Несмотря на рост доли автономных производственных систем и автоматизацию эксплуатационных процессов на ИФ, можно прогнозировать, что в ближайшие десятилетия люди останутся важнейшей составляющей современного высокотехнологичного производства, но состав сотрудников, их квалификация и характер труда значительно изменятся. Кроме того, реализация принципа функциональной диверсификации ведет к росту количества резидентов и посетителей современных производственных объектов. Увеличение технической и цифровой составляющих производства должны быть сбалансированы созданием комфортных и безопасных условий промышленной среды.

Принцип социальной экстраверсии заключается в создании позитивного психофизиологического влияния архитектурного объекта на человека (сотрудника, посетителя или стороннего наблюдателя), в формировании дружелюбного отношения промпредприятия к локальному сообществу, на территории которого расположен объект ИФ, и социуму в целом. Таким образом, в этом принципе заключаются два направления реализации – внешнее и внутреннее. **Внутреннее направление** является более приоритетным, так как касается сотрудников предприятия, которые ежедневно в течение многих часов находятся в тесном контакте с архитектурой ИФ. Первые «диалоги» между производственным объектом и его будущими резидентами должны происходить еще на стадиях проектирования и разработки архитектурных решений с привлечением социологов, психологов и эргономистов. Активное привлечение к работе над проектом заказчика и пользователей, а также широкого круга специалистов из различных областей является ключевой составляющей «партисипативного» подхода к архитектурному проектированию [143, Р.9]. Социальная экстраверсия подразумевает одинаково высокое качество архитектурных решений и условий внутренней среды для всех функциональных зон и помещений [157, Р.140-146]. **Внешний аспект** принципа социальной экстраверсии состоит в «открытости» и «проницаемости» производственного объекта, в ансамблевом

³⁹ Дмитриева, А. О. Влияние социальных аспектов на архитектуру производственной среды новейших промышленных предприятий / А. О. Дмитриева // Наука, образование и экспериментальное проектирование : Тезисы докладов международной научно-практической конференции, профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. – Т. 1. – М. : МАРХИ, 2020. – С. 530-532.

и функциональном взаимодействии окружающей средой. В этом проявляется дружелюбность ИФ в отношении «соседей», посетителей и сторонних наблюдателей.

Оба рассмотренных направления реализуются за счет приемов гуманизации и демократизации производственной среды (см. Г.2 п.3.5), формирования «осведомленности» (см. Г.2 п.2.1), повышения экологической безопасности и ресурсосбережения (см. Г.2 п.3.4), создания соответствующего архитектурного образа и усиления эстетической выразительности производственного объекта (см. Г.2 п.4). Также важную роль в осуществлении принципа социальной экстраверсии играют средовой и социально-технический подходы. **Средовой подход** – это архитектурно-композиционная, функциональная, экологическая и образная согласованность нового архитектурного объекта с существующим природным и рукотворным окружением [114]. **Социально-технический подход** состоит в проектировании ИФ с учетом взаимосвязи между технологическими структурами, необходимыми для выполнения производственных задач и характеристиками социальной организации (общества, рабочего коллектива), в рамках которой выполняются эти задачи, а также особенностей отдельного индивидуума [144, Р.19].

В результате соблюдения принципа социальной экстраверсии на ИФ достигается ряд конкурентных преимуществ. Внутренняя составляющая положительно влияет на рост производительности труда, мотивированность сотрудников, способствует привлечению высококвалифицированных рабочих кадров, а также создает «вдохновляющую атмосферу» [140]. Реализация внешнего аспекта формирует в общественном сознании позитивный и привлекательный имидж новейших промышленных предприятий, создает уникальный образ промышленной архитектуры, отличающий ее от объектов гражданского строительства.

В качестве примеров воплощения одновременно двух направлений принципа социальной экстраверсии можно привести фабрику «Генхеликс Биофармасьютикал» (Genhelix Biopharmaceutical) (estudioSIC, Испания, 2011) (см Т.II прил.4 № 30), цех ЧТПЗ «Высота 239» и производственно-офисное здание ООО «Хюттингер Электроник».

3.1.6. Принцип неотъемлемой комплексности (см. Т.II прил.1 Л.3.2)

Рассмотренные выше принципы формирования архитектуры ИФ взаимосвязаны и гармонично дополняют друг друга. Например, функциональная диверсификация и экологическая ответственность создают предпосылки для более эффективного осуществления социальной экстраверсии. Многофакторная гибкость и адаптивность способствуют реализации разных уровней функциональной диверсификации. Компактность положительно влияет на экологическую ответственность. Многие тенденции и приемы архитектурного проектирования ИФ (см Г.2) одновременно

участвуют в реализации нескольких принципов. Например, увеличение этажности способствует выполнению принципов гибкости-адаптивности, оптимальной компактности и экологической ответственности, а за счет приемов «устойчивости» реализуются социальная экстраверсия и экологическая ответственность. Таким образом, принципы формирования архитектуры ИФ рассматриваются только в комплексе, так как воплощение одного из них, опосредованно, но обязательно ведет к соблюдению ряда других принципов.

Комплексное соблюдение всех принципов синтезирует **синергетический эффект** – взаимное усиление положительного влияния отдельных аспектов при их взаимодействии в системе. А совокупная реализация рассмотренных приемов, методов и средств формирования архитектуры ИФ генерирует эмерджентность – возникновение у сложной системы (архитектурного объекта) новых свойств, ранее не присущих ее отдельным составляющим (обособленным приемам, средствам и методам) и переход на новый уровень качества архитектурных решений.

3.2. Разработка архитектурной концепции ИФ

3.2.1. Система критериев оценки качества архитектурных решений новейших производственных зданий (см. Т.II прил.1 Л.3.3)

Критерий – это определенный признак или характеристика, на основании которого принимается решение по оценке какого-либо параметра на комплементарность предъявляемым требованиям. Поэтому критерии оценки качества архитектурных решений новейших производственных зданий необходимы для определения степени соответствия этих объектов высоким требованиям по организации инновационных производственных процессов, гуманизации внутренней среды и обеспечению «устойчивости».

На основе принципов архитектурного формирования ИФ и существующих рейтинговых систем оценки устойчивости (LEED, «Зеленые стандарты») разрабатывается номенклатура показателей, характеризующих качество всего объекта в целом и его отдельных аспектов. Она включает в себя как показатели, характерные для промышленных объектов, так и общепринятые критерии качества проектных решений и актуальные тенденции в области современной архитектуры [84, С.156]. Все показатели качества можно разделить на несколько основных групп.

1. Производительность и функциональность – требуют таких архитектурных решений, которые удовлетворяют следующим позициям:

- соответствие ТЗ на проектирование;
- функционирование производства и сопутствующих направлений деятельности в штатном режиме;

- извлечение экономической выгоды в процессе производства;
- соблюдение норм безопасности (в том числе и пожарной безопасности);
- создание кратчайших технологических, функциональных и коммуникационных связей между основными группами зон и помещений;
- выполнение действующих регламентов, норм и правил в области проектирования и строительства промышленных зданий и сооружений.

2. Экономическая целесообразность и обоснованность – состоят в сокращении стоимости, материалоемкости и трудоемкости всех этапов жизненного цикла объекта при помощи архитектурных средств и передовых способов проектирования, строительства, эксплуатации и деконструкции объекта. Например, BIM-технологии сокращают сроки, а следовательно, и затраты на стадии проектирования; использование строительных материалов высокой степени заводской готовности – на стадиях возведения и демонтажа. Компактизация объемов и рациональное сокращение площадей уменьшают стоимость строительства и эксплуатации объекта в целом.

3. Соответствие архитектурных решений концепциям «устойчивости» включает в себя:

- обеспечение энергоэффективности и экологической безопасности путем рационального и обоснованного выбора соответствующих методов и приемов (см. Г.2 п.3.4) при оценке полноты и целесообразности их внедрения по различным рейтинговым системам [107, С.225-258];

- формирование гуманной, всесторонне комфортной и безопасной производственной среды [107, С.259-280], а также коммуникативности и благоприятной психофизиологической обстановки с помощью определенных приемов и средств архитектуры и дизайна (см Г.2 п.3.5);

- гибкость и адаптивность архитектуры, определяемые по комплементарности следующим критериям:

- реализация всего спектра приемов и средств повышения гибкости (см Г.2 п.3.2-3.3), и, как следствие, возможность многовариантной организации производственного процесса;

- внедрение различных аспектов принципа многофакторной гибкости-адаптивности (см. Г.3 п.1), в том числе обеспечение гибкости и изменчивости функционального зонирования.

4. Привлекательность архитектуры, как способность вызывать интерес и позитивное отношение, включает в себя:

- «открытость», «проницаемость» и «дружелюбность» по отношению к сторонним реципиентам, активное взаимодействие с архитектурным и природным окружением;

- коммуникативность и информативность пространства;

- формирование средствами архитектуры имиджа компании-владельца, косвенное повышение конкурентоспособности;

- трансляция корпоративных ценностей, идей и мотивов;

- выразительность и эстетичность архитектуры производственных объектов, синтезируемые при помощи соответствующих приемов (см Г.2 п.4).

5. Скорость изменяемости является относительно новым критерием, значимость которого в краткосрочной перспективе (25-30 лет) будет только возрастать [128]. Он состоит в сокращении продолжительности ряда операций и стадий жизненного цикла производственных объектов и включает в себя две компоненты:

- объемно-планировочные приемы, обеспечивающие соблюдение и уменьшение сроков всех видов технологических операций;
- проектные, архитектурные и строительные средства и методы, дающие возможность сокращения времени внесения каких-либо изменений в архитектурно-пространственную структуру объекта;

6. Соответствие субъективным требованиям и пожеланиям заказчика, которые не обоснованы принципами архитектурного формирования ИФ, но и не противоречат им. Для соблюдения этого критерия применяются «партисипативный» и социально-технический подходы к проектированию.

Все вышеперечисленные критерии оценки качества архитектурных решений можно разделить на:

- строго обязательные;
- необходимые;
- опциональные.

К группе **строго обязательных** позиций относятся [84]:

- работоспособность производственного объекта в заданных условиях эксплуатации;
- многоаспектная безопасность (пожарная, производственная, экологическая);
- соответствие требованиям национальных и международных стандартов, нормам и регламентам.

Необходимые компоненты – это критерии, определяющие производительность и функциональность, а также соответствие требованиям и пожеланиям заказчика.

Опциональные позиции могут выполняться полностью или частично, в большем или меньшем объеме. Они включают в себя широкий спектр критериев, относящихся к аспектам «устойчивой архитектуры», привлекательности, экономической целесообразности и скорости внесения изменений.

Для количественной оценки характеристик качества архитектурных решений необходимо введение условной системы численных показателей – балльной оценки [24, С.93-94]., как, например, в существующих отечественной и зарубежной рейтинговых системах оценки «устойчивости». Преимуществом балльной системы является возможность сведения разных аспектов (архитектурных, технических, экономических, социальных, эстетических и др.) к единой количественной форме. Таким образом, при оценке объекта ИФ по балльной системе за соблюдение каждого из критериев засчитываются баллы. Эффективность выполнения того или иного показателя,

определяемая как соотношение между достигнутыми результатами и использованными ресурсами, и полнота его реализации могут выражаться количеством начисляемых баллов (один или несколько). При невыполнении ряда необходимых критериев баллы могут вычитаться, а в случае несоблюдения строго обязательных позиций – полностью аннулироваться.

Описанные выше группы критериев оценки не равнозначны между собой. Приоритетность тех или иных критериев меняется и зависит от внешних факторов, индивидуальных для каждого конкретного объекта. Эти факторы складываются из:

- условий возведения (характеристики участка, окружающей среды и застройки);
- особенностей функциональной программы объекта;
- производственной специализации предприятия;
- источников финансирования;
- субъективных представлений заказчика.

Например, если ИФ располагается в городской среде с высокой или средней плотностью застройки, возрастает значимость критериев экологичности, гуманности и привлекательности, а в условиях слабо урбанизированной среды на первый план могут быть выдвинуты экономические факторы. При проектировании производственных зданий с часто изменяемой функционально-технологической программой особое внимание должно быть уделено максимальному выполнению показателей гибкости-адаптивности и скорости внесения изменений. Критерии производительности и функциональности представляются однозначно важными вне зависимости от внешних факторов. Для обозначения степени важности тех или иных позиций в каждом конкретном случае могут вводиться индивидуальные повышающие и понижающие коэффициенты для разных групп критериев оценки качества.

Анализ объекта по критериям качества должен начинаться еще на этапе его разработки. По окончании проектирования необходимо предусматривать систематизированный и критический анализ полученных результатов на соответствие критериям оценки качества, в ходе которого:

- устанавливаются количество и полнота выполнения критериев (присваиваются соответствующие баллы);
- ведется поиск несоответствий и несогласованности с предъявляемыми критериями;
- определяются меры по корректировке несоответствий, в случае их обнаружения.

Каждая группа критериев оценки применима к нескольким или сразу ко всем стадиям жизненного цикла объекта – оценка качества архитектурных решений ИФ имеет комплексный **поликритериальный** и **многостадийный** характер (табл.7) [60, С.40-41]. При помощи современных технологий компьютерного моделирования, «цифровых двойников» и «виртуального эксперимента»⁴⁰ еще на стадии проектирования можно

⁴⁰ «Виртуальный эксперимент» - виртуальный анализ производительности «интеллектуального предприятия» при различных сценариях эксплуатации, с учетом максимальной консолидации всех внешних (природно-климатических и антропогенных) и внутренних (функционально-технологических) факторов.

прогнозировать и верифицировать соответствие нового производственного объекта критериям качества на будущих этапах его жизненного цикла (эксплуатация, трансформация, реновация или деконструкция).

В результате суммирования балльных значений по итогам оценки объекта по всем группам критериев с учетом индивидуальных повышающих и понижающих коэффициентов устанавливается **комплексный количественный показатель качества архитектурных решений ИФ**. При многовариантном проектировании и наличии нескольких модификаций архитектурных решений ИФ можно путем проведения поликритериальной и многостадийной оценок и последующего сравнения их комплексных количественных показателей качества выбрать самый рациональный вариант.

		Основные стадии жизненного цикла производственного объекта				
		проектирование	строительство	эксплуатация	адаптация / трансформация	демонтаж / реновация
Группы критериев оценки качества	производительность и функциональность		√	√	√	
	экономическая целесообразность и обоснованность	√	√	√	√	√
	"устойчивость"	√	√	√	√	√
	привлекательность			√	√	
	скорость	√	√		√	√
	требования и пожелания заказчика	√	√	√	√	√

Табл.7. Матрица применимости групп критериев оценки к основным стадиям жизненного цикла архитектурного объекта

Несмотря на то, что на данный момент для каждого проекта приоритетность критериев устанавливается индивидуально, отмечается, что в перспективе все группы критериев оценки качества архитектурных решений ИФ станут одинаково значимы. При этом из-за обострения экологической ситуации во всем мире, роста влияния социальных и эстетических факторов важность экономического критерия будет уменьшаться, а актуальность показателей «устойчивости» и привлекательности, наоборот, – возрастать.

Рассмотренные выше критерии позволяют составить достаточно объективную оценку качества архитектурных решений ИФ и сделать обоснованный выбор наиболее целесообразного решения при наличии нескольких возможных вариантов. В целом, соблюдение этих критериев будет способствовать повышению качества промышленной архитектуры.

3.2.2. Методика постадийного переменного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения (см. Т.II прил.1 Л.3.4)

Методика постадийного переменного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения разработана на основе изучения объектов-представителей, практики зарубежных архитектурных бюро, специализирующихся на промышленной архитектуре (АТР, Barkow & Libenger, GH+A, HENN Arkitekten), и личного опыта автора. Она согласуется с тенденциями по цифровизации процесса проектирования – использованию современных компьютерных инструментов, BIM-проектирования, «цифровых двойников» и «виртуальных экспериментов». Данная методика представляет собой описание наиболее короткой последовательности рациональных действий по разработке функционально-планировочного решения ИФ на этапе архитектурно-градостроительного решения или стадии «эскиз-идея» учебного проектирования [76, С.140]. **Постадийность** методики предполагает выделение нескольких обязательных к выполнению этапов и строгое соблюдение последовательности их прохождения. **Переменность** заключается в параллельной разработке нескольких модификаций (вариантов) с отказом от наименее целесообразных версий в конце каждого этапа.

Разработанная методика удовлетворяет основным требованиям к ведению поиска концептуальных решений. Для нее характерны:

- универсальность (по типологии, по масштабу объектов);
- простая по составу и небольшая по объему исходная информация позволяет оперативно варьировать основные параметры моделирования и обеспечивает наглядность зависимости результатов от изменения исходных параметров [96, С.9-10];
- цикличность операций – повтор основных действий и проведение оценки полученных вариантов на каждом последующем этапе проектирования.

Методика постадийного переменного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения состоит из четырех этапов.

На первом этапе, исходя из технического задания на проектирование [5], формируются укрупненные функциональные блоки объекта. Целесообразно выделять следующие составляющие:

- производственная;
- складская;
- исследований и разработок (при ее наличии в ТЗ);
- административно-офисная;
- централизованная санитарно-бытовая;
- инженерно-техническая;
- централизованная социально-рекреационная (при ее наличии в ТЗ);

- другие специальные составляющие (исходя из ТЗ).

Проводится количественное сопоставление их площадей, определяются усредненные высоты и минимальные рациональные габариты укрупненных блоков «в чистоте». Например, минимальный рациональный габарит в плане для производственной составляющей может быть равен 12-15 м, для административно-офисной – 6-8 м, для складской, в случае использования автоматизированных высотных складов, – минимальная ширина блока⁴¹ составляет 3 м. Все габариты укрупненных функциональных зон должны соответствовать МКРС [2]. Высотные габариты разных блоков в пределах одного уровня-этажа целесообразно принимать равными или кратными между собой. Например, высоту производственных пространств следует устанавливать равной двум или полутора высотам административно-офисной зоны и / или блока исследований и разработок.

Далее в каждый из «чистых» объемов укрупненных составляющих включается определенный процент «запаса», рассчитанный на:

- вертикальные и горизонтальные коммуникации (производственно-технологические, инженерные, людские) – «запас 1»;
- рассредоточенные подсобные и санитарно-бытовые помещения, а также рекреационные зоны, приближенные к рабочим местам – «запас 2»;
- плавающие функциональные компоненты – сервисные, демонстрационные, тренинга и обучения (при их наличии в ТЗ) – «запас 3».

В зависимости от предполагаемой этажности ИФ и конкретной программы-задания суммарный «запас» может составлять от 10% до 25%. «Запас» объемов и площадей на конструктивные элементы выходит за пределы концептуальной стадии и разработанной методикой не учитывается.

Затем, в соответствии с ТЗ, устанавливается возможность / необходимость деления сформированных укрупненных функциональных объемов на части. Например, если площадь объекта значительно превышает 15 тыс. кв. м, то рациональным представляется его формирование не единым объемом, а в виде комплекса из нескольких корпусов-модулей. Тогда все основные функциональные блоки будут разделены на количество частей, равное предполагаемому количеству автономных модулей. В остальных случаях не рекомендуется разбивать на части функциональные объемы производства и склада, централизованных санитарно-бытового и социально-рекреационного блоков. Деление функциональной составляющей на части, размерами меньше, чем определенные минимальные габариты, не целесообразно.

В конце первого этапа требуемые объемы основных функциональных блоков (определенные исходя из программы-задания, с учетом «запасов» и вышеперечисленных рекомендаций) визуализируются с помощью компьютерного моделирования.

⁴¹ Блок состоит из двух стеллажей и автоматизированного крана-штабелера между ними. В зависимости от положения, размеров и количества рядов ячеек стеллажа ширина блока может изменяться.

На втором этапе из полученных укрупненных функциональных объемов komponуется шесть-восемь вариантов их взаимного расположения. В процессе варибельной компоновки особое внимание уделяется соблюдению принципа необходимой и достаточной компактности. Для создания наиболее компактной объемной композиции конфигурации планов укрупненных функциональных блоков могут изменяться при условии соблюдения ранее установленных площадей и объемов, а также минимальных рациональных габаритов. Также допускается формирование укрупненных функциональных составляющих в несколько уровней-этажей с учетом сохранения общего объема. Создавая наиболее компактную форму, необходимо стремиться к отсутствию пространственных лакун и пространственных «хвостов» – частей функциональных объемов значительно выступающих за пределы общего контура. С этой целью допускается отсекаание «хвостов» и заполнение небольших лакун объемами, функциональное назначение которых может быть определено на следующих стадиях. Различные варианты взаимного расположения укрупненных функциональных блоков должны соотноситься с характеристиками участка будущего размещения ИФ (площадь, конфигурация, рельеф, примыкание к улично-дорожной сети, ориентация по сторонам света и др.).

При поиске вариантов компоновок взаимного расположения укрупненных функциональных объемов целесообразно опираться на различные сочетания:

- схем функционального зонирования (линейная, «дискретная», «ядровая») (см Г.2 п.2.1);
- количества уровней-этажей производственной зоны (одноэтажная, двухэтажная, многоэтажная);
- энергоэффективных приемов объемно-планировочных решений («светлое и темное ядро») (см Г.2 п.3.4).

Необходимо учитывать, что использование линейной схемы функционального зонирования для ИФ с расширенной функциональной программой не рационально, а увеличение этажности производственной зоны (2-6 этажей) положительно сказывается на компактизации объекта.

После составления шести-восьми вариантов взаимного расположения укрупненных функциональных блоков производится их оценка. При помощи показателей системы критериев оценки качества архитектурных решений (см Г.3 п.2.1) оценивается потенциал «устойчивости» сформированных модификаций. Количественной оценке подлежат:

- компактность объемно-планировочного решения, которая оценивается с помощью коэффициента компактности (см Г.1 п.3.2);
- энергоэффективность общей формы объекта, определяемая путем сравнения полученных соотношений общей длины, ширины и высоты с оптимальными показателями – соотношение высоты к длине здания 1:4 и приближенная к квадрату форма плана;

- отклонения полученных площадей укрупненных функциональных зон от первоначально определенных значений (в случае отсекания «хвостов» и заполнения лагун при компоновке оцениваемой вариации).

Для участия в следующем этапе отбирается 50% конфигураций, получивших наиболее высокую оценку.

На третьем этапе отобранные модификации уточняются путем интеграции в укрупненные функциональные составляющие необходимых коммуникационных компонентов (пространств вертикальных и горизонтальных коммуникаций, производственно-технологических связей, шахт и магистралей инженерных сетей и др.). Количество и типы коммуникаций определяются исходя из программы-задания, этажности и взаимного расположения функциональных зон в каждом конкретном варианте. Рационально располагать коммуникационные пространства на стыках функциональных зон и стремиться к уменьшению протяженности всех типов коммуникаций (производственно-технологических, людских, инженерных). Суммарный объем коммуникаций не должен превышать объема «запаса 1», выделенного на первом этапе. Поиск мест их трассировки также может иметь переменный характер. Рекомендуется формирование не более двух-трех вариантов размещения коммуникационных компонентов для каждой отобранной после второго этапа конфигурации.

После фиксации мест расположения коммуникационных компонентов полученные пространства и зоны повторно оцениваются на соответствие критериям «устойчивости». Количественной оценке подвергается длина технологических и коммуникационных связей, протяженность магистральных инженерных сетей – чем она короче, тем рациональнее объемно-планировочное решение рассматриваемой модели. Возможность реализации «осведомленности» оценивается по следующим параметрам:

- протяженность границ между различными функциональными зонами – чем она больше, тем выше потенциал «осведомленности»;
- наличие точек стыковки более чем двух функциональных зон – мест, наиболее подходящих для формирования циркуляционных узлов; их количество.

Для участия в следующем этапе отбирается 25% конфигураций этапа три, оцененных наиболее высоко.

На четвертом этапе выполняется уточнение отобранных функционально-планировочных решений. В рамках укрупненных функционально-планировочных объемов выделяются компоненты «запасов 2 и 3» – рассредоточенные санитарно-бытовые, подсобные помещения, рекреационные зоны и плавающие функциональные компоненты. Выбор мест их размещения также может иметь переменный характер; для этого рационально использовать пространственные лагуны, образовавшихся на втором этапе (при их наличии). Рекомендуется формировать не более двух-трех вариантов

локации компонентов «запасов 2, 3» для каждой из отобранных после предыдущего этапа конфигураций.

Оценка вариантов уточненных функционально-планировочных решений проводится по показателям системы критериев оценки качества архитектурных решений (см Г.3 п.2.1). Приоритетность групп критериев оценки устанавливается исходя из программы-задания и личных представлений субъекта оценки. По завершению оценки выбирается один вариант, оцененный наиболее высоко, – это и есть **оптимальное концептуальное функционально-планировочное решение ИФ**.

Поиск оптимального функционально-планировочного решения на концептуальной стадии очень важен, так как именно на этом этапе проектирования закладывается будущая стоимость объекта. Выбор рационального решения позволяет минимизировать субъективный фактор. Разработанная методика предоставляет быстрый, эффективный и обоснованный способ формирования концептуального функционально-планировочного решения, подготавливает качественную и содержательную базу для последующих этапов проектирования ИФ. Эффективность применения методики выражается в потенциальном улучшении показателей компактности, энергосбережения и энергоэффективности, в повышении гибкости и адаптивности, в организации функциональной связанности и коммуникативности.

3.3. Внедрение результатов исследования в современную архитектурную теорию и практику

3.3.1. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ (см. Т.II прил.1 Л.3.5-3.16)

Результаты научного исследования были интегрированы в экспериментальное моделирование архитектуры производственных зданий и учебное проектирование.

На основе общих тенденций и приемов архитектурного проектирования ИФ (см Г.2 п.1-5), принципов архитектурного формирования высокотехнологичных промышленных объектов (см Г.3 п.1) и разработанной методики постадийного варибельного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения (см Г.3 п.2.2) была создана графическая **прямоугольная матрица концептуальных архитектурно-пространственных моделей ИФ**. Размер поля матрицы три на четыре ячейки был обусловлен, с одной стороны, набором рассмотренных схем функционального зонирования современных производственных зданий (линейная, «дискретная», «ядровая» – три строки), с другой – сочетанием количества основных функций и этажности производственной зоны (четыре столбца). В «шапке» столбцов приводятся комбинации средней и высокой степеней функциональной диверсификации с производственной зоной, компонуемой в один или несколько уровней-этажей. На среднем уровне

функциональной диверсификации в качестве двух основных направлений деятельности выбраны производственная и административно-офисная составляющие, на высоком уровне функциональной диверсификации к ним добавлена компонента исследований и разработок. Низкая степень функциональной диверсификации не рассматривается, как неперспективная и не отвечающая основным тенденциям и принципам формирования архитектуры ИФ. При этом анализ современной архитектурной практики и наличие функционально-технологической специфики ряда высокотехнологичных производств обосновывают включение в матрицу объектов с линейной схемой функционального зонирования и одноэтажной производственной зоной. В этих случаях используются приемы построения архитектурно-пространственных моделей ИФ, «компенсирующие» недостатки расположения зоны производства в одном уровне.

В результате построения матрицы были получены 11 архитектурных концептуальных моделей ИФ, иллюстрирующих наиболее рациональное объемно-планировочное решение для каждого пересечения значений столбцов и строк матрицы. В одном варианте выявлена нецелесообразность сочетания линейной схемы функционального зонирования с высокой степенью функциональной диверсификации и одноэтажным размещением зоны производства. Каждая разработанная модель оценивалась по следующим параметрам:

- соотношение площадей основных функциональных зон;
- основные строительные параметры и показатели компактности объемно-планировочного решения;
- потенциал формирования «осведомленности»;
- соответствие критериям системы оценки качества архитектурных решений производственных зданий.

Ниже следует описание сформированных моделей.

Модель №1. Средняя степень функциональной диверсификации, одноэтажная производственная зона, линейная схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

- длина – 84,0 м;
- ширина – 72,0 м;
- высота (без учета подземной части) – 12,0-16,0 м;
- общая площадь – 11,1 тыс. кв. м;
- строительный объем – 84,7 тыс. куб. м;
- коэффициент компактности – 7,87.

Соотношение площадей функциональных зон:

- производственная – 36,2%;
- складская – 9,6%;
- административно-офисная – 30,0%;
- санитарно-бытовая – 4,9%;
- инженерно-техническая – 6,5%;

социально-рекреационная – 7,4%;
коммуникационная – 5,4%.

Использована традиционная схема линейного функционального зонирования и частичного зонирования всего объема по вертикали. С помощью разработанной методики (см. Г.3 п.2.2) определено, что проектирование объектов с таким сочетанием этажности производственной зоны и схемы функционального зонирования рационально, если их площадь не превышает 10-12 тыс. кв. м, так как только при таком условии возможно сохранение достаточного коэффициента компактности и баланса площадей основных функциональных зон ИФ, максимально приближенного к усредненным значениям (см Г.2 п.2.1).

Одноэтажная производственная зона имеет ортогональную форму плана близкую к квадрату и увеличенную высоту (12 м). С одной, более протяженной стороны, она граничит со складским помещением, с другой – с многоэтажным блоком непроизводственного функционального назначения. В первом этаже блока располагаются санитарно-бытовые и социально-рекреационные помещения, а также входная группа. По второму, третьему и четвертому этажам распределена административно-офисная зона. Часть административно-офисных площадей, рассредоточенные рекреационные зоны и помещения инженерно-технического назначения находятся над производственной зоной. Три рекреационных пространства сформированы в виде небольших остекленных внутренних дворики – таким образом организуется дополнительное естественное освещение офисных помещений вокруг дворики и производственных площадей под ними.

Так как производственные площади расположены в одном уровне, технологические вертикальные коммуникации отсутствуют. Эксплуатационные связи осуществляются при помощи трех лестнично-лифтовых узлов, расположенных по торцам и в середине непроизводственного блока. Благодаря такому их расположению обеспечиваются кратчайшие эксплуатационные связи. «Центральное» место локации основного инженерно-технического помещения также обеспечивает сокращение длины инженерных коммуникаций.

Данная объемно пространственная схема обладает достаточным потенциалом «осведомленности» за счет протяженной границы между производственным помещением и многоэтажным непроизводственным блоком. Внутренние дворики – рекреационные зоны могут частично компенсировать отсутствие более выраженных (планировочно и функционально) «центров притяжения».

Модель №2. Средняя степень функциональной диверсификации, одноэтажная производственная зона, «дискретная» схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

длина – 96,0 м;

ширина – 66,0 м;
высота (без учета подземной части) – 12,0-15,0 м;
общая площадь – 10,1 тыс. кв. м;
строительный объем – 77,7 тыс. куб. м;
коэффициент компактности – 7,0.

Соотношение площадей функциональных зон:

производственная – 40,1%;
складская – 5,7%;
административно-офисная – 23,6%;
санитарно-бытовая – 4,6%;
инженерно-техническая – 5,8%;
социально-рекреационная – 7,1%;
коммуникационная – 13,1%.

Для данной комбинации функциональной схемы и этажности зоны производства стремление к сохранению рационального для ИФ соотношения площадей основных функциональных зон и компактности объемно-планировочных решений приводит к необходимости уменьшения общей площади объекта.

Трехуровневый коммуникационный коридор является осью – дискретным пространством. С одной протяженной стороны к нему примыкают одноэтажные производственная и складская зоны, с другой – трехэтажная административно-офисная зона, на первом этаже которой расположены санитарно-бытовые и социально-рекреационные помещения. Санитарные узлы на верхних этажах примыкают к коммуникационной оси. На втором и третьем этажах по административно-офисной зоне равномерно распределены рекреационные пространства для кратковременного отдыха. Блоки инженерно-технического оборудования вынесены на кровлю над производственной зоной.

Лестнично-лифтовые узлы расположены в торцах коммуникационной оси. Дополнительная эвакуационная лестница вынесена на протяженный фасад административно-офисной части. В дискретном пространстве установлены открытые лестницы, увеличивающие коммуникативность между смежными этажами.

Коммуникационный коридор – общее рекреационное пространство – способствует формированию «осведомленности». Устройство светового фонаря над ним создает дополнительное естественное освещение. Целостность основных функциональных блоков увеличивает их внутреннюю гибкость.

Расположение складской зоны по короткому торцу производственного помещения обеспечивает оптимальное соотношение этих зон, но уменьшает их связанность. В целом, необходимо учитывать, что формирование циркуляционного дискретного пространства, без интеграции в него дополнительных функций, ведет к нерациональному расходу внутреннего объема.

Модель №3. Средняя степень функциональной диверсификации, одноэтажная производственная зона, «ядровая» схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

- длина – 96,0 м;
- ширина – 96,0 м;
- высота (без учета подземной части) – 12,0 м;
- общая площадь – 11,2 тыс. кв. м;
- строительный объем – 93,1 тыс. куб. м;
- коэффициент компактности – 7,5.

Соотношение площадей функциональных зон:

- производственная – 46,1%;
- складская – 7,7%;
- административно-офисная – 25,0%;
- санитарно-бытовая – 4,5%;
- инженерно-техническая – 7,6%;
- социально-рекреационная – 5,2%;
- коммуникационная – 3,9%.

Данная модель имеет центрально симметричную композицию. Складские и инженерно-технические площади, административно-офисные, социально-рекреационные и санитарно-бытовые помещения попарно формируются с четырех сторон «ядра» – одноэтажной производственной зоны, квадратной в плане. Такая форма плана в сочетании с симметричным расположением функциональных зон позволяет, при необходимости, разделить не только производственную площадь, но и всю архитектурно-пространственную модель на две или четыре автономные части, или сохранить ее целостность. При этом пространство производственной зоны обладает высокой степенью гибкости и трансформируемости. В непроизводственных трехэтажных блоках на первом этаже располагаются входная группа, санитарно-бытовые и социально-рекреационные помещения, на втором и третьем – административно-офисные помещения, рассредоточенные санитарные узлы и рекреационные зоны.

Вертикальные коммуникации внутри непроизводственных блоков осуществляются при помощи двух лестнично-лифтовых узлов, а коммуникации между парами блоков – при помощи галерей-переходов в верхнем уровне производственной зоны. За счет этих галерей, которые опоясывают производственное помещение, формируется «осведомленность».

Внешнее расположение непроизводственных функциональных зон позволяет изменять их объем, исходя из программы-задания конкретного объекта. В целом, несмотря на средний показатель компактности, данная модель обладает хорошими свойствами гибкости-адаптивности.

Модель №4. Средняя степень функциональной диверсификации, многоэтажная производственная зона, линейная схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

- длина – 60,0 м;
- ширина – 54,0 м;
- высота (без учета подземной части) – 24,0 м;
- общая площадь – 14,9 тыс. кв. м;
- строительный объем – 74,3 тыс. куб. м;
- коэффициент компактности – 8,67.

Соотношение площадей функциональных зон:

- производственная – 40,6%;
- складская – 7,7%;
- административно-офисная – 27,9%;
- санитарно-бытовая – 3,8%;
- инженерно-техническая – 5,8%;
- социально-рекреационная – 7,7%;
- коммуникационная – 6,5%.

Использована схема линейного функционального зонирования по вертикали. Здание ИФ имеет пять этажей (высота производственных этажей составляет 6 м, непромышленных – 4 м). В уровне первого этажа размещаются складская и санитарно-бытовая зоны, часть социально-рекреационных площадей, а также входная группа и часть помещений для размещения инженерно-технического оборудования, в первую очередь, связанного с внешними сетями. На втором и третьем этажах находятся производственные помещения, на четвертом и пятом – административно-офисные и рекреационные зоны, а также вторая часть помещений инженерного оборудования. Технологические и функциональные коммуникации осуществляются при помощи двух блоков, включающих в себя лестницы, пассажирские и грузовые лифты. Санитарные узлы примыкают к блокам вертикальных коммуникаций. Освещение административно-офисных помещений и нижележащей производственной зоны осуществляется при помощи двух атриумов-колодцев в уровне четвертого-пятого этажей, где формируются рекреационно-коммуникативные зоны. Отверстия в перекрытии между первым и вторым этажами, расположенные под атриумами-колодцами, обеспечивают поступление естественного света в центральную часть первого этажа производственного объема и служат дополнительным способом организации производственно-технологических коммуникаций.

Все функциональные зоны скомпонованы в цельные гибкие пространства простой формы. Для увеличения гибкости использован прием вынесения коммуникационных узлов за пределы общего периметра объекта [49] (см. Г.3 п.1.3). Практически полная центральная симметричность объекта (кроме первого этажа) позволяет, при

необходимости, организовать автономное функционирование его «половинок» или «четвертей».

В качестве недостатка можно отметить низкий потенциал осведомленности, который, однако, частично компенсируется общими входной группой и коммуникационными узлами.

Модель №5. Средняя степень функциональной диверсификации, многоэтажная производственная зона, «дискретная» схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

- длина – 66,0 м;
- ширина – 54,0 м;
- высота (без учета подземной части) – 24,0 м;
- общая площадь – 15,06 тыс. кв. м;
- строительный объем – 85,54 тыс. куб. м;
- коэффициент компактности – 9,17.

Соотношение площадей функциональных зон:

- производственная – 46,6%;
- складская – 3,1%;
- административно-офисная – 22,1%;
- санитарно-бытовая – 3,8%;
- инженерно-техническая – 5,4%;
- социально-рекреационная – 7,4%;
- коммуникационная – 11,6%.

В качестве «дискретного» компонента выступает многосветное пространство атриума. С одной из его протяженных сторон расположена четырехэтажная производственная зона с отделом дистрибуции на первом этаже, с другой – непроизводственный шестиэтажным объемом с централизованными санитарно-бытовыми и социально-рекреационными площадями на первом этаже и административно-офисными помещениями на 2-6 этажах. С одного торца объект фланкируется вертикальным автоматизированным складом, который может обслуживать не только производственную, но и административно-офисную часть. Децентрализованные инженерно-технические помещения расположены в торцах непроизводственной части на первом и последнем этажах. Санитарные узлы – в торцах атриума, а также в торце автоматизированного склада на границе с зоной производства. На каждом этаже имеются рассредоточенные рекреационные зоны для кратковременного отдыха.

Вертикальные технологические коммуникации осуществляются через автоматизированный склад. Кроме того, на границе производственной зоны и складского объема установлены грузовые лифты для транспортировки негабаритных грузов. Пассажирские лифты и лестницы находятся в пространстве атриума со стороны, примыкающей к административно-офисным помещениям. Эвакуационные лестницы (по

две для каждой части) вынесены за периметр объекта. Связь между производственной и непроизводственной частями осуществляется при помощи мостов-переходов в пространстве атриума.

Благодаря разной высоте этажа производственных (6 м) и непроизводственных (4 м) помещений использован прием «подведения под одну кровлю» частей здания разной этажности.

Атриум обеспечивает естественное освещение помещений вокруг него и служит дополнительным местом для рекреации. Кроме того, из-за его небольшой глубины создается возможность визуальных контактов между зонами расположенными с разных сторон атриума.

Ввиду высокого коэффициента компактности данная модель хорошо подходит для размещения в урбанизированной среде, на ограниченных по площади территориях. Однако данный вариант взаимного расположения функциональных зон не предполагает возможности размещения нескольких предприятий в этом объекте.

Модель №6. Средняя степень функциональной диверсификации, многоэтажная производственная зона, «ядровая» схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

- длина – 78,0 м;
- ширина – 60,0 м;
- высота (без учета подземной части) – 24,0 м;
- общая площадь – 16,5 тыс. кв. м;
- строительный объем – 95,04 тыс. куб. м;
- коэффициент компактности – 9,0.

Соотношение площадей функциональных зон:

- производственная – 49,1%;
- складская – 8,1%;
- административно-офисная – 20,7%;
- санитарно-бытовая – 3,7%;
- инженерно-техническая – 5,3%;
- социально-рекреационная – 7,0%;
- коммуникационная – 6,1%.

В основе данной модели лежит энергоэффективная схема организации внутренней структуры «темное ядро» (см Г.2 п.3.4). Автоматизированный высотный склад и инженерно-технические помещения по двум сторонам от него образуют в плане крест – «ядро», вокруг которого komponуются четыре этажа производственных помещений; часть первого этажа занимают зоны дистрибуции. По двум противоположным торцам получившегося объема находятся шестиэтажные блоки с непроизводственными функциональными зонами, включающими в себя централизованные социально-рекреационные помещения на первом этаже, санитарно-бытовые – на втором и

административно-офисные – на третьем-шестом этажах. Здесь также, как и в предыдущей модели, использован прием «подведения под одну кровлю».

Вертикальные производственные коммуникации обеспечиваются за счет высотного склада и четырех грузовых лифтов, скомпонованных попарно и размещенных с двух противоположных сторон производственного объема. Функциональные коммуникации осуществляются при помощи четырех лестнично-лифтовых узлов, расположенных с двух сторон от двух непроизводственных функциональных блоков.

Полученная компоновка обеспечивает кратчайшие производственно-технологические и инженерно-эксплуатационные связи, позволяет формировать автономные производственные участки и размещать в одном объекте до четырех обособленных производств. Но при этом ухудшается связанность между блоками непроизводственных помещений, что требует проведения дополнительных мероприятий по обеспечению «осведомленности».

Модель №7. Высокая степень функциональной диверсификации, одноэтажная производственная зона, линейная схема функционального зонирования

Комбинация выбранных параметров нецелесообразна

Модель №8. Высокая степень функциональной диверсификации, одноэтажная производственная зона, «дискретная» схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

- длина – 90,0 м;
- ширина – 90,0 м;
- высота (без учета подземной части) – 12,0 м;
- общая площадь – 12,6 тыс. кв. м;
- строительный объем – 94,34 тыс. куб. м;
- коэффициент компактности – 7,70.

Соотношение площадей функциональных зон:

- производственная – 27,6%;
- складская – 4,5%;
- исследований и разработок – 14,8%;
- административно-офисная – 26,4%;
- санитарно-бытовая – 4,0%;
- инженерно-техническая – 5,8%;
- социально-рекреационная – 8,8%;
- коммуникационная – 7,7%.

Концептуальная архитектурно-пространственная модель скомпонована на основе двух протяженных световых атриумов – дискретных пространств, торцами примыкающих с одной стороны к коммуникационной оси. Между световыми атриумами находится зона производства, сблокированная со складскими помещениями. Двухэтажная часть зоны исследований и разработок и трехэтажный блок

административно-офисных и сопутствующих площадей граничат с протяженными «свободными» сторонами световых атриумов. На первом этаже административно-офисной части также расположены социально-рекреационные и санитарно-бытовые помещения. Для улучшения инсоляции в атриум со стороны административно-офисных площадей «врезаны» два световых колодца. Инженерно-технические помещения находятся в верхней зоне высокого производственного объема. Часть помещений для размещения инженерного оборудования примыкает к площадям исследований и разработок.

Вертикальные коммуникации обеспечивают четыре лестнично-лифтовыми узла, горизонтальные – торцевая коммуникационная ось. При помощи сочетания разной высоты и разной этажности основных функциональных зон реализован прием «подведения под одну кровлю».

Несмотря на расположение производственной зоны в одном уровне, объемно-планировочное решение обладает достаточным показателем компактности. Сочетание световых атриумов и колодцев обеспечивает естественное освещение всех помещений. Потенциал «осведомленности» формируется торцевым коммуникационным коридором и протяженными атриумами – рекреационными зонами. Однако данное функционально-пространственное зонирование создает гибкость, не выходящую за пределы укрупненных функциональных зон, – то есть, реализуется только один из аспектов принципа многофакторной гибкости-адаптивности.

Модель №9. Высокая степень функциональной диверсификации, одноэтажная производственная зона, «ядровая» схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

- длина – 96,0 м;
- ширина – 84,0 м;
- высота (без учета подземной части) – 12,0 м;
- общая площадь – 12,0 тыс. кв. м;
- строительный объем – 88,13 тыс. куб. м;
- коэффициент компактности – 7,62.

Соотношение площадей функциональных зон:

- производственная – 32,1%;
- складская – 3,6%;
- исследований и разработок – 19,0%;
- административно-офисная – 26,1%;
- санитарно-бытовая – 3,6%;
- инженерно-техническая – 5,4%;
- социально-рекреационная – 5,4%;
- коммуникационная – 4,8%.

«Ядром» композиции служит двухэтажная, квадратная в плане зона исследований и разработок. Ее со всех сторон окружают производственные площади. К их внешнему периметру с трех сторон примыкают непроизводственные помещения (административно-офисные, санитарно-бытовые и социально-рекреационные), скомпонованные в три этажа, с четвертой стороны находятся зона склада и инженерно-технические помещения. Основные санитарно-бытовые и социально-рекреационные помещения сосредоточены на первом этаже; часть санузлов распределена по административно-офисным площадям второго и третьего этажей. В зоне исследований и разработок также выделены небольшие объемы для обособленных санитарно-бытовых и рекреационных функций.

Вертикальные коммуникации осуществляются с помощью четырех лестнично-лифтовых узлов. Внутри «ядра» для создания вертикальных связей установлены две лестницы, которые имеют выход на кровлю. Для горизонтальных коммуникаций служат смотровые галереи, опоясывающие производственную зону по внешнему периметру, они же обеспечивают «осведомленность». Кроме того, высокий потенциал «осведомленности» формируется за счет протяженных границ между административно-офисной и производственной составляющими и между зоной производства и отделом исследований и разработок.

Симметричность объемно-планировочного решения позволяет организовать, при необходимости, два независимых функционально-технологических участка внутри производственной зоны. В связи с тем, что исследовательские площади максимально изолированы от внешней среды, такое функционально-планировочное решение оптимально для ИФ, в программу-задание которых входят «чистые помещения».

Модель №10. Высокая степень функциональной диверсификации, многоэтажная производственная зона, линейная схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

- длина – 72,0 м;
- ширина – 48,0 м;
- высота (без учета подземной части) – 24,0 м;
- общая площадь – 14,2 тыс. кв. м;
- строительный объем – 83,81 тыс. куб. м;
- коэффициент компактности – 9,09.

Соотношение площадей функциональных зон:

- производственная – 43,8%;
- складская – 3,1%;
- исследований и разработок – 13,0%;
- административно-офисная – 21,1%;
- санитарно-бытовая – 3,2%;
- инженерно-техническая – 5,1%;
- социально-рекреационная – 5,6%;

коммуникационная – 5,1%.

Многоэтажные блоки основных функциональных зон располагаются линейно – один за другим. К шестиэтажному блоку административно-офисных помещений (с социально-рекреационной зоной и входной группой на первом этаже) примыкает объем исследований и разработок. В его нижнем этаже размещаются санитарно-бытовые, часть инженерно-технических и дополнительные офисные помещения; верхний этаж полностью занимают инженерно-технические функции. В центре этого блока находится световой атриум, обеспечивающий дополнительное естественное освещение смежных помещений. За блоком исследований и разработок следует четырехэтажный объем производственной зоны, в который частично врезается световой атриум. Внутри производственной функциональной зоны размещены распределенные санитарные узлы и рекреационные помещения. Глубина производственного пространства позволяет создавать вариабельную компоновку гибких производственных систем. Последовательно-линейное расположение главных функциональных объемов завершается высотным автоматизированным складом.

Для вертикальных производственно-технологических коммуникаций служат два грузовых лифта и кран-штабелер высотного склада. Для циркуляции сотрудников – лестнично-лифтовой узел в объеме светового атриума и шесть лестниц (по две для каждой из основных функциональных зон). По периметру пространства атриума организованы галереи-переходы, связывающие этажи разных функциональных зон, имеющих разные высотные отметки пола.

Варьирование высоты и количества этажей внутри каждого линейного функционального блока позволило не только подвести отметки верха их последних этажей «под одну кровлю», но и добиться одного из самых высоких показателей коэффициента компактности среди разработанных моделей. Однако, из-за высокой компактизации архитектурно-пространственной модели, здесь не создается достаточное естественное освещение центральной части «глубокой» производственной зоны.

Модель №11. Высокая степень функциональной диверсификации, многоэтажная производственная зона, «дискретная» схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

длина – 60,0 м;

ширина – 60,0 м;

высота (без учета подземной части) – 24,0-27,0 м;

общая площадь – 15,1 тыс. кв. м;

строительный объем – 88,45 тыс. куб. м;

коэффициент компактности – 9,13.

Соотношение площадей функциональных зон:

производственная – 37,4%;

складская – 3,9%;
 исследований и разработок – 15,5%;
 административно-офисная – 22,0%;
 санитарно-бытовая – 3,3%;
 инженерно-техническая – 6,9%;
 социально-рекреационная – 6,8%;
 коммуникационная – 4,2%.

Световой атриум разделяет модель на производственный и непроизводственный блоки. В нем же находится основная коммуникационная ось. Производственный блок представлен четырехэтажным объемом, в центральную темную часть которого интегрирован высотный автоматизированный склад. Часть площади первого этажа этого объема также занимает зона логистики. На каждом этаже к торцу автоматизированного склада примыкают санитарные узлы. Непроизводственная часть представлена двумя шестиэтажными блоками – административно-офисным и научно-исследовательским. В каждый из них для улучшения инсоляции «врезан» квадратный в плане световой атриум. Первый этаж административно-офисного объема занимают централизованные санитарно-бытовые и социально-рекреационные помещения. С одного торца к коммуникационной оси примыкают рекреационные помещения, доступные как для сотрудников офисных помещений, так и для служащих производственной зоны. С другого торца находятся децентрализованные инженерно-технические помещения, обслуживающие лабораторно-исследовательский блок. Остальные инженерно-технические помещения находятся в верхней зоне, над административно-офисной и производственной частями. Подсобное помещение, предназначенное для ввода внешних инженерных коммуникаций, расположено под рекреационными зонами в торце.

Производственно-технологические коммуникации осуществляются при помощи подъемно-транспортного оборудования автоматизированного склада и двух грузовых лифтов. Центральное расположение склада позволяет создавать замкнутые технологические линии по периметру. Для коммуникаций сотрудников предназначены две лестницы в торцах производственного объема. В непроизводственной части вертикальные коммуникации осуществляются при помощи двух лестниц и четырех лифтов, расположенных по центру и в торцах коммуникационной оси.

Коммуникационная ось – световой атриум обеспечивает связанность производственной и непроизводственной частей и формирует хороший потенциал «осведомленности».

Модель №12. Высокая степень функциональной диверсификации, многоэтажная производственная зона, «ядровая» схема функционального зонирования

Основные строительные параметры:

длина – 60,0 м;
 ширина – 60,0 м;

высота (без учета подземной части) – 30,0 м;
общая площадь – 16,2 тыс. кв. м;
строительный объем – 101,52 тыс. куб. м;
коэффициент компактности – 9,4.

Соотношение площадей функциональных зон:

производственная – 38,2%;
складская – 4,2%;
исследований и разработок – 11,9%;
административно-офисная – 24,3%;
санитарно-бытовая – 3,2%;
инженерно-техническая – 6,2%;
социально-рекреационная – 5,4%;
коммуникационная – 6,6%.

Данный объект представляет собой последовательное развитие модели № 6. Композиция формируется вокруг внутреннего инженерного «ядра», включающего автоматизированный высотный склад и помещения для инженерно-технического оборудования [73, С.20]. Такое функциональное «ядро» позволяет формировать кратчайшие инженерно-технологические и производственные связи внутри объекта. Вокруг «ядра» размещается трехэтажная производственная зона; над ней – помещения для исследований и разработок. По периметру к производственному объему примыкают четыре восьмиэтажных блока, вмещающих непроизводственные функции (административно-офисные, санитарно-бытовые, социально-рекреационные). Все четыре блока имеют одинаковую функционально-планировочную структуру: основные социально-рекреационные и санитарно-бытовые помещения располагаются на первом этаже, административно-офисные площади с распределенными санитарными узлами и небольшими рекреационными зонами – на всех остальных этажах.

Вертикальные связи между разными этажами блоков обеспечивают четыре лестнично-лифтовых узла. Горизонтальные связи между блоками осуществляются при помощи мостиков-галерей в пространстве производственных помещений. Для вертикальных технологических связей служат два грузовых лифта и автоматизированный высотный склад.

Освещение производственной зоны осуществляется в местах примыкания производственных помещений к световому периметру и вторым светом – через светопрозрачные перегородки между производственными и административно-офисными помещениями. Все помещения и зоны обладают гибкостью, достаточной для их функционального назначения. Многоэтажная, симметричная и кольцевая компоновка производственных помещений позволяет организовывать независимые технологические линии даже в пределах одного этажа, независимо менять направления производственно-технологических потоков.

На основе анализа результатов построения архитектурно-пространственных концептуальных моделей ИФ можно сделать следующие выводы:

- архитектурно-пространственные модели ИФ с многоэтажной производственной зоной намного компактнее, чем с зоной производства, расположенной в одном уровне, при условии, что их общие площади одинаковые;

- сочетание одноэтажной производственной зоны и высокой степени функциональной диверсификации целесообразно применять только в тех случаях, когда суммарно превалирует доля непроизводственных площадей;

- «дискретная» и «ядровая» схемы функционального зонирования лучше обеспечивают «осведомленность», вне зависимости от этажности производственной зоны и степени функциональной диверсификации;

- «дискретная» схема функционального зонирования более эффективна для зданий с одноэтажной производственной зоной, так как в моделях ИФ с зоной производства, расположенной в несколько уровней, дискретные пространства занимают нерационально большой объем;

- «ядровая» схема способствует формированию симметричных и центрально симметричных композиций, что является предпочтительным для зданий ИФ с потенциальным размещением нескольких автономных производств;

- замена традиционных складов на автоматизированные высотные аналоги не только освобождает полезные площади для расширения производственной зоны, но и выполняет функции транспортировки;

- стремление к максимально утилитарной компоновке внутренних объемов, без интеграции многосветных и атриумных пространств, отрицательно сказывается на формировании потенциала «осведомленности», снижает архитектурный потенциал модели;

- в целом, «оптимальное» решение архитектурно-пространственной модели ИФ недостижимо, ввиду взаимоисключающего характера ряда показателей (например, повышение компактности и увеличение естественного освещения), поэтому необходимо среди аспектов формирования архитектуры ИФ определять субъективные приоритеты и стремиться, в первую очередь, к их максимальной реализации.

В перспективе полученные элементы матрицы могут служить «отправной точкой» при разработке архитектурных и объемно-планировочных решений новейших производственных объектов в учебном, экспериментальном и реальном проектировании.

3.3.2. Апробация в рамках учебного проектирования (см. Т.II прил.1 Л.3.17-3.18)

ИФ – это промышленная архитектура будущего. Сегодня в мире насчитывается несколько десятков высокотехнологичных промышленных объектов, в той или иной степени отвечающих требованиям «интеллектуального производства». Проектирование и строительство подобных объектов в нашей стране ведется в очень ограниченном количестве. Поэтому апробация основных положений диссертации проводилась в рамках

педагогической практики, учебного проектирования автора, ведения и консультирования выпускных квалификационных работ бакалавров кафедры «Архитектура промышленных сооружений» МАРХИ.

Выпускные проекты по своему характеру являются экспериментальными, и уже поэтому, они представляют несомненный интерес для современной архитектурной практики. А с учетом того, что большинство из них выполняются на конкретных ситуациях-территориях по реальным программам-заданиям или условиям актуальных отечественных и международных архитектурных конкурсов, экспериментальное проектирование в рамках учебного процесса оказывается концентрацией актуальных тенденций и направлений, свойственных реальной практике проектирования новейших производственных предприятий [26, С.24-50]. В процессе учебного проектирования были:

- апробированы основные принципы архитектурного формирования высокотехнологичных производственных объектов и ИФ, синтезированные в результате данного исследования;

- применена методика поэтапного варибельного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения;

- частично использована система критериев оценки качества архитектурных решений новейших производственных зданий.

Апробация велась на следующих учебных проектах:

- Производственное здание с применением различных типов озеленения, промзона «Южный порт», Москва, автор: А. О. Дмитриева, научн. рук: проф. А. А. Хрусталева, 2014 г.;

- Научно-производственный центр точного машиностроения «Воронцово», г. Москва, автор: А. О. Дмитриева, научн. рук: проф. А. А. Хрусталева, 2016 г.;

- Объединенный научно-образовательный комплекс Национального центра авиации в городе Жуковском, автор: В. А. Королев, дип. рук: проф. М. В. Габова, проф. В. П. Климанов, преп. А. О. Дмитриева, 2018 г.;

- Высокотехнологическое предприятие на основе робототехники и 3D принтеров в Москве, автор: А. А. Загоруйко, дип. рук: проф. А. А. Хрусталева, проф. К. Ю. Чистяков, преп. Худяков С.А., 2020 г.

1. Производственное здание с применением различных типов озеленения, промзона «Южный порт»⁴²

Универсальное промышленное здание, общей площадью 10 тыс. кв. м, предназначено для размещения широкого спектра производств, соответствующих критериям группы производственных процессов Іб [11, С.7], подходит, в том числе, и для «интеллектуального производства».

⁴² Дмитриева А. О. Энергоэффективные и экологически чистые промышленные предприятия: направление подготовки 07.04.01 : дис. ... маг. арх. / А. О. Дмитриева ; МАРХИ. – М., 2016. – 139 с. С. 74-75.

Помимо оптимизации схемы движения транспорта, решения генерального плана предусматривают устройство парковочных мест для личного автотранспорта, зон отдыха и занятия спортом для сотрудников.

В плане здание имеет простую ортогональную форму, вытянутую по оси юго-восток – северо-запад. Общее объемно-планировочное решение организовано по принципу «светлое ядро» – в центре расположен световой атриум, который служит рекреационной зоной и источником естественного освещения для смежных производственных помещений. Габариты объекта обеспечивают высокий коэффициент компактности – 8,02.

Четырехэтажные производственные зоны, шириной 12 м, расположены по двум протяженным сторонам атриума; цеха имеют свободную планировку, без стационарных перегородок. С северо-западного торца атриум фланкируют два грузовых лифта и автоматизированный высотный склад, который используется и для вертикальных технологических коммуникаций. Благодаря такой компоновке производственных и складских зон одновременно обеспечивается как автономность, так и связанность всех производственных помещений.

С другого торца светового атриума размещается блок многоэтажной административно-офисной зоны, шириной 6 м. Высоты производственных и офисных помещений подобраны таким образом, чтобы реализовать прием «подведения под одну кровлю». Дополнительные офисные площади располагаются над производственной зоной. Инженерное оборудование размещается децентрализованно: частично в верхнем техническом этаже и открытым способом на кровле, частично – в подвальном этаже, где также находятся столовая, санитарно-бытовые и подсобные помещения.

Созданная объемно-планировочная структура позволяет размещать в здании как одно производство, так и предоставлять производственные и смежные офисные помещения нескольким арендаторам, то есть, практически без дополнительных трансформаций перепрофилировать здание в «производственный отель».

В проекте был реализован ряд аспектов «устойчивости». При выборе средств солнцезащиты учитывалась ориентация здания по сторонам света и климатические условия эксплуатации; для улучшения шумоизоляции и защиты от пыли системы ламелей на двух протяженных фасадах расположены между плоскостями внутреннего и наружного остеклений. При помощи световых колодцев организовано дополнительное естественное освещение верхнего офисного и производственного этажей. В данном проекте особое внимание было уделено максимальной интеграции различных видов озеленения в структуру объекта:

- комплексное озеленение генплана;
- экстенсивное озеленение кровли;
- внедрение элементов природы в интерьеры здания.

Основной идеей эстетического решения экстерьера является вариабельность, которая достигается за счет:

- изменения положения солнцезащитных ламелей на фасадах;
- замены фасадных солнцезащитных ламелей (только на юго-восточном фасаде) на новые аналоги, например, с другим колористическим решением.

Эстетизация интерьеров осуществляется путем интеграции природных элементов в общественно-рекреационные и производственные зоны (озеленение балконов производственных помещений, выходящих в атриум).

2. Научно-производственный центр точного машиностроения «Воронцово», г. Москва⁴³

Научно-производственный центр (далее НПЦ) – это комплекс, объединяющий все стадии производства - от идеи создания продукта до небольшого серийного выпуска.

Участок проектирования, площадью 3,12 га, находился на юге Москвы, на улице Старокалужское шоссе. Выбор площадки обуславливается расположенными рядом организациями: Институтом космических исследований РАН, НИИ связи и систем управления, ФГУП НИИ автоматической аппаратуры им. В. С. Семенихина и Российским Государственным архивом научно-технической документации. Локация НПЦ «в соседстве» с перечисленными объектами приведет к взаимовыгодным коллаборациям.

Значительную территорию непосредственно перед зданием НПЦ занимает благоустроенная общественная зона – место отдыха, доступное для всех желающих. Комплексное озеленение участка проводилось с учетом ориентации по сторонам света и преобладающих направлений ветров.

Выбор общей формы объекта и компоновка основных функциональных зон опирались на методику постадийного варибельного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения. Из нескольких конфигураций был выбран вариант, который имел самый высокий показатель компактности и обладал наиболее эффективным функциональным зонированием. Сочетание разной этажности и разных высот этажа для каждой функциональной зоны дали возможность «подвести» здание под единую плоскую кровлю.

Световой атриум в центре здания служит большим рекреационным пространством и отделяет производственные помещения от остальных функциональных зон. В производственной многоэтажной части расположен вертикальный автоматизированный склад сырья и готовой продукции. Зонирование непроизводственной части осуществляется по вертикали: два верхних этажа занимают офисы, второй и третий этаж – лаборатории; на первом этаже расположены помещения входной группы, столовая, актовый зал, медпункт, переговорные комнаты, выставочное пространство. В подвальном этаже размещаются санитарно-бытовые помещения, автомобильная стоянка и часть инженерного оборудования. В верхней части здания спроектированы технические помещения для вентиляционных установок. Вертикальные коммуникации осуществляются при помощи четырех сгруппированных попарно пассажирских лифтов,

⁴³ Там же С.77-85

которые примыкают к атриуму с восточной стороны, и пяти лестниц по периметру объекта. Для перемещения крупногабаритного оборудования и расходных материалов с южной стороны от атриума предусмотрены два грузовых лифта.

Габариты здания в осях составляют 84 м и 66,7 м, высота здания – 25,3 м, глубина подземной части – 4,8 м. Общая площадь НПЦ – 25 тыс. кв. м. Конструктивная система каркасная, сетка колонн дифференцированная, в производственной части составляет 12,0х6,0 м, в непроизводственной – 9,0х6,0 и 6,0х6,0 м.

Глухие участки ограждающих конструкций расположены так, чтобы минимизировать поступление радиационного тепла в теплый период года и, следовательно, сократить расходы на охлаждение. С озелененной кровли осуществляется сбор осадков, которые аккумулируются в резервуарах в подвальном техническом помещении. Запасенная вода расходуется на ирригационные нужды участка. На южной стене размещены солнечные коллекторы – дополнительный источник теплоснабжения. Во всех помещениях в целях обеспечения безопасности и экономии электроэнергии установлены датчики освещенности и движения. Для организации максимального естественного освещения верхних этажей используются световые зенитные фонари. Разные типы солнцезащиты применялись с учетом интенсивности солнечной радиации и положения солнца – складчатая решетчатая оболочка покрывает восточный и часть южного фасадов, с западной стороны предусмотрена солнцезащита в виде вертикальных ламелей. Солнцезащита атриума осуществляется при помощи механизированных жалюзи.

По завершению проектирования была проведена «Оценка архитектурного проекта научно-производственного здания по принципам устойчивого развития» [90]. По результатам набранных баллов – присвоен класс «В». Кроме того, разработанные архитектурные решения полностью отвечают требованиям НПЦ.

3. Объединенный научно-образовательный комплекс Национального центра авиации в городе Жуковском

Научно-образовательный комплекс (далее НОК) представляет собой научную, исследовательскую и экспериментально-производственную платформу для ряда авиастроительных НИИ, а также образовательную площадку для некоторых ВУЗов города Жуковский. НОК – это база для обмена опытом отечественных специалистов и международных ученых в сфере авиастроения.

Выбранный участок, площадью 32 га, находится в городе Жуковский, на левом берегу Москва-реки. Проектные решения предусматривали гармоничную интеграцию комплекса в природный ландшафт, максимальное сохранение естественной среды и компенсацию всех видов природных потерь. Весь комплекс сформирован вокруг внутреннего двора-парка круглой формы, в котором сохранена уникальная природная составляющая поймы. Его планировочные компоненты можно разделить на 3 группы:

- озелененная зона и пешеходные дорожки;
- специальные покрытия для занятий спортом и спортивные площадки;

- образовательная зона, в состав которой входит летний амфитеатр и площадки для занятий на благоустроенной территории.

Центральный внутренний двор огибает радиальный корпус, к которому примыкают административный корпус и три блока факультетских корпусов, два из которых имеют свои внутренние дворы.

Внутри радиального одно-двухэтажного корпуса расположены зоны рекреаций и общественного питания, зимние сады, библиотека и ряд общих студенческих аудиторий. Волнообразная, частично остекленная крыша этого корпуса является основным эстетически выразительным элементом комплекса. Кроме того, радиальный корпус выполняет важную логистическую функцию, являясь своеобразной циркуляционной осью, он осуществляет связь между факультетскими блоками. Для улучшения коммуникативности в факультетских блоках параллельные корпуса соединены мостиками-переходами.

В трех-четырёхэтажных блоках факультетов осуществляются опытное производство и обучение, проводится широкий спектр научно-исследовательских работ. Всего в НОК представлено пять основных направлений исследований:

- производство комплектующих для летательных аппаратов;
- производство материалов для самолетостроения;
- проектирование летательных аппаратов;
- энергоэффективные технологии и материалы;
- информационные технологии в авиастроении и точном машиностроении.

Объемно-планировочная и конструктивная структуры корпусов соответствуют специализации каждого из блоков. Например, на факультете технологий производства комплектующих и проектирования летательных аппаратов имеется свой макетный цех – цельное гибкое пространство без промежуточных опор, габаритами 42,0х64,0 м и высотой 12,9 м. Здесь могут моделироваться полноразмерные опытные образцы для практических занятий и экспериментальной работы.

Конструктивное решение НОК представлено каркасной системой с сетками колонн: 9,0х6,0 м, 15,0х6,0 м, 9,0х9,0 м, 12,0х8,0 м, 42,0х6,0 м. Высота этажей факультетских корпусов 4,2 м, центрального радиального корпуса – 5,0 м.

По завершению проектирования была проведена оценка архитектурного проекта по принципам устойчивого развития [90]. По результатам набранных баллов зданию присвоен класс С. В качестве несущественного недостатка проекта можно указать на недостаточную гибкость объемно-планировочных решений. Но при этом НОК реализует одну из важнейших составляющих «интеллектуальной» производственной деятельности – осуществляется взаимная интеграция науки, производства и обучения. Дополнительной положительной характеристикой является то, что несмотря на значительную площадь объекта (около 100 тыс. кв. м), вопрос создания «осведомленности» и коммуникативности был успешно решен.

4. Высокотехнологическое предприятие на основе 3D-печати и робототехники в Москве

Участок для высокотехнологичного предприятия находится в Москве, в Западном административном округе, в районе Раменки. Выбор участка обусловлен близким расположением к Московскому Государственному Университету. Таким образом, рядом с МГУ создается крупная научно-технологическая база для обучения студентов и повышения квалификации специалистов в области робототехники.

Здание предприятия располагается между двух основных сквозных проездов по территории участка: грузового с юго-западной стороны и проезда для легкового транспорта с северо-восточной.

Объект представляет собой цельный, прямоугольный в плане объем. Его ориентация подчиняется существующим градостроительным осям. Выразительным элементом является эксплуатируемая озелененная кровля, решенная в виде поворотного пандуса. Такая кровля-пандус создает дополнительные коммуникации между первым, вторым и третьим этажами здания. Общественная зона располагается с северо-восточной стороны в петлеобразном объеме, поднятом над уровнем земли на изящных колоннах.

Трехэтажная зона производства занимает центральное положение. С южной стороны от нее находится высотный автоматизированный склад. Он синхронизирован с производственными процессами и обеспечивает не только хранение, но и вертикальные производственные связи. Централизованная научно-исследовательская зона и административные помещения размещаются в восточном углу здания и вплотную примыкают к производственным цехам. На первом этаже находятся санитарно-бытовые помещения и столовая. Исходя из того, что высокотехнологичные производственные процессы требуют постоянного наблюдения и оптимизации, децентрализованные диспетчерские модули и ячейки исследований и разработок интегрированы непосредственно в производственную зону. В связи с высокой цифровизацией производства функционально-планировочным решением объекта предусмотрены площади для собственного Дата-центра.

Входная группа для сотрудников предприятия располагается в уровне первого этажа; для студентов, стажеров и преподавателей организован обособленный вход на втором этаже. Поднявшись по пандусу, совмещенному со скатной кровлей, посетители попадают напрямую в «петлю» – выставочный комплекс, общественную и научную зоны.

В качестве конструктивной системы принята недифференцированная сетка колонн 12x12 м. Такие строительные параметры позволяют свободно и гибко компоновать изменяемые технологические линии, производственные и диспетчерские модули в каждой конструктивной ячейке. Высота производственных этажей (8 м) вдвое больше высоты этажей административных и научно-исследовательских зон (4 м), что позволяет скомпоновать производственную и непроизводственную составляющие разной этажности «под одной кровлей».

По завершению проектирования была проведена оценка архитектурного проекта по принципам устойчивого развития [90]. По результатам набранных баллов зданию присвоен класс С.

Важная составляющая современной высокотехнологичной фабрики заключается в ее гибкости. Благодаря примененной сетке колонн и модульному характеру ряда функциональных зон объемно-планировочная структура приобретает большую адаптивность. Каждый модуль может быть заменен на другой, отвечающий трансформирующимся требованиям производства. Например, диспетчерский модуль может быть заменен на модуль с лабораторным оборудованием. Производственные компоненты могут также легко трансформироваться и перемещаться. В целом, внутренняя структура здания отвечает новым методам производства.

Таким образом, в данных учебных проектах были апробированы следующие особенности формирования архитектуры высокотехнологичных производственных объектов:

- функциональная диверсификация и различные варианты функциональной интеграции;
- гибкость, адаптивность и трансформируемость пространственной структуры, главным образом за счет выбора соответствующих объемно-планировочных и конструктивных решений;
- внедрение приемов увеличения энергоэффективности и ресурсосбережения, в том числе, при помощи поиска наиболее компактной формы;
- организация «осведомленности» и коммуникативности внутреннего пространства;
- использование характерных средств повышения эстетической выразительности.

Рассмотренные дипломные проекты были высоко оценены ГАК, что позволяет подтвердить целесообразность внедрения результатов научного исследования.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Синтезированы основные принципы архитектурной организации ИФ, охватывающие важнейшие направления формирования архитектуры современных, высокотехнологичных производственных объектов.

1.1. Установлено что, общее стремление к многофункциональности архитектурных объектов лежит в основе **принципа функциональной диверсификации** – расширения номенклатуры видов деятельности, добавление новых функциональных зон и помещений, нехарактерных для традиционных промышленных предприятий. Определены три уровня функциональной диверсификации:

- низкий, свойственный традиционным производственным объектам;
- средний, характерный для современных промышленных предприятий и ряда ИФ;
- высокий, наиболее целесообразный для ИФ ближайшего будущего и других высокотехнологичных производств;

1.2. Сформулировано новое понимание **принципа многофакторной гибкости-адаптивности**, состоящее не только в готовности к будущим изменениям производства, но и к возможным трансформациям других важных функций и составляющих архитектуры ИФ. Выделены следующие аспекты гибкости: технологическая, функциональная, экономическая, социальная, эстетическая.

Установлено, что определяющим критерием многофакторной гибкости-адаптивности является скорость внесения изменений – быстрая, легкая и малозатратная трансформируемость архитектурных решений.

1.3. Определены два аспекта **принципа необходимой и достаточной компактности**:

- внутренний (имеющий приоритетное значение) – состоит в организации кратчайших технологических цепочек и эксплуатационных связей, увеличении числа функциональных коммуникаций, «осведомленности» внутренней среды, а также, максимальном территориальном сближении основных функциональных зон;
- внешний (традиционный) – выражается в стремление к наиболее компактному объемно-планировочному решению.

Необходимость и достаточность заключаются в поиске компромисса между максимально возможной компактизацией и соблюдением условий обеспечения комфорта и обязательных эксплуатационных норм, которые ее ограничивают.

1.4. **Принцип экологической ответственности** является обязательным для объектов любого функционального назначения, в том числе и ИФ. Его цель – обеспечение гармоничного сосуществования архитектуры, окружающей среды и человека на всех стадиях жизни архитектурного объекта. Установлены три позиции по его соблюдению: превентивная, компенсационная, стимулирующая. Этот принцип реализуется на основании компромиссных и «устойчивых» архитектурных решений и баланса между «открытостью» и «замкнутостью» архитектурного объекта.

1.5. **Принципом социальной экстраверсии** предусматривается создание позитивного психофизиологического влияния архитектурного объекта на человека и формирование дружелюбного отношения промпредприятия к локальному сообществу и социуму в целом. Внутренний аспект направлен на всех сотрудников предприятия. Внешний состоит в многоаспектном взаимодействии со всеми компонентами окружающей среды.

1.6. **Принцип неотъемлемой комплексности** заключается в том, что перечисленные выше положения формирования архитектуры ИФ нельзя рассматривать отдельно друг от друга – реализация одного из них, опосредованно, но обязательно ведет к соблюдению остальных принципов.

2. На основе приемов и тенденций архитектурного формирования ИФ разработана **система критериев оценки качества архитектурных решений новейших производственных зданий**, включающая несколько групп показателей:

- производительность и функциональность;
- экономическая целесообразность и обоснованность;
- соответствие концепциям «устойчивости»;
- привлекательность;
- скорость внесения изменений;
- соответствие субъективным требованиям и пожеланиям заказчика.

Для количественной оценки характеристик качества введена условная система численных показателей – балльная оценка. Описана поликритериальная многостадийная процедура проведения комплексной оценки качества архитектурных решений ИФ. Отмечено перспективное ослабление значимости экономического критерия и усиление групп критериев, отвечающих за «устойчивость» и архитектурную привлекательность.

3. Синтезирована **методика постадийного переменного поиска оптимального концептуального решения ИФ**, представляющая собой последовательность наиболее эффективных и рациональных действий по разработке функционально-планировочного решения объекта на начальной стадии проектирования, которая позволяет подготовить качественную и содержательную базу для последующих этапов. Характерными чертами разработанной методики являются:

- универсальность;
- небольшой объем и простой состав исходной информации;
- цикличность операций.

Обоснованы ее постадийность и переменность. Описаны четыре стадии ведения поиска; даны рекомендации, оптимизирующие ход поиска и определяющие отбор вариаций для каждой последующей стадии. Эффективность применения методики обусловлена потенциальным улучшением ряда объемно-планировочных и функционально-эксплуатационных показателей.

4. Создана графическая **прямоугольная матрица концептуальных архитектурно-пространственных моделей ИФ**, включающая 11 модификаций, представляющих собой наиболее целесообразное решение для каждого пересечения значений столбцов и строк матрицы. На основе анализа полученных моделей сделаны следующие основные выводы:

- компоновка зоны производства в несколько уровней положительно сказывается на компактности;
- атриумные многосветные пространства увеличивают естественную инсоляцию помещений и потенциал «осведомленности», но в определенной мере негативно сказываются на компактизации моделей, следовательно, необходим поиск баланса;
- «дискретная» и «ядровая» схемы функционального зонирования также положительно влияют на «осведомленность» и коммуникативность;
- «ядровая» схема с симметричной или центрально-симметричной композицией модели наиболее рациональна для размещения нескольких автономных производств.

В целом, «оптимальное» решение архитектурно-пространственной модели ИФ труднодостижимо, ввиду взаимоисключающего характера ряда показателей, поэтому необходимо определение субъективных приоритетов среди аспектов формирования архитектуры ИФ и положительный вектор к их реализации.

5. В рамках педагогической практики, учебного проектирования и консультирования выпускных квалификационных работ бакалавров кафедры «Архитектура промышленных сооружений» МАРХИ проведена апробация следующих позиций диссертационного исследования:

- основных приемов и тенденций проектирования ИФ;
- принципов архитектурного формирования ИФ;
- методики постадийного переменного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения;
- системы критериев оценки качества архитектурных решений новейших производственных зданий (частично).

Высокая оценка дипломных проектов дает возможность сделать вывод о рациональности применения обозначенных выше аспектов в архитектурном проектировании высокотехнологичных производственных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный комплекс исследований: поиск и изучение предпосылок становления архитектуры ИФ, анализ современных предприятий, систематизация и обобщение результатов анализа, выявление актуальных архитектурных приемов построения современных производственных предприятий – позволил автору определить основные направления формирования архитектуры «интеллектуальных фабрик».

1. Рассмотрено понятие процесса неоиндустриализации, ведущего к росту числа производственных объектов в урбанизированной среде. Установлены требования урбанизированной среды к организации новейших промпредприятий:

- сокращение общей площади объекта и компактность застройки;
- экологическая безопасность, ресурсосбережение и безотходность;
- логистическая необремененность;
- всесторонняя интегрированность в среду.

2. Выявлены технологические, производственные и социальные изменения, влияющие на архитектурные решения новейших производственных зданий:

- интеграция в процессы производства «прорывных технологий»;
- тенденция к мелкосерийности и кастомизации выпускаемой продукции;
- рост значимости положений концепции «устойчивой архитектуры»;
- объединение всех этапов выпуска продукции (от разработки концепции до серийного производства, сервисного обслуживания и сопутствующей «канцелярской» составляющей) под одной крышей;
- формирование в информационном обществе нового представления о производстве товаров, как о предоставлении услуги.

3. Раскрыто определение «умной фабрики», как нового вида производственной организации высокотехнологичных предприятий. Установлены основные позиции, влияющие на архитектурные решения ИФ:

- гибкость, адаптивность и трансформируемость;
- модульность и расширяемость;
- повышение санитарно-технических требований к производственной среде;
- всесторонняя безопасность производства;
- коммуникативность и открытость производственных систем.

Определено, что, в целом, архитектура ИФ будет испытывать влияние новейших технологий как косвенно, через изменения процессов производства, для которых она является «оболочкой», так и напрямую, через интеграцию новых методов проектирования, строительства и эксплуатации, использование инновационных материалов. С ростом и развитием индустриального сектора будет увеличиваться и потребность в промышленной архитектуре, отвечающей требованиям современного и будущего производства.

4. Изучен последовательный путь эволюции архитектуры предприятий от момента возникновения наукоемких отраслей промышленности до современного уровня их развития. По результатам исторического анализа отмечено расширение номенклатуры основных направлений деятельности и последовательная гуманизация объектов, а также решающее воздействие научных открытий и технических достижений на формирование актуальных тенденций и характерных черт промышленной архитектуры на всех этапах ее становления.

5. Проведен комплексный многофакторный анализ объектов-представителей: предприятий по выпуску высокотехнологичных изделий, а также объектов научно-производственного и производственного-делового назначений. Несмотря на разнообразие их архитектурных решений, установлены следующие общие характерные черты:

- интегрированность в урбанизированную среду;
- архитектурно-композиционная лаконичность;
- расширение состава функциональных зон;
- применение каркасной конструктивной системы и приема блокировки объемов разной этажности;
- внедрение аспектов «устойчивой архитектуры» и гуманизация рабочей среды.

А также ряд недостатков, не позволяющий им в полной мере соответствовать требованиям размещения «интеллектуального» производства.

6. Определены три основных варианта размещения современных производственных объектов в урбанизированной среде, обуславливающие особенности функционально-планировочного решения их территорий:

- автономное, с увеличением плотности и компактности застройки;
- в границах индустриального или научного парка;
- в составе образовательного кампуса, производственного комплекса, технопарка.

Обоснована потеря актуальности традиционного подхода к функционально-планировочной организации территории объектов; предложена новая трактовка основных функциональных зон, более целесообразная для участков размещения ИФ:

- зона объектов капитального строительства;
- логистическая составляющая;
- благоустройство;
- паркинг личных автомобилей служащих и посетителей;
- прочие территории.

Сформулирован ряд позиций, отражающих характерные черты современной планировочной организации генеральных планов новейших промпредприятий:

- визуальная и физическая «открытость» и «проницаемость»;
- сокращение и упрощение транспортной схемы;
- высокий уровень гуманизации участка;
- гибкая и многоуровневая планировка территорий.

7. Определены и проанализированы особенности функционального зонирования новейших производственных объектов:

- изменение процентных соотношений площадей основных функциональных зон (сокращение производственных площадей при увеличении эффективности их использования; увеличение непроизводственных составляющих, редукция подсобных);
- интеграция новых направлений деятельности в традиционную структуру производственных предприятий (представительских, сервисных, тренинга, паркинга и новой составляющей - энергетической функции);
- мультифункциональность пространств и мобильность функций;
- выявление трех принципиальных схем функционального зонирования (линейной, «дискретной», «ядровой»), определение «ядровой» схемы, как наиболее целесообразной и переход от плоскостного к объемному зонированию.

Рассмотрены и обоснованы актуальные приемы объемно-планировочного решения ИФ:

- компактность; предложен расчет наиболее рациональной общей площади ИФ на основе гуманистического подхода;
- увеличение этажности и стремление к ширококорпусности;
- «осведомленность» – повышенная коммуникативность и информативность пространств.

8. Описаны наиболее целесообразные конструктивные и инженерные решения ИФ. Отмечено сохранение традиционных подходов к выбору конструктивной системы, места и способа трассировки инженерных сетей. Акцент сделан на наиболее рациональных габаритах каркасной конструктивной системы, преимуществах децентрализованного размещения инженерного оборудования, наиболее целесообразных местах прокладки магистральных инженерных сетей, размещения подающих и заборных устройств, а также на информационно-цифровых системах зданий.

9. Установлены позиции «устойчивости», наиболее актуальные для ИФ:

- интеграция цифровых технологий в процесс проектирования;
- увеличение гибкости и адаптивности внутреннего пространства;
- возможность роста и расширения предприятий;
- повышение энергоэффективности и экологической безопасности промышленных зданий;
- гуманизация и демократизации производственной среды.

Описаны преимущества внедрения этих позиций в структуру промпредприятий. Сделан вывод о том, что проектирование ИФ в соответствии с концепцией устойчивого развития является строго необходимым.

10. Определено, что повышение архитектурной выразительности и формирование привлекательного образа ИФ имеет ряд функционально-эксплуатационных преимуществ и достигается ограниченным набором эффективных средств. Отмечено, что эстетическая составляющая архитектуры новейших производственных предприятий также испытывает

на себе влияние технологических, производственных и социальных изменений (см пункт 2). Сделан прогноз о том, что наиболее актуальными станут решения, реализующие мобильность и адаптивность архитектурного образа. Они обеспечат поиск новых эстетических и художественных концепций промышленной архитектуры.

11. Синтезированы основные принципы архитектурного формирования ИФ, наиболее полно отражающие путь технологического прогресса, специфику будущей организации производства и общие тенденции развития цифрового общества:

- функциональной диверсификации;
- целесообразной гибкости-адаптивности;
- необходимой и достаточной компактности;
- экологической ответственности;
- социальной экстраверсии;
- неотъемлемой комплексности.

Установлена возможность их применения к промышленным зданиям различной типологии. Архитектура новейших производственных объектов, созданная в соответствии с данными принципами, станет основой высокопроизводительных и глобально конкурентоспособных предприятий, способствуя их продолжительному существованию и развитию.

12. Разработана система критериев оценки качества архитектурных решений промпредприятий, позволяющая произвести их комплексную поликритериальную объективную оценку. Благодаря индивидуальным повышающим и понижающим коэффициентам эта система приобретает признаки одновременно кастомизированности и универсальности.

13. Создана методика постадийного варибельного поиска оптимальных концептуальных функционально-планировочных решений, которая уменьшает длительность и повышает результативность процесса архитектурного проектирования в рамках стадий АГР или «эскиз-идея», а также позволяет принять объективное и обоснованное решение. Применение разработанной методики имеет существенное значение в связи с тем, что выбор наиболее рационального варианта на начальной стадии проектирования обеспечивает высокую эффективность всего проекта в целом.

14. Построена графическая прямоугольная матрица концептуальных архитектурно-пространственных моделей ИФ, разработанных при помощи методики постадийного варибельного поиска концептуальных функционально-планировочных решений. В результате анализа итогов построения данных моделей были сделаны выводы, в целом подтверждающие выявленные закономерности, тенденции и приемы архитектурного проектирования ИФ (см Г.2). Также установлено, что «оптимальный» результат достижим только в случае его субъективизации – индивидуального подхода к определению приоритетных качеств проектируемой модели.

15. Апробация основных положений и результатов исследования, проведенная в рамках курсового и дипломного проектирования студентов кафедры «Архитектура промышленных сооружений» МАРХИ, показала целесообразность внедрения положений данной научной работы в проектирование современных производственных объектов.

Несмотря на то, что во многих аспектах формирования архитектуры ИФ прослеживается уход от «промышленного начала» и приближение к объектам гражданской архитектуры. Но, говоря словами знаменитого промышленного архитектора 20-го века Альберта Кана, «форма следует за производительностью»⁴⁴, способствуя высокой эффективности предприятий, уменьшению эксплуатационных затрат, формированию производственной среды, отвечающей всем технологическим и социальным требованиям. При этом, помимо полного соответствия условиям организации «умного производства», создается корпоративная идентичность и уникальный образ архитектуры ИФ.

Автор исследования видит необходимость в изменении современной отечественной практики проектирования производственных зданий в соответствии с основными результатами исследования с целью роста производительности и снижения эксплуатационных затрат, улучшения условий труда и создания привлекательности профессий, связанных с материальным производством.

Рекомендации

Основные положения диссертации могут быть применены при актуализации нормативно-технических регламентов и составлении методических пособий по проектированию производственных зданий для предприятий ряда высоко-технологичных отраслей промышленности. Принципы архитектурного формирования ИФ целесообразно учитывать при составлении технических заданий на архитектурное проектирование современных производственных объектов. Обобщенные объемно-планировочные модели ИФ могут стать основой для разработки архитектурных решений новых промпредприятий. Методику поиска наиболее рационального функционально-планировочного решения новейших производственных зданий желательно применять в ходе учебного и экспериментального проектирования для достижения объективных и рациональных результатов.

К перспективам разработки темы можно отнести:

- распространение ряда тенденций, приемов и принципов формирования архитектуры ИФ на другие функциональные типы современных промышленных объектов;
- исследование трансформации основных положений, результатов и выводов научной работы в более отдаленной перспективе на основе методов научного прогнозирования и экстраполяции.

⁴⁴ Form follows performance (англ.)

Список литературы

Нормативные документы

1. ГОСТ 12.2.072-98 Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 14 МГС от 12.11.98) / разработан Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 75; Открытым акционерным обществом «Украинский научно-исследовательский институт станков, инструментов, приборов». – М. : Издательство стандартов, 2001. – 15 с.
2. ГОСТ 28984-2011 Модульная координация размеров в строительстве. Основные положения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (дополнение N 1 к приложению Д протокола N 39 от 8 декабря 2011 г.) / разработан Открытым акционерным обществом «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений». – М. : Стандартиформ, 2013. – 30 с.
3. ГОСТ Р 50766-95 Помещения чистые. Классификация. Методы аттестации. Основные требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 13.04.1995 г. № 217 / разработан Ассоциацией инженеров по контролю микрозагрязнений и Государственным предприятием Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений под руководством докт. техн. наук А.Е. Федотова и канд. физ.-мат. наук М.В. Балаханова. – М. : Издательство стандартов, 1995. – 27 с.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2016 г. N 317 «О реализации Национальной Технологической Инициативы» : [сайт]. – М., 2016 – . – URL : <https://nti2035.ru/documents/docs/317.pdf> (дата обращения: 10.12.2020). – Текст : электронный.
5. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 1 марта 2018 г. N 125/пр «Об утверждении типовой формы задания на проектирование объекта капитального строительства и требований к его подготовке» : [сайт]. – М., 2018 – . – URL: <https://base.garant.ru/71935454/> (дата обращения: 30.07.2020). – Текст : электронный.
6. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 января 2014 г. N 33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению» : [сайт]. – М., 2014 – . – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158398/ (дата обращения: 24.04.2020). – Текст : электронный.

7. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов : санитарно-эпидемиологические правила и нормы : издание официальное : введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 10 апреля 2003 г. № 38 с 15 июня 2003 г. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 29 апреля 2003 г. Регистрационный номер 4459 / разработаны: Российская медицинская академия последипломного образования, Департамент госсанэпиднадзора Минздрава России. – М. : ЦПП, 2003. – 51 с. – ISBN 5-7508-0255-8.
8. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2) : строительные нормы и правила : приняты и введены в действие с 1 января 1998 г. постановлением Минстроя России от 13.02.97 г. N 18-7 : [сайт] / разработаны Государственным Центральным научно-исследовательским и проектно-экспериментальным институтом комплексных проблем строительных конструкций и сооружений им. В.А.Кучеренко, Центром противопожарных исследований и тепловой защиты в строительстве ЦНИИСК, Центральным научно-исследовательским и проектно-экспериментальным институтом промышленных зданий и сооружений и Всероссийским научно-исследовательским институтом противопожарной обороны при участии территориальных органов Государственного пожарного надзора МВД России; электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс». – М., 2002 – . – URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (дата обращения: 24.04.2020). – Текст : электронный.
9. СП 18.13330.2011 Генеральные планы промышленных предприятий : актуализированная редакция СНиП II-89-80* : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2010 г. N 790 и введен в действие с 20 мая 2011 г. / исполнители: Российский институт градостроительства и инвестиционного развития «Гипрогор» и Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений. – М. : ЦПП, 2011. – 44 с.
10. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. N 820 и введен в действие с 20 мая 2011 г. / исполнители: ЦНИИП градостроительства, ОАО «Институт общественных зданий», ГИПРОНИЗДРАВ, ОАО «Гипрогор». – М. : ЦПП, 2011. – 114 с.
11. СП 44.13330.2011 Административные и бытовые здания. Актуализированная редакция СНиП 2.09.04-87 (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2) : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2010 г. N 782 и введен в

- действие с 20 мая 2011 г. / исполнители – Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений. – М. : ЦПП, 2011. – 30 с.
12. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7 ноября 2016 г. N 777/пр и введен в действие с 8 мая 2017 г. / исполнители – федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» и Общество с ограниченной ответственностью «ЦЕРЕРА-ЭКСПЕРТ». – М. : Стандартинформ, 2018. – IV, 116 с.
13. СП 56.13330.2011 Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001 (с Изменениями N 1, 2) : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 декабря 2010 г. N 850 и введен в действие с 20 мая 2011 г. / исполнители – Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений. – М. : ЦПП, 2011. – IV, 16 с.
14. Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации» от 31.12.2014 N 488-ФЗ (ред. от 27.06.2018) : [сайт] – М., 2018 – . – URL: <https://fzrf.su/zakon/o-promyshlennoj-politike-488-fz/> (дата обращения: 20.08.2019). – Текст : электронный.
15. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ (последняя редакция) : [сайт] – М., 2008 – . – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения 15.05.2020). – Текст : электронный.

Другие публикации

16. Акиев, Р.С. Каталог технических решений и практических рекомендаций по энергосбережению и повышению энергетической эффективности зданий и сооружений : [сайт] / Р.С. Акиев, С.И. Бурцев, А.В. Бусахин, А. М. Гримитлин, М. А. Гримитлина, И. Г. Дьяков, Е. С. Кужанова, А. Л. Наумов, Г. К. Осадчий, Ю. А. Табунщиков, Е. Н. Фадеева; вып. ред. О. Е. Сараева. – Вып. 1. – М., 2014. – 140 с. – URL: https://nostroy.ru/standards-snip/system_nostroy/rekomendacii_nostroy/docs/Каталог%20технических%20решений.pdf (дата обращения 01.05.2019). – Текст : электронный.
17. Алексашина, В. В. Архитектура и строительство промышленных предприятий : термины, определения, понятия : словарь-справочник : учебное пособие по специальности «Архитектура» / В. В. Алексашина; Российская акад. архитектуры и строительных наук (РААСН), Центральный науч.-исслед. и проектно-экспериментальный ин-т промышленных зданий и сооружений ОАО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ». – М. : Архитектура-С, 2009. – 390 с. – (Специальность «Архитектура»). – ISBN 978-5-9647-0185-9.

18. Алексашина, В. В. Деиндустриализация... Что дальше? / В. В. Алексашина // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2014. – №4 (октябрь-декабрь). – С. 3-19.
19. Алексашина, В. В. К обсуждению проекта закона «О промышленной политике в российской Федерации» / В. В. Алексашина // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2015. – № 1 (январь-март). – С. 69-71.
20. Алексашина, В. В. Неоиндустриализация в России. Уроки истории / В. В. Алексашина // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2013. – №4 (октябрь-декабрь). – С. 3-15.
21. Алексашина, В. В. Организация санитарно-защитной зоны промышленного предприятия в условиях городской застройки / В. В. Алексашина // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 10. – С. 28-29.
22. Алексашина, В. В. Экологические основы архитектурного формирования промышленных предприятий и их комплексов в городе : специальность 18.00.02 : автореф. дис. ... докт. арх. / В. В. Алексашина ; Центральный науч.-исслед. и проектно-экспериментальный ин-т промышленных зданий и сооружений ОАО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ». – М., 2006. – 50 с.
23. Антонов, А. В. Принципы формирования архитектуры зданий инновационных центров : специальность 18.00.02 : автореф. дис. ... канд. арх. / А. В. Антонов ; Центральный науч.-исслед. и проектно-экспериментальный ин-т промышленных зданий и сооружений ОАО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ». – М., 2007. – 30 с.
24. Арутюнова, Д. В. Инновационный менеджмент : учебное пособие / Д.В. Арутюнова. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. – 152 с.
25. Архитектура промышленных предприятий, зданий и сооружений / А. В. Дроздов, Л. В. Гольденгерш, Е. С. Матвеев и др.; под общ. ред. Н. Н. Кима. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1990. – 638 с. – (Справочник проектировщика). – ISBN 5-274-00597-7.
26. Архитектурный вестник / под. ред. Д. Фесенко. – 2012. – №4 (127). – 106 с.
27. Береговой, А. М. Энергоэкономичные и энергоактивные здания : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по строит. специальностям / А. М. Береговой. – Изд. 2-е., перераб. и доп. – М. : АСВ ; Пенза : ПГАСА, 1999. – 159 с.
28. Бережливое производство – Текст : электронный // Wikipedia : [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бережливое_производство. (дата обращения: 12.07.2020).
29. Блинов, А. О. Стратегические проблемы государственной поддержки российской промышленности / А. О. Блинов // Проблемы современной экономики. – 2014. – № 4 (52). – С. 84-87.
30. Борисов Е. Ф. Экономическая теория : Практикум / Е. В. Борисов. – М. : ТУ Велби : Проспект, 2005. – 286 с. – I SBN 5-482-00173-3 (в пер.).
31. Бродач, М. Стекланные двойные фасады / М. Бродач, Н. Шилкин // Здания высоких технологий – 2015. – зима. – С. 32-45.

32. Булгаков, С. Н. Производственные здания нового поколения : (Экологически чистые природно-промышленные системы) / Н. С. Булгаков. – М. : Знание, 1990. – 62, [2] с. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Строительство и научно-технический прогресс»; 7/1990). – ISBN 5-07-001394-7.
33. Булгаков, С. Н. Философия, концепция и принципы создания современных производственных зданий / С. Н. Булгаков // Промышленное и гражданское строительство – 2001. – № 2. – С. 17-20.
34. Бутаев, О. С. Архитектурная композиция промышленного предприятия : специальность 18.00.02: автореф. дис. ... док. арх. / О. С. Бутаев, Моск. архит. ин-т. – М., 1988. – 50 с.
35. Бутаев, О. С. Масштаб промышленных зданий в городе / О. С. Бутаев // Архитектура СССР. – 1971. – № 11. – С. 5-9.
36. Вартапетова, А. Е. Архитектурно-планировочные принципы организации офисных объектов : специальность 05.23.21 : автореф. дис. ... канд. арх. / А. Е. Вартапетова ; [Место защиты: Моск. архитектур. ин-т]. – М., 2010. – 33 с.
37. Вартапетова, А. Е. Архитектурно-планировочные принципы организации офисных объектов : специальность 05.23.21 : дис. ... канд. арх. / А. Е. Вартапетова ; [Место защиты: Моск. архитектур. ин-т]. – М., 2010. – 182 с.
38. Верещака, А.С. Технологические производственные среды: анализ тенденций совершенствования (часть 1) / А.С. Верещака // Вестник МГТУ «Станкин». – 2010. – № 4 (12). – С. 74-84.
39. Вершинин, В. И. Эволюция архитектуры промышленных сооружений: учебное пособие / В. И. Вершинин. – Одесса : Астропринт, 2006. – 149, [1] с. – ISBN 966-318-473-6.
40. Викторова, Л. А. Архитектура промышленных предприятий в контексте современных архитектурных течений / Л. А. Викторова // Архитектура и строительство России. – 2012. – №3, март. – С. 13-25.
41. Викторова, Л. А. Архитектурное формирование среды трудовой жизнедеятельности на промышленных предприятиях : специальность 18.00.02 : автореф. дис ... док. арх. / Л. А. Викторова ; Центр. науч.-исслед. и проект.-эксперим. ин-т промышленных зданий и сооружений. – М., 2006. – 59 с.
42. Викторова, Л. А. Город без заводов: следует ли выводить все промышленные предприятия за городскую черту? / Л. А. Викторова // Academia : Архитектура и строительство. – 2010. – № 2. – С. 77-81.
43. Всеобщая история архитектуры : в 12 т. Том 12. Книга 1. Архитектура СССР, 1917–1970 / Н. П. Былинкин, С. О. Хан-Магомедов, А. Ф. Ковалев и др.; Под ред. Н. В. Баранова (отв. ред.) и др.; Центр. НИИ теории и истории архитектуры. – М. : Стройиздат, 1975. – 755 с.
44. Газарян Р.К. Принципы формирования адаптивной архитектуры научно-исследовательских информационных центров : специальность 05.23.21 : автореф. дис.

- ... канд. арх. / Р. К. Газарян ; [Место защиты: Центр. науч.-исслед. и проект. ин-т жилых и обществ. зданий]. – М., 2013. – 29 с.
45. Голованова, Л. А. Основные аспекты территориального энергосбережения : учеб. пособие для студентов специальностей 290300 «Пром. и гражд. стр-во», 290100 «Архитектура», 290500 «Гор. стр-во и хоз-во», 060800 «Экономика и упр. на предприятии» вузов региона / Л. А. Голованова; М-во образования Рос. Федерации, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Хабар. гос. техн. ун-т». – Хабаровск : Изд-во ХГТУ, 2002. – 115 с. – ISBN 5-7389-0194-0.
46. Головин, А. Г. Особенности архитектурной организации производственной среды в условиях автоматизации технологических процессов : (На примере объектов оперативного управления предприятий нефтехимпереработки) : специальность 18.00.03 : автореф. дис. ... канд. арх. / А. Г. Головин ; Моск. архитектур. ин-т. – М., 1975. – 25 с.
47. Горшенин, Г. С. Проектирование гибких производственных систем : Методическое пособие для выполнения курсовой работы по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» для обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» / сост. Г. С. Горшенин ; Министерство образования и науки Российской Федерации ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Лениногорский филиал. – Лениногорск, 2017. – 68 с.
48. Гохарь-Хармандарян, И. Инфрамодульный принцип формирования структуры предприятий / И. Гохарь-Хармандарян // Архитектура СССР. – 1975. – № 10. – С. 36-38.
49. Гранев, В. В. Энергоэффективные производственные здания / В. В. Гранев. – Текст : электронный // Энергосбережение : [сайт]. – 2002. – № 6. – URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1885 (дата обращения 04.03.2016).
50. Гриневич, Ю. А. Станкостроительные и инструментальные заводы / Ю. А. Гриневич, Б. С. Ключевич, Г. М. Агранович, Н. А. Скулачева. – М. : Стройиздат, 1975. – 96 с. – (Архитектору-проектировщику/ Центр. науч.-исслед. и проектно-эксперим. ин-т пром. зданий и сооружений).
51. Грудинг, К.-Г. Проектирование промышленных предприятий: принципы, методы, практика / К.-Г. Грудинг; [пер. с нем. А. Старков]. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2007. – 340 с. – (Производственный менеджмент). – ISBN 978-5-9614-0493-7.
52. Дианова-Клокова, И. В. Инновационные научно-производственные комплексы: вопросы архитектурного проектирования / И. В. Дианова-Клокова, Д. А. Метаньев, Д. А. Хрусталева. – М. : ЛЕНАНД, 2012. – 188 с. – ISBN 978-5-9710-0502-5.
53. Дианова-Клокова, И. В. Социальный инжиниринг в архитектуре научно-инновационных объектов / И.В.Дианова-Клокова, Д.А.Метаньев // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. – №3. – С. 71-78.

54. Драбкин, Г. М. Опыт проектирования многоэтажных производственных зданий для предприятий приборостроения / Г. М. Драбкин. – Ленинград : ЛДНТП, 1981. – 31 с. – (Сер. «Прогрессив. строит. материалы и конструкции». / Ленингр. дом науч.-техн. пропаганды).
55. Драбкин, Г. М. Рациональные типы многоэтажных производственных зданий заводов точного машиностроения / Г. М. Драбкин. – Ленинград : ЛДНТП, 1972. – 36 с. – (Строительные материалы и конструкции/ Ленингр. организация о-ва «Знание» РСФСР. Ленингр. дом науч.-техн. пропаганды).
56. Елисеева, О. В. Неоиндустриализация как базовое условие и составляющая формирования нового качества хозяйственной среды и устойчивого инвестиционного роста городской экономики / О. В. Елисеева // Гуманитарные и социальные науки. – 2014. – №2. – С. 832-836.
57. Есаулов, Г. В. Архитектура постиндустриальной эпохи / Г. В. Есаулов // Здания высоких технологий. – 2012. – осень. – С. 8-13.
58. Есаулов, Г. В. Устойчивая архитектура – от принципов к стратегии развития / Г. В. Есаулов // Вестник ТГАСУ. – 2014. – №6. – С. 9-24.
59. Есаулов, Г. В. Энергоэффективность и устойчивая архитектура как вектор развития / Г. В. Есаулов // АОВК : Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2015. – №5. – С. 4-13.
60. Захаров, Ю. И. Оценка качества архитектурных проектов / Ю. И. Захаров, В. В. Деревянко // Вісник ПДАБА. – №7. – 2014. – С. 39-42.
61. Зеленая кровля // Здания высоких технологий. – 2012. – осень. – С. 62-65.
62. Информационное моделирование зданий – Текст : электронный // Wikipedia : [сайт]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BIM> (дата обращения: 12.04.2020).
63. Иттен, И. Искусство цвета / И. Иттен ; [пер. с нем. Л. Монаховой]. – Изд. 6-е. – М.: Д. Аронов, 2010. – 95 с. – ISBN 978-5-94056-015-6 (В пер.).
64. Кабаева, М. М. Принципы аксиологического (ценностного) подхода в формировании промышленных объектов и производственной среды / М. М. Кабаева. – Текст : электронный // АМІТ : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2014. – № 1 (26). – URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2014/1kvart14/kabaeva/kabaeva.pdf> (дата обращения 11.11.2017).
65. Каркарьян, К. В. Архитектурно-планировочное формирование «малых предприятий» в селитебной застройке новых районов : специальность 18.00.02 : автореф. дис. ... канд. арх. / К. В. Каркарьян ; Гос. архит. ин-т. Каф. архитектуры пром. сооружений. – М., 1991. – 25 с.
66. Ким, Н. Н. Промышленная архитектура / Н. Н. Ким. – М. : Стройиздат, 1979. – 179 с.
67. Ким, Н. Н. Совершенствование промышленных зданий машиностроения и легкой промышленности в условиях научно-технического прогресса в технологии и

- строительном процессе : Генеральный докл. / Н. Н. Ким ; МСС. Комис. № 66 Индустр. пром. здания. Первый симпозиум. – М. : ЦНИИПромзданий, 1973. – 84 с.
68. Ковалев, В. А. Проблемы промышленной архитектуры: гуманистический аспект / А. В. Ковалев. – М. : О-во «Знание» РСФСР, 1989. – 40, [1] с. – (В помощь лектору. О-во «Знание» РСФСР, Секция пропаганды науч.-техн. прогресса в стр-ве и архитектуре).
69. Козырев, Ю. Г. Применение промышленных роботов : учебное пособие / Ю. Г. Козырев. – М. : КНОРУС, 2010. – 488 с. – ISBN 978-5-406-00367-1.
70. Кокс, Л. Копенгагенская декларация 7 декабря 2009 года / Л. Кокс // Проект Байкал. – 2011. – №27. – С. 42-43.
71. Кологривова, Л. Б. Закономерности формирования архитектуры предприятий с перспективными производственными системами (на примерах отраслей точного машиностроения и приборостроения) : специальность 18.00.02 : автореф. дис. ... док. арх. / Л. Б. Кологривова ; Центр. науч.-исслед. и проект.-эксперим. ин-т промышленных зданий и сооружений. – М., 1999. – 42 с.
72. Кологривова, Л. Б. Закономерности формирования архитектуры предприятий с перспективными производственными системами (на примерах отраслей точного машиностроения и приборостроения) : специальность 18.00.02 : дис. ... док. арх. / Л. Б. Кологривова ; Центр. науч.-исслед. и проект.-эксперим. ин-т промышленных зданий и сооружений. – М., 1999. – 457 с.
73. Кологривова, Л. Б. Новые типы зданий для научных инновационных центров / Л. Б. Кологривова // Academia : Архитектура и строительство. – 2009. – № 3. – С. 19-24.
74. Комарова, Т. Топ 10: Крупнейшие промзоны Москвы / Т. Комарова // Building ARX. – 2007. – №07 (14) ноябрь. – С. 48-56.
75. Конюков, А. Г. Открытая система архитектурной унификации как способ совершенствования процесса проектирования производственных зданий / А. Г. Конюков, А. С. Москаева. – Текст : электронный // AMIT : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2013. – № 1 (22). – URL: <https://marhi.ru/AMIT/2013/1kvart13/konyukov/konyukov.pdf> (дата обращения 01.06.2018).
76. Королькова, А. В. Архитектурно-планировочная организация современных морских вокзальных комплексов : специальность 05.23.21 : дис. ... канд. арх. / А. В. Королькова ; [Место защиты: Моск. архитектур. ин-т]. – М., 2019. – 227 с.
77. Костов, К. На пути к новой типологии промышленных зданий / К. Костов // Промышленная архитектура на рубеже XXI века : VII совместный международный симпозиум МСС-МСА, 19-21 октября 1983 г., Вена - Австрия : Материалы симпозиума. – М. : ВНИИПС, 1986. – С. 177-185.
78. Красильников, В. А. Принципы архитектурного формирования промышленных предприятий с учетом современных экологических требований : специальность 18.00.02 : автореф. дис. ... док. арх. / В. А. Красильников ; Гос. архит. ин-т. Каф. архитектуры пром. сооружений. – М., 1989. – 46 с.

79. Краснов, А. А. Аддитивное и субстрактивное производство / А. А. Краснов, Е. В. Смоленцев // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2016. – № 12. – С. 72-75.
80. Крылов, В. В. Архитектурная типология промышленных зданий : учебное пособие / В. В. Крылов; Российская Федерация М-во образования и науки, ФГБОУ ВПО Тюменский гос. архитектурно-строит. ун-т, ин-т архитектуры и дизайна, Каф. архитектуры и дизайна. – Тюмень : Изд-во Тюменского гос. ун-та., 2014. – 159 с. – ISBN 978-5-400-00985-3.
81. Кульков, В. М. Постиндустриализация или новая индустриализация? / М. В. Кульков // Проблемы современной экономики. – 2014. – № 3 (51). – С. 56-59.
82. Малков, И. Г. Архитектурно-планировочные и конструктивные особенности проектирования промышленных зданий: учебно-методическое пособие / И. Г. Малков, И. И. Малков, О. Н. Коновалова ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010 – 50 с. – ISBN 978-985-468-629-5.
83. Мамлеев, О. Р. Архитектурно-пространственная организация контактно-стыковых зон промышленной и селитебной застройки (на примере Москвы) : специальность 18.00.02 : автореф. дис. ... канд. арх. / О. Р. Мамлеев ; Московский архит. ин-т. – М., 1990. – 14 с.
84. Методика разработки документации системы качества проектной продукции (элемент СК 4.4) на основе стандартов ИСО 9000 : утверждена и введена в действие Указанием Москомархитектуры от 23.01.2002 г. № 8 / разработана авторским коллективом лаборатории паспортизации строительства ГУП МНИИТЭП. – Текст : электронный // Gosthelp : [сайт]. – URL: <http://www.gosthelp.ru/text/Methodikarazrabortkidokumen.html> (дата обращения: 25.05.2020).
85. Морозова, Е. Б. Архитектура промышленных объектов: прошлое, настоящее и будущее / Е. Б. Морозова. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 316 с. – ISBN 985-464-349-2.
86. Никитина, Т. А. Архитектура и конструкции производственных зданий : учебное пособие / Т. А. Никитина ; Сев. (Арктич.) федеральный ун-т им. М. В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2015. – 192 [2] с. – ISBN 978-5-261-01033-3.
87. Никифоров, Ю. И. Архитектурное формирование структуры промышленных зданий повышенной этажности : специальность 18.00.03 : автореф. дис. ... канд. арх. / Ю. И. Никифоров ; Моск. арх. ин-т. – М., 1975. – 25 с.
88. Одегов, Ю. Г. Трансформация труда: 6-ой технологический уклад, цифровая экономика и тренды изменения занятости / Ю. Г. Одегов, В. В. Павлова // Уровень жизни населения регионов России – 2017. – № 4(206). – С. 19-25.
89. Орлова, С. С. Архитектура промышленных зданий / С.С. Орлова, Т.А. Панкова, Т.И. Болуто ; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов : Саратовский источник, 2011. – 200 с. – ISBN 978-5-91879-119-6.
90. Оценка архитектурного проекта по принципам устойчивого развития : учебное задание и методические указания к курсовому и дипломному проектам при защите на

- степень специалиста или магистра : [сайт] / Г. В. Есаулов, Ю. А. Табунщиков, В. В. Ауров, А. Б. Некрасов, В. А. Новиков и др. – М. : МАРХИ, 2014. – 22 с. – URL: https://marhi.ru/sveden/files/Metod_Disc_Magist_Date.pdf (дата обращения: 25.05.2020). – Текст : электронный.
91. Охлопкова, О. А. Формирование цветовых композиций интерьеров производственных цехов: учебное пособие / О. А. Охлопкова. – Саарбрюккен: LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 144 с. – ISBN-13: 978-3-659-82891-1.
92. Попов, А. И. Неоиндустриализация российской экономики как условие устойчивого развития / А. И. Попов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2014. – №3 (87). – С. 7-12.
93. Прогрессивные типы промышленных зданий для предприятий машиностроения / под ред. Б. С. Ключевича ; Госстрой СССР Главпромстройпроект, центр. науч.-исслед. и проектно-эксперим. ин-т пром. зданий и сооружений «ЦНИИпромзданий». – М. : Стройиздат, 1975. – 76 с.
94. Промышленные роботы в современном производстве – виды и устройство : [сайт]. – URL: <http://electricalschool.info/industrial/1957-promyshlennye-roboty-v-sovremenном.html> (дата обращения 10.10.2018). – Текст : электронный.
95. Проскурин, Г. А. Современные принципы построения промышленных зданий / Г. А. Проскурин // Вестник ОГУ – 2011. – № 9 (128). – С. 171-177.
96. Резникова, М. В. Оптимизация параметров объемно-планировочных решений производственных зданий на эскизной стадии проектирования : специальность 18.00.02 : дис. ... канд. арх. / М. В. Резникова ; Центр. науч.-исслед. и проектно-эксперим. ин-т пром. зданий и сооружений «ЦНИИпромзданий». – М., 1992. – 24 с.
97. Рекомендации по размещению предприятий малой мощности и формированию их архитектурно-строительных решений : (Легкая промышленность) / Центр. н.-и. и проект.-эксперим. ин-т пром. зданий и сооружений. – М. : ЦНИИпромзданий, 1990. – 56 с.
98. Реконструкция промышленного объекта по технологии BIM // Здания высоких технологий. – 2016. – № 1. – С. 60-63.
99. Рогозин, Д. Война и мир в терминах и определениях. Военно-технический словарь / под общей редакцией д.т.н. Д. О. Рогозина. – М. : Вече, 2016. – 272 с. – ISBN 978-5-4444-55-01-2.
100. Роджерс, Р. Гибкость архитектурных решений / Р. Роджерс, М. Голдсмит. // Промышленная архитектура на рубеже XXI века : VII совместный международный симпозиум МСС-МСА, 19-21 октября 1983 г., Вена - Австрия : Материалы симпозиума. – М. : ВНИИПС, 1986. – С. 168-172.
101. Русская тропикалия / сост. Л. Стрижова. – Текст : электронный // ПРОЕКТ БАЛТИЯ : [сайт] – URL: <http://projectbaltia.com/arhitektor-nedeli> (дата обращения 15.05.2020).

102. Сабирова, З. Ф. Модернизация производства как критерий сокращения санитарно-защитных зон / З. Ф. Сабирова, А. В. Ульянова, Ф. В. Чанышев, Р. Ш. Минигазимов, М. В. Винокуров. // Гигиена и санитария. – 2013. – №1. – С. 87-88.
103. Сазыкина, Е. В. Особенности архитектурно-планировочной организации производственных предприятий в условиях современного города / Е. В. Сазыкина – Текст : электронный // АМІТ : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2017. – № 1 (38). – URL: http://www.marhi.ru/AMIT/2017/1kvart17/PDF/16_AMIT_38_SAZYKINA_PDF.pdf (дата обращения 30.12.2018).
104. Семеонов, Ц. М. Универсальные многоэтажные здания предприятий легкой промышленности для гибких технологических процессов : специальность 18.00.02 : автореф. дис. ... канд. арх. / Ц. М. Семеонов ; Моск. архит. ин-т. – М., 1987. – 23 с.
105. Сербинович, П. П. Архитектурное проектирование промышленных зданий : учебное пособие для строительных вузов по специальности «Промышленное и гражданское строительство» / П. П. Сербинович, Б. Я. Орловский, В. К. Абрамов. – М. : Высшая школа, 1972. – 408 с.
106. Силин, Я. П. Перед вызовами третьей волны индустриализации: страна, регион / Я. П. Силин, Е. Г. Анимидца, Н. В. Новикова // Известия УрГЭУ. – 2016. – № 3 (65). – С. 14-25.
107. Система добровольной экологической сертификации объектов недвижимости «Зеленые стандарты» – Текст : электронный // Министерство природных ресурсов : [сайт]. – 284 с. – URL: <https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/487/48790e77596b12599798b98e4a15420c.pdf> (дата обращения: 01.10.2021).
108. Справочник проектировщика : Архитектура промышленных предприятий, зданий и сооружений / под общ. ред. Н. Н. Кима. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1990. – 638 с. – ISBN 5-274-00597-7 (В пер.).
109. Стецкий, С. В. Конструктивные и планировочные решения многоэтажных производственных зданий при обеспечении в них естественного освещения через световые колодцы / С. В. Стецкий, Ч. Гуанлун // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №3. – С. 70-72.
110. Субхангулов, Р. Мониторинг и анализ технологического развития России и мира : [сайт] / Р. Субхангулов ; Центр макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования. – М., 2017, май. – 26 с. – URL: http://www.forecast.ru/ARCHIVE/HT_Mons/2017/2017_q1.pdf (дата обращения 16.09.18). – Текст : электронный.
111. Табунщиков А. Ю. Интеллектуальные здания // АВОК. – 2001. – № 3. – С. 6-13.
112. Табунщиков, Ю. А. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач // АВОК : Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 1998. – № 1. – С. 5-13.

113. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2003. – 192 с. – (Техническая библиотека НП «АВОК»). – ISBN 5-94533-007-8.
114. Татарченко А. В. Средовой подход в архитектуре: от теории к реализации / А. В. Татарченко // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 9. – С. 115-119.
115. Точно в срок – Текст : электронный // Wikipedia : [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Точно_в_срок (дата обращения: 12.07.2020).
116. Трубашевский, Д. Цифровые фабрики Индустрии 4.0. Осязаемые прототипы нового технологического уклада : [сайт] / Д. Трубашевский, В. Ежеленко. – [Санкт-Петербург], 20.10.2016. – URL: http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=731&group_id_4=55 (дата обращения 10.10.2018). – Текст : электронный.
117. Усачев, Ю. И. Разработка планировочных решений механосборочных цехов : учебное пособие. / Ю. И. Усачев. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 82, [4] с. – (Учебное пособие МГТУ им. Н. Э. Баумана). – ISBN 978-5-7038-4727-5.
118. Устойчивая архитектура: эстетика, экология, экономика – Текст : электронный / Arch:speech : [сайт] – 14.03.2017. – URL: <https://archspeech.com/article/ustoychivaya-arhitektura-estetika-ekologiya-ekonomika> (дата обращения: 01.09.2019).
119. Устойчивое развитие – Текст : электронный // Wikipedia : [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Устойчивое_развитие (дата обращения: 12.04.2020).
120. Фисенко, А. А. Энергоэффективность промышленной архитектуры: современная теория и практика / А. А. Фисенко, М. Е. Бассе – Текст : электронный // AMIT : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2013. – № 2 (23). – 13 с. – URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2013/2kvart13/basse/basse.pdf> (дата обращения 01.05.16).
121. Франц, Д. Влияние новых технологических методов на формирование производственной среды / Д. Франц // Промышленная архитектура на рубеже XXI века : VII совместный международный симпозиум МСС-МСА, 19-21 октября 1983 г., Вена - Австрия : Материалы симпозиума. – М. : ВНИИПС, 1986. – С. 139-141.
122. Халтурина, Л. В. Генеральные планы промышленных предприятий : учебное пособие / Л. В. Халтурина ; М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации. Алт. гос. техн. ун-т. им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2001. – 55, [1] с.
123. Хенн, В. Промышленные здания и сооружения : [в 2 т.]. Т. 1: Архитектура. Проектирование. Конструкции. / В. Хенн, проф. Высш. техн. школы в ...ауншвейге ; пер. с нем. инж. Л. К. Войцеховского [и др.] ; под ред. и с предисл. действ. чл. Акад. строительства и архитектуры СССР К. Н. Карташова. – М. : Госстройиздат, 1959. – 288 с.
124. Хромец, Ю. Н. Совершенствование объемно-планировочных и конструктивных решений промышленных зданий / Ю. Н. Хромец. – М. : Стройиздат, 1986. – 315 с.

125. Хрусталеv, Д. А. Архитектурная организация зданий для рискованных направлений исследований в инновационных парках Великобритании / Д. А. Хрусталеv – Текст : электронный // АМІТ : Architecture and Modern Information Technologies = Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал : [сайт]. – 2010. – № 4 (13). – С. 1-15. – URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2010/4kvart10/khrustalev/khrustalev.pdf> (дата обращения 01.02.2019).
126. Хрусталеv, Д. А. Архитектурное формирование научно-производственных зданий инновационного направления : специальность 05.23.21 : автореф. дис. ... канд. арх. / Д. А. Хрусталеv ; [Место защиты: Моск. архитектур. ин-т]. – М., 2011. – 30 с.
127. Хрусталеv, Д. А. Архитектурное формирование научно-производственных зданий инновационного направления : специальность 05.23.21 : дис. ... канд. арх. / Д. А. Хрусталеv ; [Место защиты: Моск. архитектур. ин-т]. – М., 2011. – 151 с.
128. Цифровое производство : методы, экосистемы, технологии : рабочий доклад Департамента Корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО : [сайт] / А. И. Боровков, Л. В. Лысенко, П. Н. Биленко, Н. С. Верховский, М. О. Фельдман, и др. ; Департамент Корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО – ноябрь. 2017. – 82, [2] с. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf (дата обращения: 25.05.2020). – Текст : электронный.
129. Черкасов, Г. Н. Архитектура промышленных предприятий : (проблемы, тенденции, практика) / Г. Н. Черкасов. – М. : Знание, 1986. – 60, [3] с. – (Новое в жизни, науке, технике. Стр-во и архитектура; 5).
130. Черкасов, Г. Н. Новые тенденции в развитии промышленной архитектуры: предприятие – человек – город – общество / Г. Н. Черкасов, М. М. Кабаева // Academia : Архитектура и строительство. – 2014. – № 4. – С. 33-44.
131. Черкасов, Г. Н. Социокультурные аспекты развития промышленной архитектуры / Г. Н. Черкасов, М. М. Кабаева // Academia : Архитектура и строительство. – 2011. – № 4. С. 18-30.
132. Шавина, Т. Индустриальные парки в России — специфика проектирования / Т. Шавина – Текст : электронный // Строительство : всероссийский отраслевой интернет-журнал : [сайт]. – 30.04.2014. – URL: <https://rcmm.ru/arhitektura-i-proektirovanie/22088-industrialnye-parki-v-rossii-”-specifika-proektirovaniya.html>. (дата обращения: 01.02.2018).
133. Шаламов, Н. П. Гибкие цехи : Индустриальные здания переменного назначения / Н. П. Шаламов, ред. М. П. Предтеченский ; М-во строительства СССР. Техн. упр. Центр. науч.-исслед. ин-т пром. сооружений ЦНИПС. – М. : Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954. – 160 с.
134. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб ; АНО ДПО «Корпоративный университет Сбербанка». – М. : Эксмо, 2016. – 138 с. – (Top Business Awards). – ISBN 978-5-699-90556-0.

135. A Look Into Smart Factories: A Model of IIoT Innovation : [website]. – 08.08.2018. – URL: <https://www.trendmicro.com/vinfo/ph/security/news/internet-of-things/a-look-into-smart-factories-a-model-of-iiot-innovation> (date of access: 01.03.2019). – Text : electronic.
136. ABB to build the world's most advanced robotics factory in Shanghai : Press release : [website]. – Shanghai, China, 27.10.2018. – URL: <https://new.abb.com/news/detail/9410/abb-to-build-the-worlds-most-advanced-robotics-factory-in-shanghai> (date of access: 10.08.2020). – Text : electronic.
137. Allen, TH. J. The Organization and Architecture of Innovation: Managing the Flow of Technology / TH. J. Allen G. W. Henn. – Oxford (UK): Butterworth–Heinemann, 2006. – 136 p. – ISBN 9780750682367.
138. Amrey C. Architecture, Industry and Innovation: The Early Works of Nicholas Grimshaw & Partners / C. Amrey. – Singapore : Phaidon Press Limited, 2000. – 256 p.
139. Aragon, A. Manufacturing quality today: Higher quality output, lower cost of quality / A. Aragon, E. Makarova, A. F. Ragani, P. Rutten // The great re-make: Manufacturing for modern times. – 2017. – USA: McKinsey&Company – C. 46-52. – ISBN 978-0714839349.
140. Architecture and concept geared to future work environments : [website] – 05.23.2014. – URL: <https://www.wittenstein.de/en-en/company/press/press-release/architecture-and-concept-geared-to-future-work-environments/> (date of access: 05.01.2018). – Text : electronic.
141. Burke, R The smart factory: Responsive, adaptive, connected manufacturing : A Deloitte series on Industry 4.0, digital manufacturing enterprises, and digital supply networks : [website] / R. Burke, A. Mussomeli, St. Laaper, M. Hartigan, Br. Sniderman. – Deloitte University Press, [2017]. – 24 p. – URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smart-factory/DUP_The-smart-factory.pdf (date of access: 01.02.2018). – Text : electronic.
142. Carpi, R. Performance management: Why keeping score is so important, and so hard : [website] / R. Carpi, J. Douglas, Fr. Gascon // The great re-make: Manufacturing for modern times. – 2017. – P 108-113. – URL: https://www.mckinsey.com/~/_media/McKinsey/Business%20Functions/Operations/Our%20Insights/The%20great%20remake%20Manufacturing%20for%20modern%20times/The-great-remake-Manufacturing-for-modern-times-full-compendium.ashx?utm_content=buffera76c1&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer (date of access: 01.04.2018). – Text : electronic.
143. Challenger, R. Designing and managing a «factory of the future» / R. Challenger, Ch. Clegg, M. Davis, J. McGourlay, K. Ridgway // The Arup Journal. – 2010. – №1. – P. 9.
144. Challenger, R. Understanding and promoting «green behavior» in the use of existing buildings / R. Challenger, Ch. Clegg, M. Davis, Ch. Jofeh // The Arup Journal. – 2010. – №1. – P. 19.
145. Corporate architecture : [logbuch] / ATP architects and engineers ; [content a. ed. Barbara Achammer ; Engl. transl. Rupert Hebblethwaite ; phot. Alexander Koller et al.]. – Innsbruck : ATP architects and engineers, 2007. – 76 p.

146. Darley, G. *Factory* / G. Darley. – London : Reaktion Books, 2003. – P. 134. – ISBN 9781861891556.
147. *Deckel Machine Factory* – Text : electronic // HENN : [website]. – URL: <http://www.henn.com/en/projects/office-industry/deckel-machine-factory> (date of access: 20.06.2019).
148. El Maraghy, H.A. *Changing and Evolving Products and Systems – Models and Enablers : Chapter 2* / H.A. El Maraghy // *Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems*. – London ; Berlin ; Heidelberg: Springer, 2009. – P. 25- 45.
149. *Energy-smart industrial architecture* / under ed. J. Delwiche // *Gas Technology*. – 2015. – V. 28 (issue 2). – P. 3-7.
150. *Factory of the Future* – Text : electronic // HENN : [website]. – URL: <http://www.henn.com/en/research/factory-future> (date of access: 10.01.2020).
151. Gissen, D. *Big and Green : Toward Sustainable Architecture in the 21st Century* / D. Gissen. – New York : Princeton Architectural Press, 2002. – 192 p. – ISBN 978-1568983615.
152. Gownder, J. P. *Why Large-Scale Product Customization Is Finally Viable for Business* / J. P. Gownder. – 13.04.2011. – Text : electronic // Mashable : [website]. – URL: <https://mashable.com/2011/04/13/mass-customization/> (date of access: 01.06.2019).
153. Grimshaw N. III. *The Future of Industrial Building* / N. Grimshaw // *Journal of the Royal Society of Arts* : Vol. 133. – 1984. – № 5341, dec.. – P. 47-60.
154. Hatuka T. *Facing Forward: Trends and Challenges in the Development of Industry in Cities* / T. Hatuka, E. Ben-Joseph, S. M. Peterson // *Built Environment*. – 2016. – №1 (43). P. 145-155.
155. Hatuka T. *Industrial Urbanism: Places of Production* : [website] / T. Hatuka, E. Ben-Joseph, R. Bar, K. Johnson, M. C. Kim, E. Kuwada, C. Rhie, Roznek ; Laboratory for Contemporary Urban Design, Department of Urban Studies and Planning. – Cambridge, MA (USA) : Massachusetts Institute of Technology, 2014. – 79 p. – URL: <https://urbanologia.tau.ac.il/wp-content/uploads/2014/06/קטלוג-התערוכה-Industrial-Urbanism.pdf> (date of access: 10.11.2017). – Text : electronic.
156. Hargrave, J. *Rethinking the Factory* / J. Hargrave, L. Goulding. – 2015. – 59 p. – Text : electronic. // Arup : [website]. – URL: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/rethinking-the-factory> (date of access: 20.02.2019).
157. *In Detail, Work Environments: Spatial concepts, Usage Strategies, Communications* / ed. by Christian Schittich. – Verlag : Edition DETAIL ; Institut für internationale Archit, 2012. – 176 p. – ISBN 978-3034607247.
158. Jevremovic, L. *Aesthetic of Industrial Architecture in Era of Reindustrialization* / L. Jevremovic, M. Vasic, M. Jodanovic // *Materials of 2nd International Conference for PhD students in Civil Engineering and Architecture CE-PhD 2014, 10-13 December 2014, Cluj-Napoca, Romania*. – 2014. – P. 568-574.
159. *Linn Products* – Text : electronic // Rogers Stirk Harbour & Partners : [website]. – URL: <https://www.rsh-p.com/projects/linn-products/> (date of access: 18.08.2019).

160. Living Roofs and Walls. Technical Report: Supporting London Plan Policy : [website] / K. Livingstone, R. Rogers, P. Bishop – London : Greater London Authority, 2008. – 60 p. – URL: <https://www.london.gov.uk/sites/default/files/living-roofs.pdf> (data of access: 24.04.2020). – Text : electronic.
161. Mabkhot, M. M. Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective / M. M. Mabkhot, A. M. Al-Ahmari, B. Salah, H. Alkhalefah – Text : electronic // Machines : [website]. – 2018. – Vol. 6. – Issue 2. – URL: <https://doi.org/10.3390/machines6020023> (date of access: 20.02.2019).
162. McLaren Production Centre – Text : electronic // Foster & Partners : [website]. – URL: <https://www.fosterandpartners.com/projects/mclaren-production-centre/> (date of access: 06.07.2020).
163. Magill J. D., A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research : A Research Paper ... the Master of Science Degree / J. D. Magill; Department of Plant, Soil, and Agricultural Systems in the Graduate School Southern Illinois University Carbondale. – Carbondale, 2011. – 62 p.
164. Mostaedi, A. Factories & Office Buildings / A. Mostaedi. – Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones, 2002. – 237, [2] p. – ISBN 8489861900.
165. Portal Talks to Barkow Leibinger Architects / M. J. Hörmann, Th. J. Hörmann, Ch. Hörmann // Portal. – 2005. – № 5. – P. 2-7.
166. Powell, K. Richard Rogers: Architecture of the Future / K. Powell, ed. R. Torday. – Basel; Boston; Berlin : Birkhäuser – Publishers for Architecture, 2006. – 520 p. – ISBN 978-3-7643-7049-7.
167. Rappaport, N. Factory Architecture in the Age of Industry 4.0 / N. Rappaport – Text : electronic // Metropolis : [website]. – 19.04.2017. – URL: <http://www.metropolismag.com/architecture/factory-architecture-age-industry-4-0/> (date of access 5.01.18).
168. Rappaport, N. Vertical Urban Factory / N. Rappaport. – NY: Actar Publishers, 2019. – 480 p. – ISBN 9781948765145.
169. Reichardt, J. Changeable Factory Buildings – An Architectural View / J. Reichardt, H-P. Wiendahl // Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems. – London; Verlag: Springer, 2009. – P. 389-402. – ISBN 9781848820678.
170. Schenk M. Factory Planning Manual : Situation-Driven Production Facility Planning / M. Schenk, S. Wirth, E. Müller. – Verlag; Berlin; Heidelberg : Springer, 2010. – 422 p. – ISBN 9783642036354.
171. Steel Installation : Smart Factory – Text : electronic // Barkow Leibinger : [website]. – URL: https://barkowleibinger.com/archive/view/Steel_Installation_Smart_Factory (date of access: 24.04.2020).
172. Stefanutti, L. Климатизация атриумов / L. Stefanutti // АВОК : Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2014. – №4. – С. 46-54.

173. The Assembly Plant of Porsche AG in Leipzig / M. J. Hörmann, Th. J. Hörmann, Ch. Hörmann // Portal. – 2005. – № 5. – P. 22-27.
174. The future of work in technology : How technology leaders can reimagine technology work, the workforce, and the workplace : [website] / Kh. Kark, B. Briggs, A. Terzioglu, M. Puranik. – UK : Deloitte Press, 2019. – 32 p. – URL: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ec/Documents/technology-media-telecommunications/DI_The-future-of-work-in-technology%20\(1\).pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ec/Documents/technology-media-telecommunications/DI_The-future-of-work-in-technology%20(1).pdf) (date of access: 01.03.2019). – Text : electronic.
175. Tilley, J. Automation, robotics, and the factory of the future/ J. Tilley // The great re-make: Manufacturing for modern times. – 2017. – USA: McKinsey&Company – C. 67-72. – ISBN 978-0714839349.
176. Wagner J. Innovation Spaces : The New Design of Work : [website] / J. Wagner, D. Watch. – Washington : The Brookings Institution, 2017. – 64 p. – URL: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2017/04/cs_20170404_innovation_spaces_pdf.pdf (date of access: 01.04.2020). – Text : electronic.
177. «We Are Not Concerned With Corporate Identity, But With Quality» – a Discussion With Frank Barkow and Regine Leibinger / F. Kaltenbach // Detail. – 2015. – № 3. – P. 222-227.
178. Weber, Au. Lean manufacturing layout / Au. Weber – Text : electronic // Assembly Magazine : [website]. – 2012. – March. – URL: <https://www.assemblymag.com/articles/89823-lean-plant-layout> (date of access: 8.01.19).
179. Wiendahl H.-P. Handbook Factory Planning and Design / H.-P. Wiendahl, J. Reichardt, P. Nyhuis. – Verlag; Berlin; Heidelberg: Springer, 2015. – 502 p. – ISBN 9783662463918.
180. Zhong, R. Y. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review / R. Y. Zhong, X Xu, E. Klotz, St. T. Newman // Engineering. – 2017. – Vol. 3. – Issue 5. – October. – P. 616-630.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский архитектурный институт
(государственная академия)»

На правах рукописи

Дмитриева Алёна Олеговна

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ФАБРИК**

Специальность 2.1.12 – Архитектура зданий и сооружений.
Творческие концепции архитектурной деятельности

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата архитектуры

Том II. Приложения

Научный руководитель:
Хрусталеv Александр Алексеевич
кандидат архитектуры, доцент

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Том I

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ НА АРХИТЕКТУРНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	13
1.1. Процесс неоиндустриализации и его влияние на размещение промышленных предприятий и характер производственной деятельности.....	13
1.2. Четвертая промышленная революция и ее воздействие на передовые производства	20
1.2.1. Научно-технический прогресс и промышленные революции. Краткий исторический обзор	20
1.2.2. «Прорывные технологии» и инновационные производственные процессы	21
1.2.3. Концепция «умной фабрики», как прообраз предприятий будущего	27
1.2.4. Организация эффективного производственного процесса с помощью принципов «бережливого производства»	30
1.3. Исследование мирового опыта формирования архитектуры промышленных предприятий с высокотехнологичными производственными системами	32
1.3.1. Исторический обзор эволюции архитектуры предприятий	32
1.3.2. Комплексный анализ современной практики проектирования промышленных предприятий, отвечающих передовым технологическим, экономическим и социальным трендами	38
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	49
ГЛАВА 2. ВЫЯВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЕМОВ И ТЕНДЕНЦИЙ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ФАБРИК (ИФ)	52
2.1. Размещение и особенности современной планировочной организации генеральных планов ИФ в условиях урбанизированной среды.....	52
2.2. Передовые приемы и тенденции архитектурного формирования ИФ	60
2.2.1. Влияние Четвертой промышленной революции на функциональное зонирование и объемно-планировочные решения ИФ	60
2.2.2. Наиболее рациональные конструктивные и инженерные решения предприятий ..	73
2.3. Основные позиции «устойчивой архитектуры» при проектировании современных промышленных объектов	78
2.3.1. Использование цифровых технологий при проектировании ИФ	78

2.3.2. Приемы увеличения гибкости и адаптивности внутреннего пространства производственных объектов	80
2.3.3. Способы роста и расширения предприятий	83
2.3.4. Методы повышения энергоэффективности, экологической безопасности и ресурсосбережения промышленных зданий	85
2.3.5. Пути гуманизации и демократизации производственной среды новых предприятий	91
2.4. Обеспечение качества и эстетической привлекательности промышленных объектов	95
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	101
ГЛАВА 3. АРХИТЕКТУРА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	105
3.1. Принципы архитектурного формирования ИФ	105
3.1.1. Принцип функциональной диверсификации	105
3.1.2. Принцип многофакторной гибкости-адаптивности	108
3.1.3. Принцип необходимой и достаточной компактности.....	110
3.1.4. Принцип экологической ответственности	112
3.1.5. Принцип социальной экстраверсии	114
3.1.6. Принцип неотъемлемой комплексности	115
3.2. Разработка архитектурной концепции ИФ.....	116
3.2.1. Система критериев оценки качества архитектурных решений новых производственных зданий.....	116
3.2.2. Методика поэтапного вариационного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения.....	121
3.3. Внедрение результатов исследования в современную архитектурную теорию и практику	125
3.3.1. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ.....	125
3.3.2. Апробация в рамках учебного проектирования	139
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	150
Список литературы	155

Том II. Приложения

Приложение 1. Демонстрационные материалы.....	5
Приложение 2. Глоссарий.....	49
Приложение 3. Перечень проанализированных объектов. Объекты ретроспективного анализа.....	53
Приложение 4. Перечень проанализированных объектов. Современные объекты-представители.....	59
Приложение 5. Расчет рациональной общей площади ИФ.....	78
Приложение 6. Список источников иллюстративного материала.....	81

Приложение 1. Демонстрационные материалы

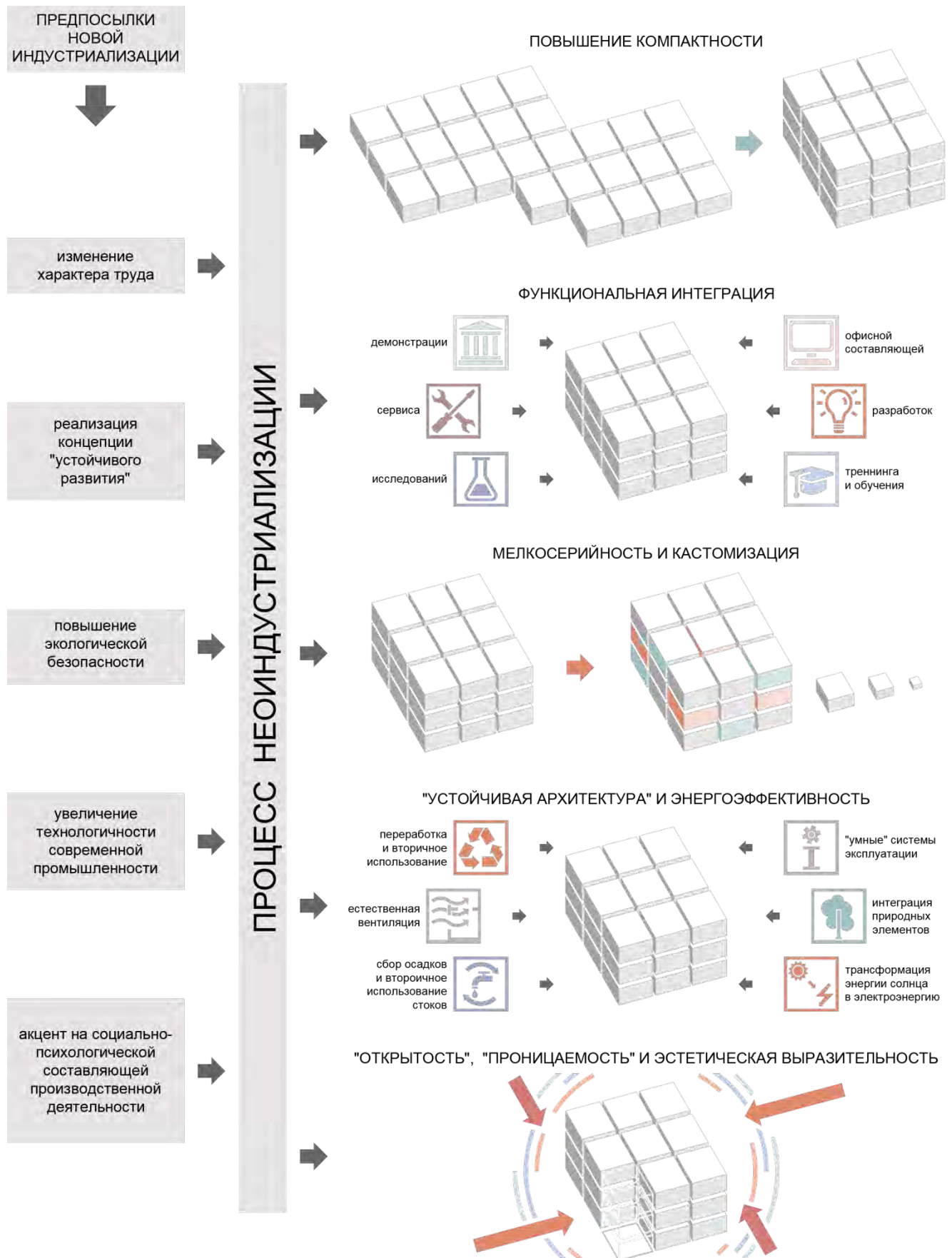
Лист 1.1. Ключевые этапы эволюции отношений между городом и производством



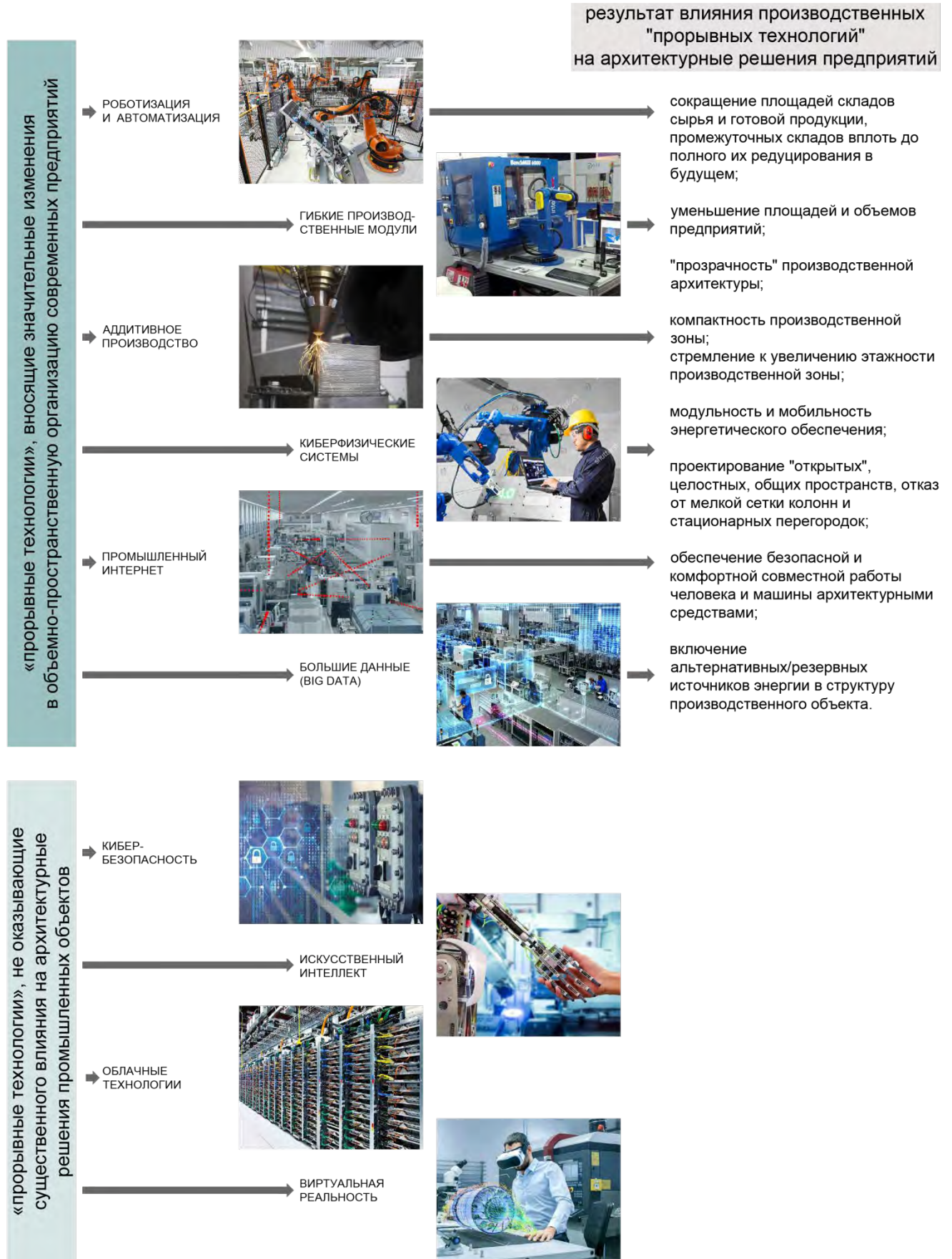
Научно-технический прогресс и промышленные революции. Краткий исторический обзор



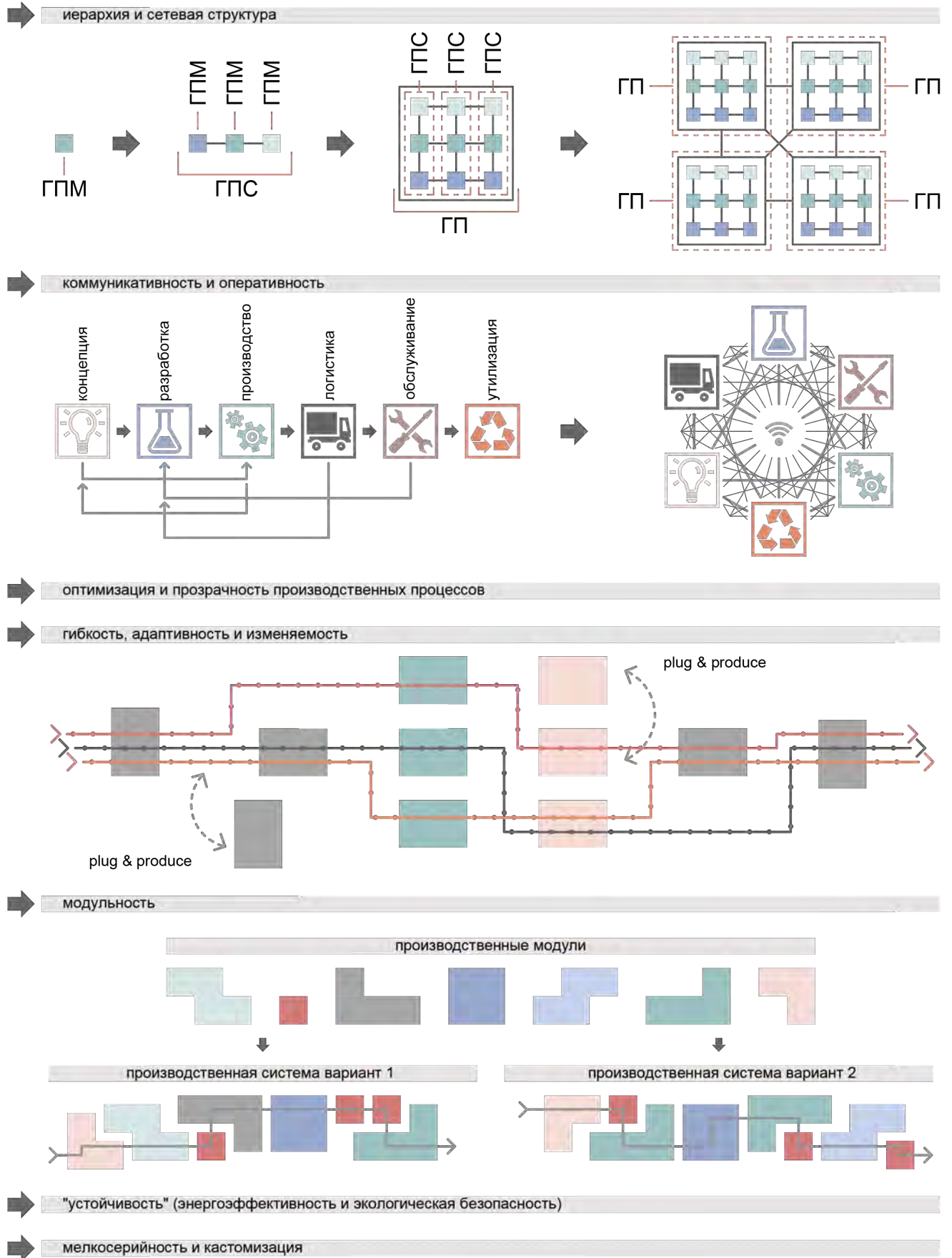
Лист 1.2. Процесс неоиндустриализации и его влияние на размещение промышленных предприятий и характер производственной деятельности



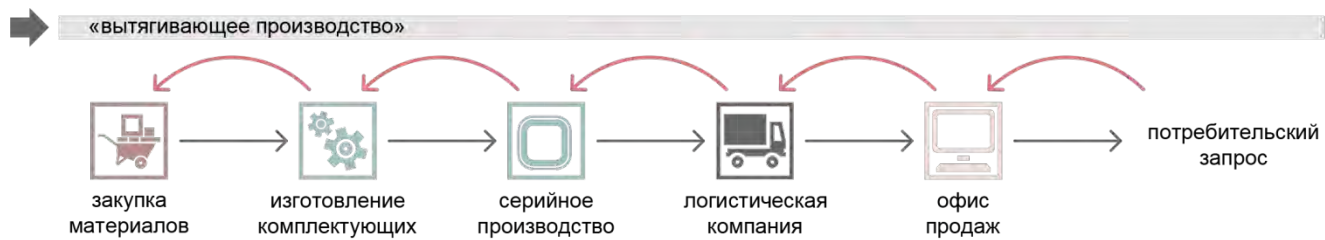
Лист 1.3. «Прорывные технологии» и инновационные производственные процессы



Лист 1.4. Концепция «умной фабрики», как прообраз предприятий будущего

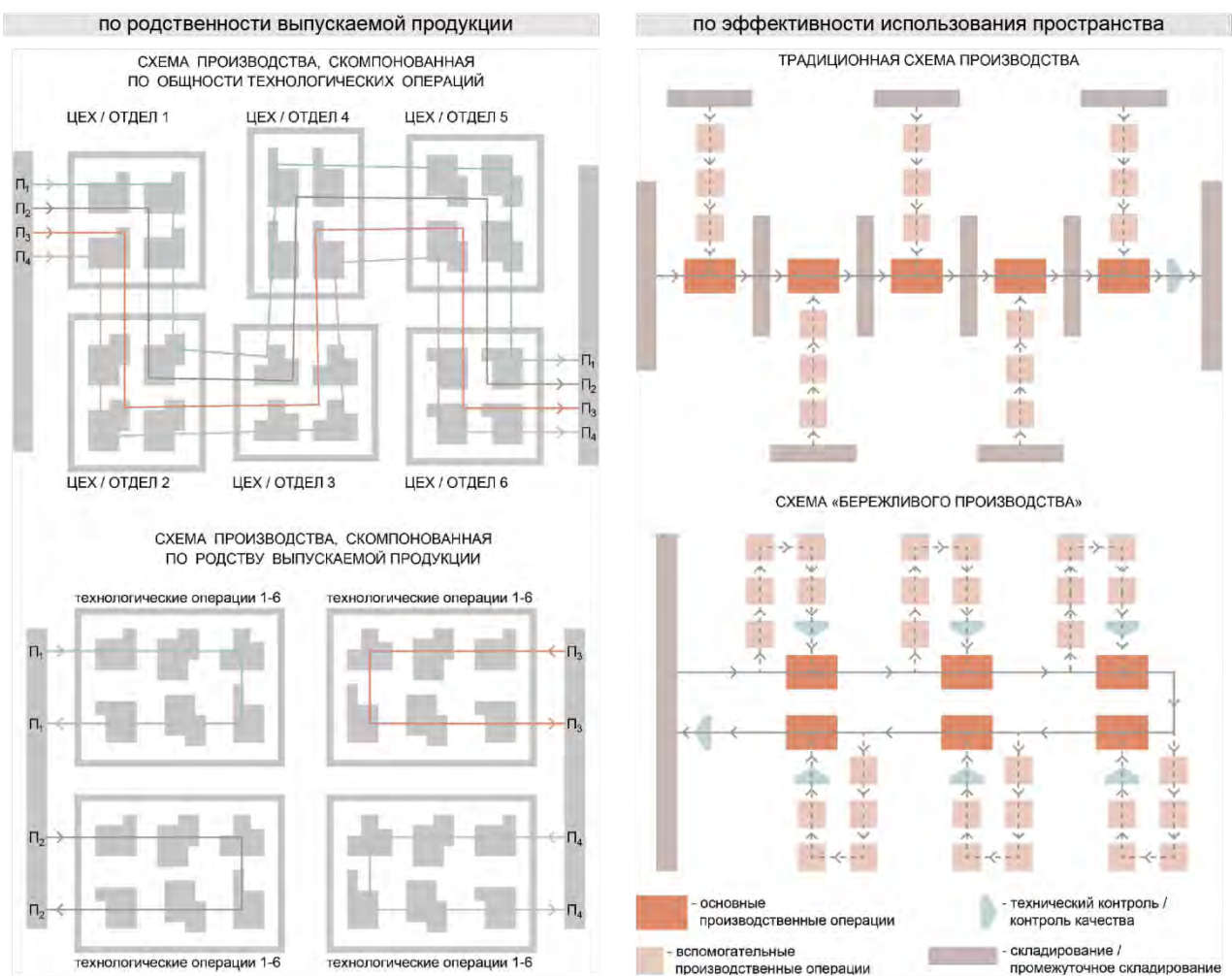


Лист 1.5. Организация эффективного производственного процесса с помощью принципов «бережливого производства»

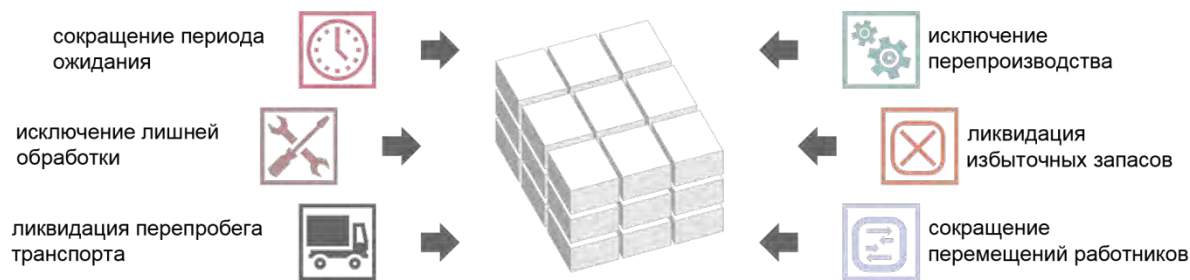


«точно в срок»

"бережливая" компоновка технологических линий и производственного оборудования

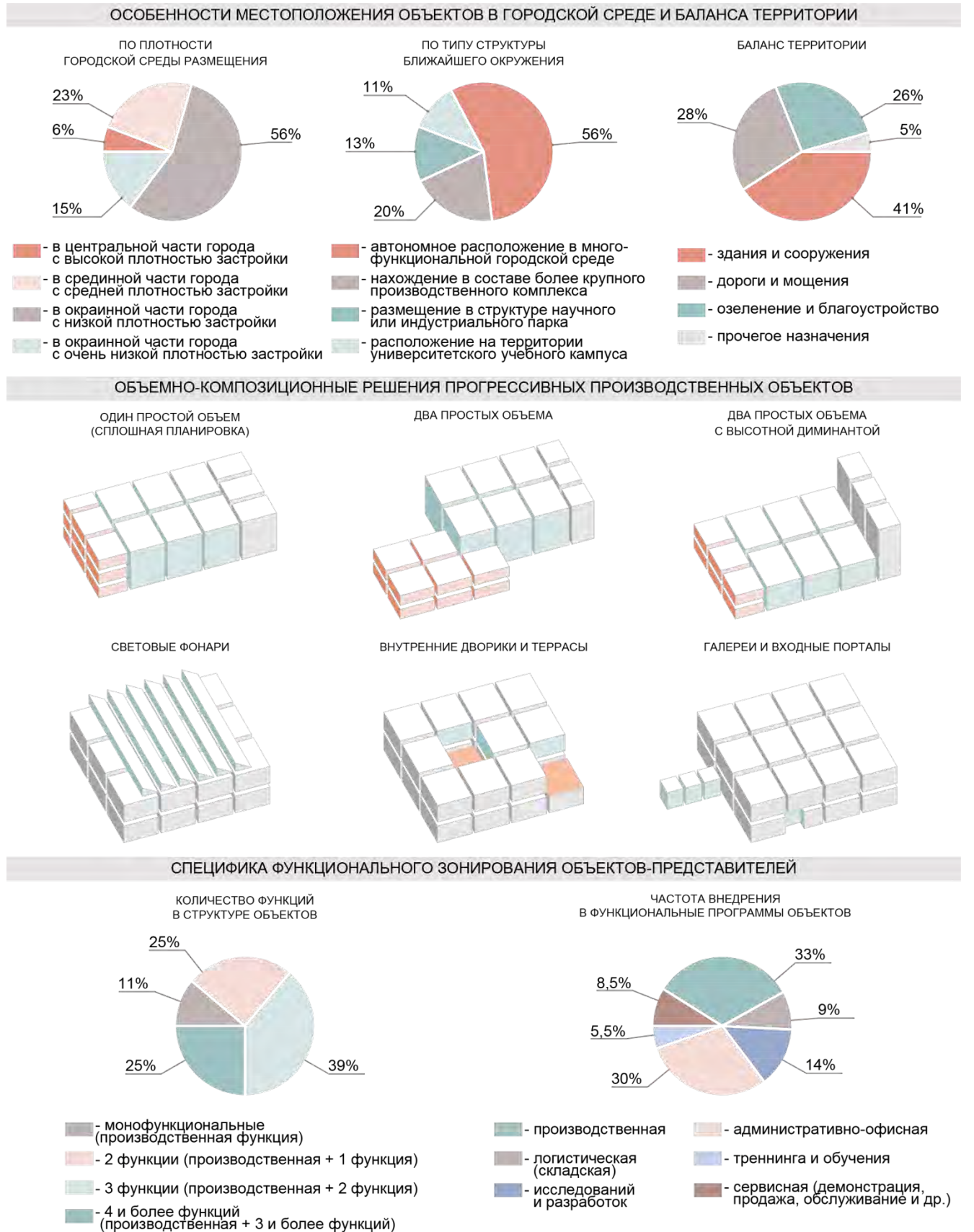


«кайдзен» - изменения в целях совершенствования

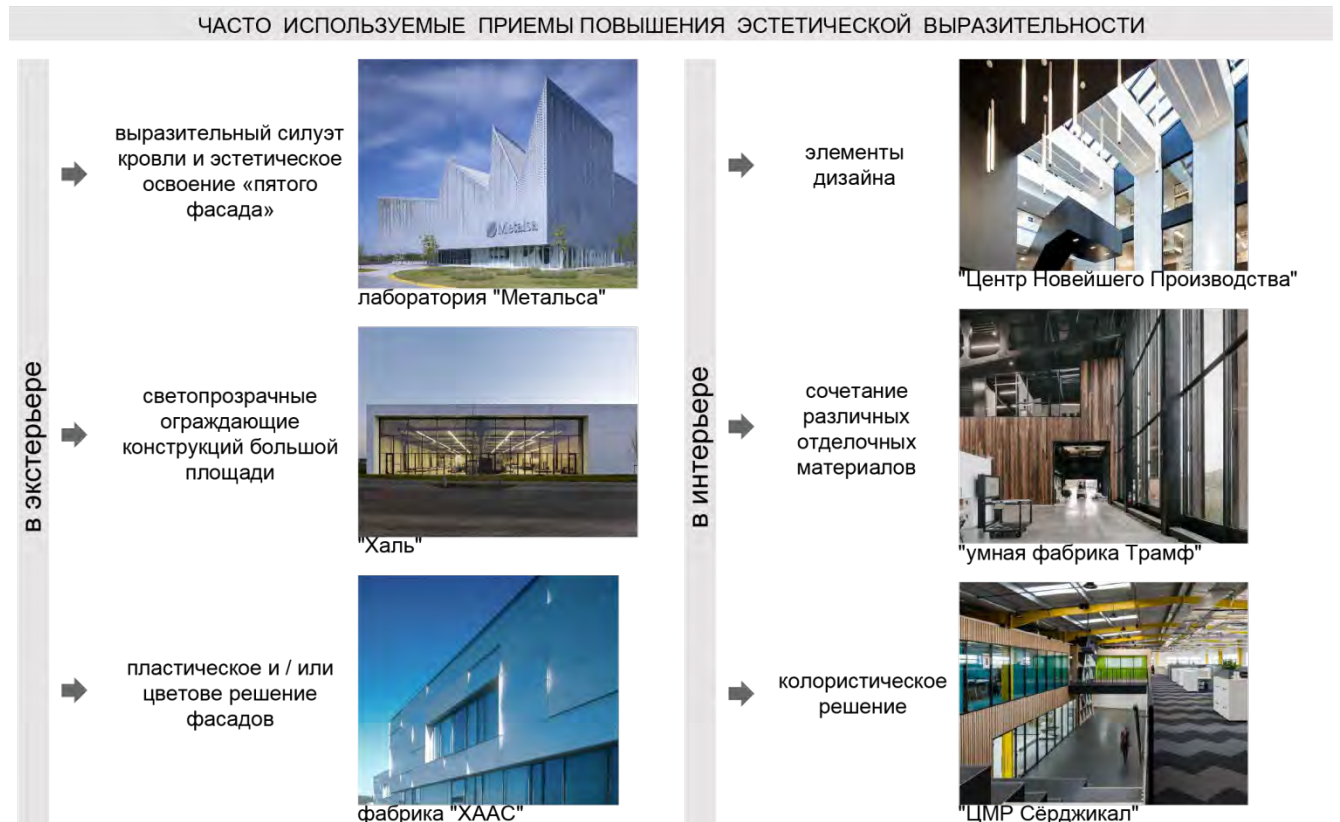


человеко-ориентированное производство

Лист 1.7. Комплексный анализ современной практики проектирования промышленных предприятий, отвечающих передовым технологическим, экономическим и социальным трендами



Лист 1.8. Комплексный анализ современной практики проектирования промышленных предприятий, отвечающих передовым технологическим, экономическим и социальным трендами



Лист 1.9

Предприятие "Нео Солар Пауэр"

Вид производства: производство фотоэлектрических панелей
 Схема компоновки производства: линейная

Архитектор / арх. бюро: J. J. Pan & Partners
 Дата постройки: 2009 г.
 Страна, город: Тайвань, Синьчжу
 S_{общая}: 27 000 м кв.

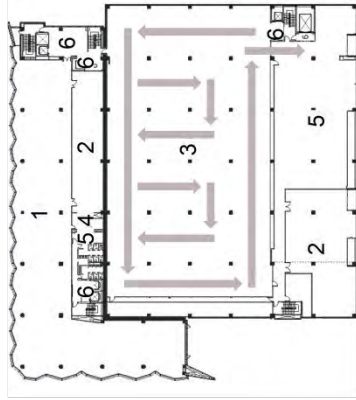
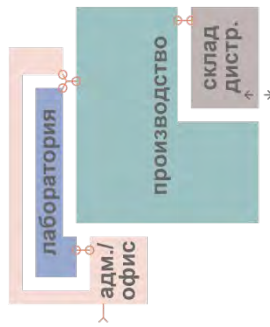


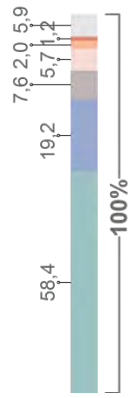
схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - административно-офисное пространство
- 2 - склад
- 3 - производственные линии
- 4 - кухня
- 5 - подсобно-технические помещения
- 6 - лифтовой холл

функциональная структура объекта



Офисно-производственное здание ООО "Хюттингер Электроник"

Вид производства: электроприборы
 Схема компоновки производства: стендовая, гибкая

Архитектор / арх. бюро: Barkow Leibinger Architects
 Дата постройки: 2005-2006 г.
 Страна, город: Германия, Альпштадт
 S_{общая}: 15 000 м кв.

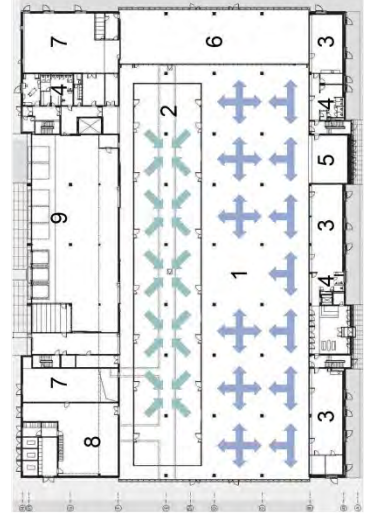
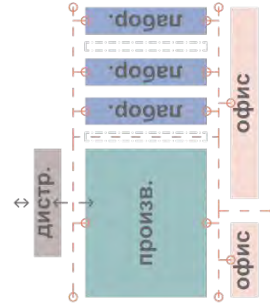


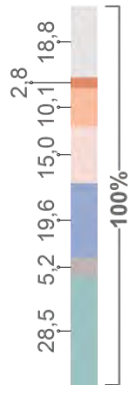
схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - производственное пространство
- 2 - окончателная сборка
- 3 - офисные помещения
- 4 - санитарно-бытовые помещения
- 5 - комнаты отдыха
- 6 - подсобное помещение
- 7 - инженерно-технические комнаты
- 8 - технический центр
- 9 - дистрибуция

функциональная структура объекта



Лист 1.10

Научно-производственный центр "БМГ МИС"



Вид производства: производство жидкокристаллических экранов
 Схема компоновки производства: линейная "петлевая"

Архитектор / арх. бюро: ATP Architects and Engineers
 Дата постройки: 2012 г.
 Страна, город: Германия, Ульм
 S_{общая}: 14 200 м кв.

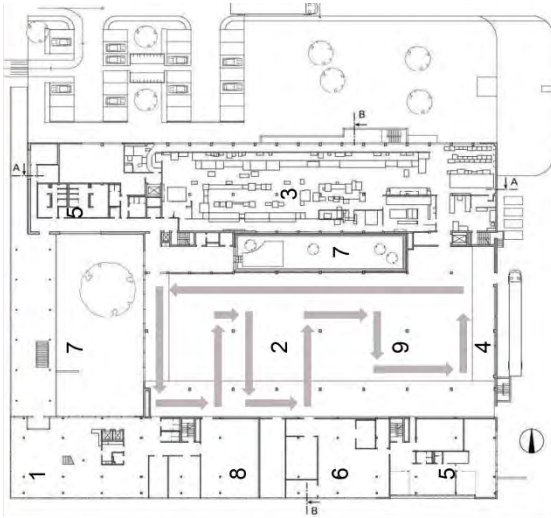
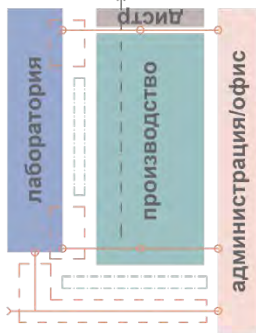


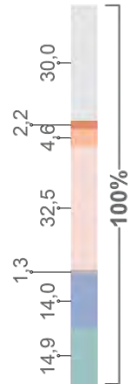
схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - рекреация
- 2 - сборочный участок
- 3 - чистые помещения
- 4 - зона склада
- 5 - санитарно-бытовые помещения
- 6 - отдел разработок
- 7 - внутренний двор
- 8 - подсобно-технические комнаты
- 9 - участок контроля готовой продукции

функциональная структура объекта



Фабрика "Генхеликс Биофармасьютикал"



Вид производства: биотехнологии
 Схема компоновки производства: гибкая
 Архитектор / арх. бюро: estudioSIC
 Дата постройки: 2011 г.
 Страна, город: Испания, Леон

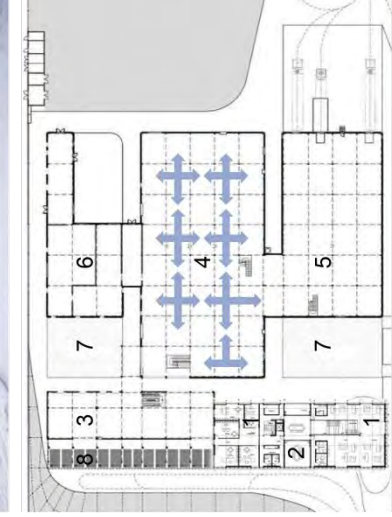
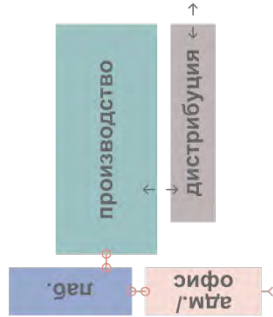


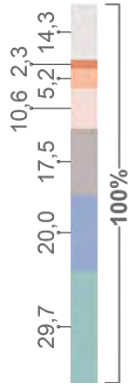
схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - офис
- 2 - переговорные
- 3 - лаборатория
- 4 - производство и разработка
- 5 - склад / дистрибуция
- 6 - инженерно-технические помещения
- 7 - зона будущего расширения
- 8 - паркинг

функциональная структура объекта



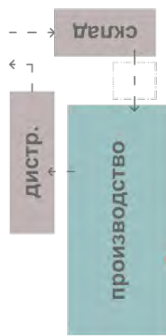
Лист 1.11

"Фабрика на Земле"

Вид производства: элементы электрооборудования
 Схема компоновки производства: линейная

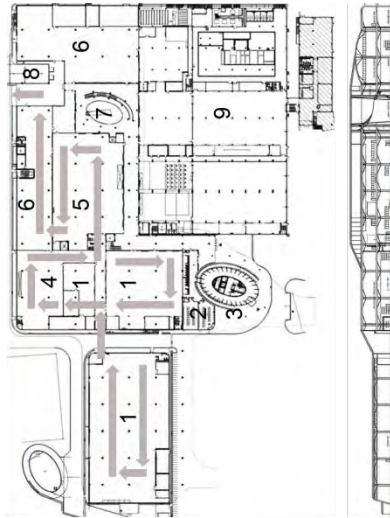
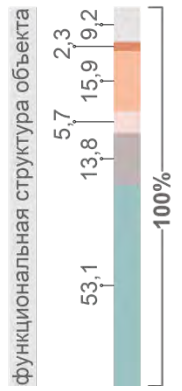
Архитектор / арх. бюро: Ryuichi Ashizawa Architect & As.
 Дата постройки: 2013 г.
 Страна, город: Малайзия, Джохор-Бару
 S_{общая}: 25 140 м кв.

схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - производственный цех
- 2 - санитарно-бытовые помещения
- 3 - офис
- 4 - цех контроля
- 5 - упаковочный цех
- 6 - склад
- 7 - внутренний двор
- 8 - дистрибуция
- 9 - существующее предприятие

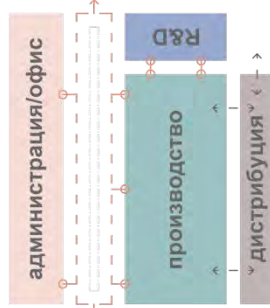


Производственно-офисное здание фирмы "Филлипп Хафнер"

Вид производства: высокоточные измерительные приборы
 Схема компоновки производства: стендовая

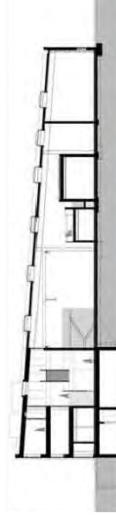
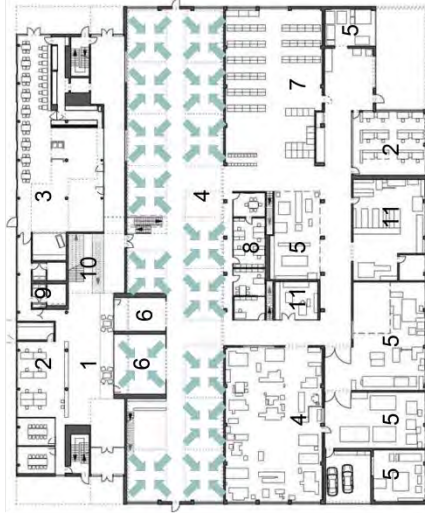
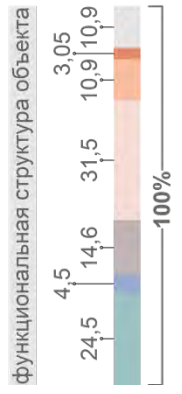
Архитектор / арх. бюро: Gernot Schulz : Architektur
 Дата постройки: 2013 г.
 Страна, город: Германия, Фелльбах
 S_{общая}: 7 330 м кв.

схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - лобби
- 2 - офис
- 3 - столовая
- 4 - производственные помещения
- 5 - подсобно-технические помещения
- 6 - чистое помещение
- 7 - склад
- 8 - зона разработок
- 9 - санитарно-бытовые помещения
- 10 - рекреация
- 11 - лаборатории



Лист 1.12

Научно-производственное здание "Арена 2036"



Вид производства: компоненты автомобильных электросистем
 Схема компоновки производства: групповая / стендовая / гибкая
 Архитектор / арх. бюро: G. Henn Architekten
 Дата постройки: 2016 г.
 Страна, город: Германия, Штутгарт
 S_{общая}: 9 890 м кв.

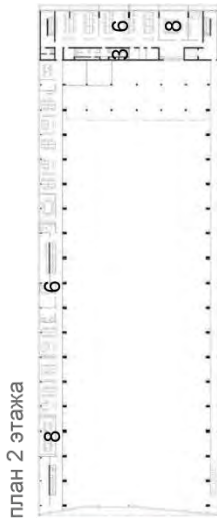
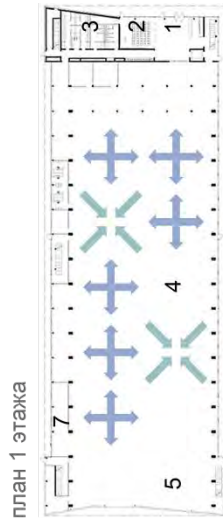
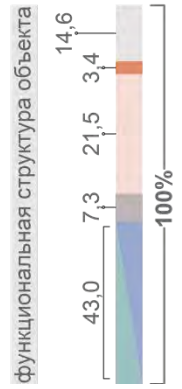


схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - входное лобби
- 2 - конференц-зал
- 3 - санитарно-бытовые помещения
- 4 - зона разработок и производства
- 5 - склад
- 6 - административно-офисные помещения
- 7 - подсобные помещения
- 8 - переговорная



"Инновационная фабрика Виттенштайн"



Вид производства: мехатронные компоненты и системы
 Схема компоновки производства: гибкая
 Архитектор / арх. бюро: G. Henn Architekten
 Дата постройки: 2014 г.
 Страна, город: Германия, Хартхаузен
 S_{общая}: 7 900 м кв.

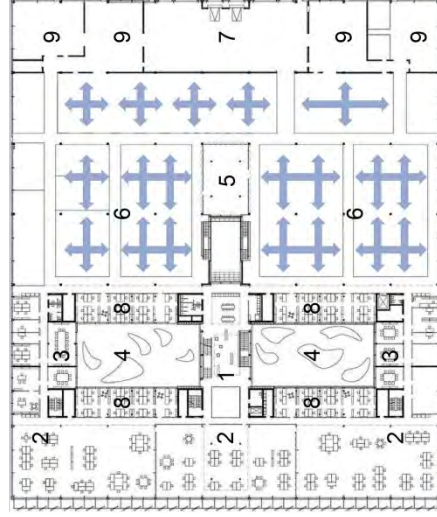
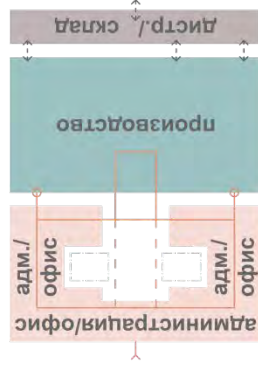
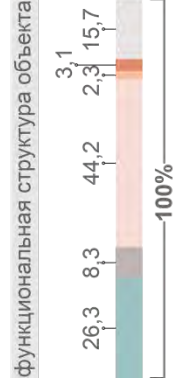


схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - рекреация
- 2 - офис открытого типа
- 3 - переговорные
- 4 - внутренние дворы
- 5 - комната контроля производства
- 6 - разработка и производство
- 7 - склад и дистрибуция
- 8 - офис закрытого типа
- 9 - подсобно-технические зоны



Лист 1.13

"Умная фабрика Трамф"

Вид производства: гидравлические системы и компоненты
 Схема компоновки производства: групповая / стендовая
 Архитектор / арх. бюро: Barkow Leibinger
 Дата постройки: 2017 г.
 Страна, город: США, Чикаго
 S_{общая}: 5 300 м кв.

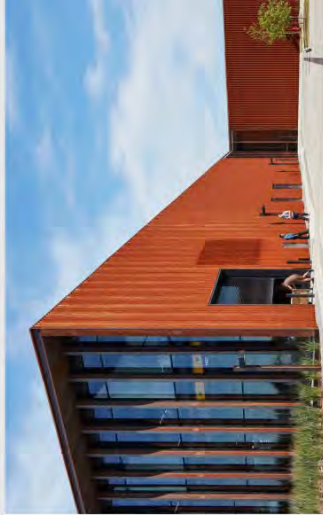
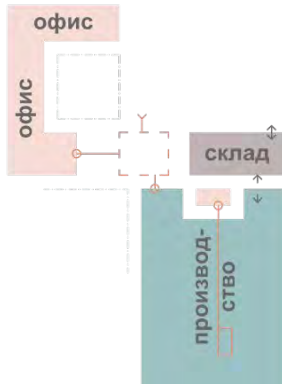


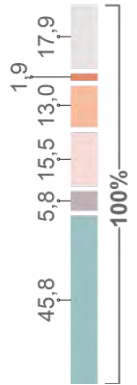
схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - входное лобби
- 2 - машинный зал
- 3 - офис
- 4 - складское помещение
- 5 - кафетерий
- 6 - конференц-зал
- 7 - внутренний двор / рекреация
- 8 - санитарно-бытовые помещения
- 9 - подсобно-технические комнаты

функциональная структура объекта



Штаб-квартира "ГИРА"

Вид производства: интеллектуальные электронные системы
 Схема компоновки производства: линейная / гибкая
 Архитектор / арх. бюро: Sauebruchhutton architects
 Дата постройки: 2016 г.
 Страна, город: Германия, Радеформвальд
 S_{общая}: 30 640 м кв.



план офисного этажа



план производственного этажа

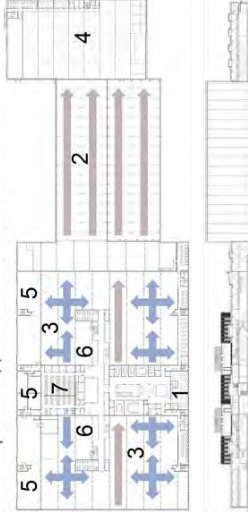
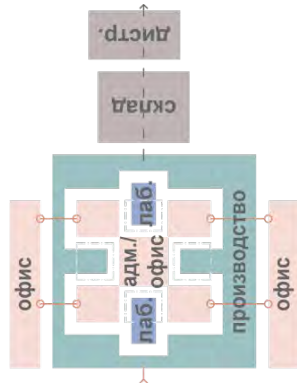


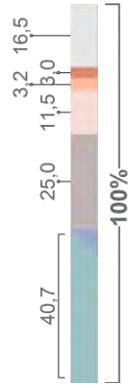
схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - офисное пространство
- 2 - склад
- 3 - производство
- 4 - дистрибуция
- 5 - подсобные помещения
- 6 - зона исследований и разработки
- 7 - санитарно-бытовые помещения
- 8 - внутренний двор

функциональная структура объекта



Лист 1.14

"Офисно-производственное здание "Азмулс"



Вид производства: компликативная электроника
 Схема компоновки производства: гибкая
 Архитектор / арх. бюро: Design Unit Architects
 Дата постройки: 2020 г.
 Страна, город: Малайзия, Бату Маунг
 S_{общая}: 9 400 м кв.

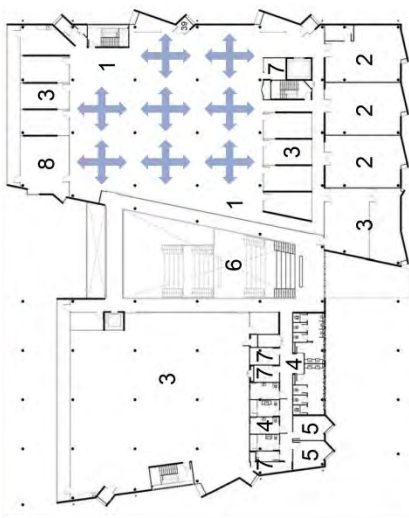
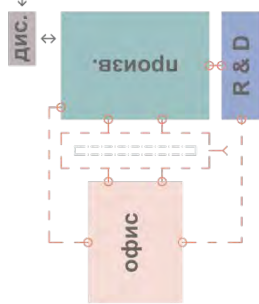
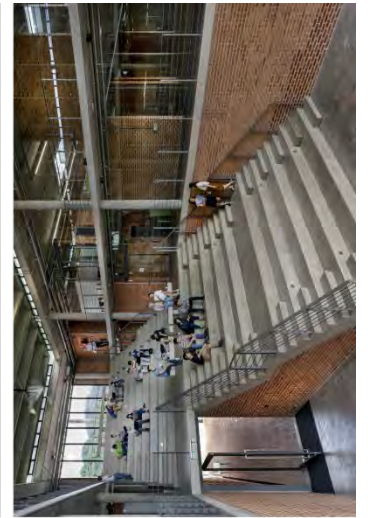
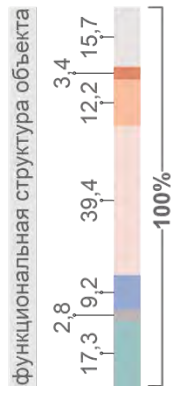


схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - производственное пространство
- 2 - лаборатория
- 3 - офисные помещения
- 4 - санитарно-бытовые помещения
- 5 - комнаты отдыха
- 6 - циркуляционное пространство
- 7 - инженерно-технические комнаты
- 8 - управление



"Умная фабрика Фьючер Стич"



Вид производства: текстильные изделия
 Схема компоновки производства: линейная
 Архитектор / арх. бюро: AZL Architects
 Дата постройки: 2018 г.
 Страна, город: Китай, Хайнин
 S_{общая}: 26 800 м кв.

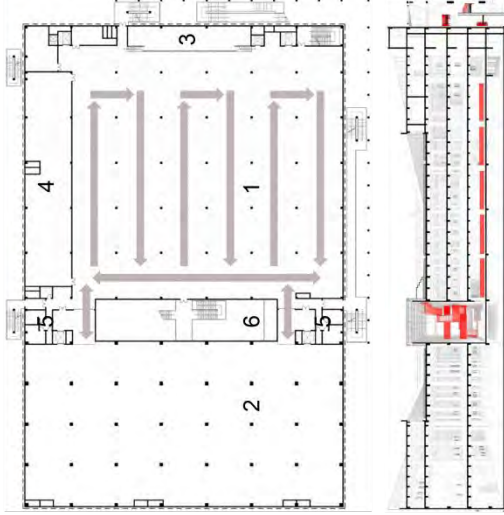
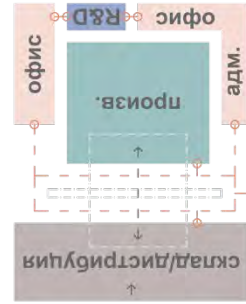
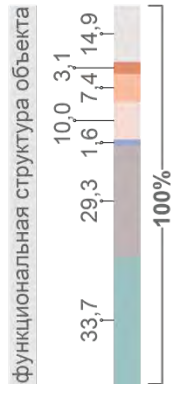


схема взаимного расположения функциональных зон



экспликация:

- 1 - производственный цех
- 2 - склад / дистрибуция
- 3 - офис
- 4 - инженерно-техническое помещение
- 5 - санитарные и рекреационные помещения
- 6 - циркуляционное пространство



Лист 2.1. Размещение и особенности современной планировочной организации генеральных планов ИФ в условиях урбанизированной среды

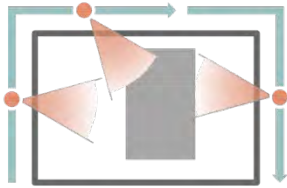



Лист 2.2. Особенности современной планировочной организации территорий ИФ

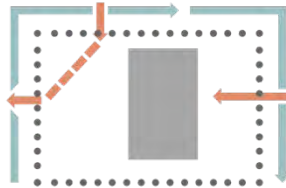

1. "открытость" и "проницаемость" территории

↓

визуальная физическая

завод "ДМГ Мори-Секи"

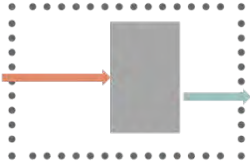




здание ООО "Хюттингер Электроник"

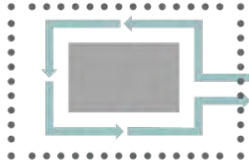

2. упрощение схемы движения транспорта и уменьшение протяженности транспортных путей

↓

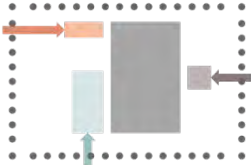

организация нескольких въездов на территорию периметральный объезд основных объектов разделение транспортных потоков различного назначения упрощение формы, блокировка зданий

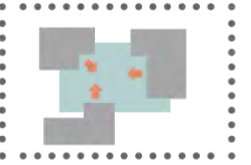

фабрика "Сирона"

завод "Хёрманн Модин"

предприятие "Нео Солар Пауэр"





"Инновационная фабрика Виттенштайн"


3. высокий уровень гуманизации территории

↓


благоустройство и озеленение внутренние двory, площадки для отдыха места для занятия спортом для передвижения мало-мобильных групп населения




здание "Таксхорн"



штаб-квартира "Джурр Системс"




штаб-квартира "Пивексин Технолджи"




комплекс штаб-квартиры "БОБСТ"

4. резервация участка для последующего расширения объектов

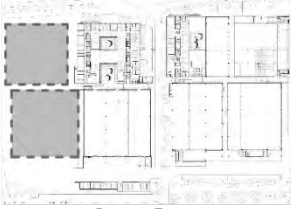
↓




фабрика "ХАВЗ"



здание фирмы "Филипп Хафнер"



центр разработок в Дитцингене




"Инновационная фабрика Эскулап"

■ - резервные территории


5. многоуровневая планировка территории

↓


устройство открытых или полукрытых паркингов под зданием внесение элементов благоустройства территории в структуру объекта перемещение во внутренний объем промпредприятий функций, характерных для их территорий



научно-производственный центр "БМГ МИС"

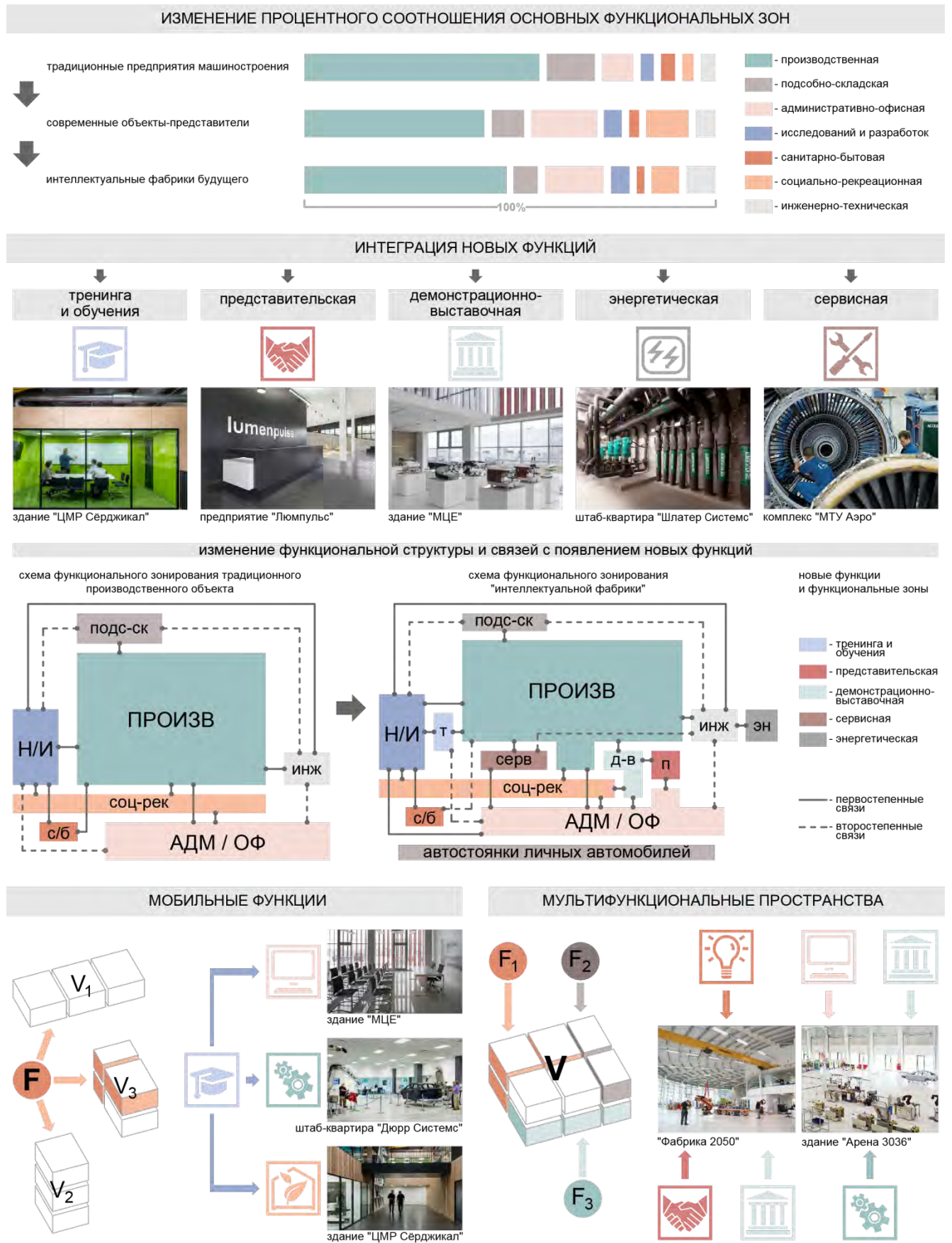


"Фабрика на Земле"

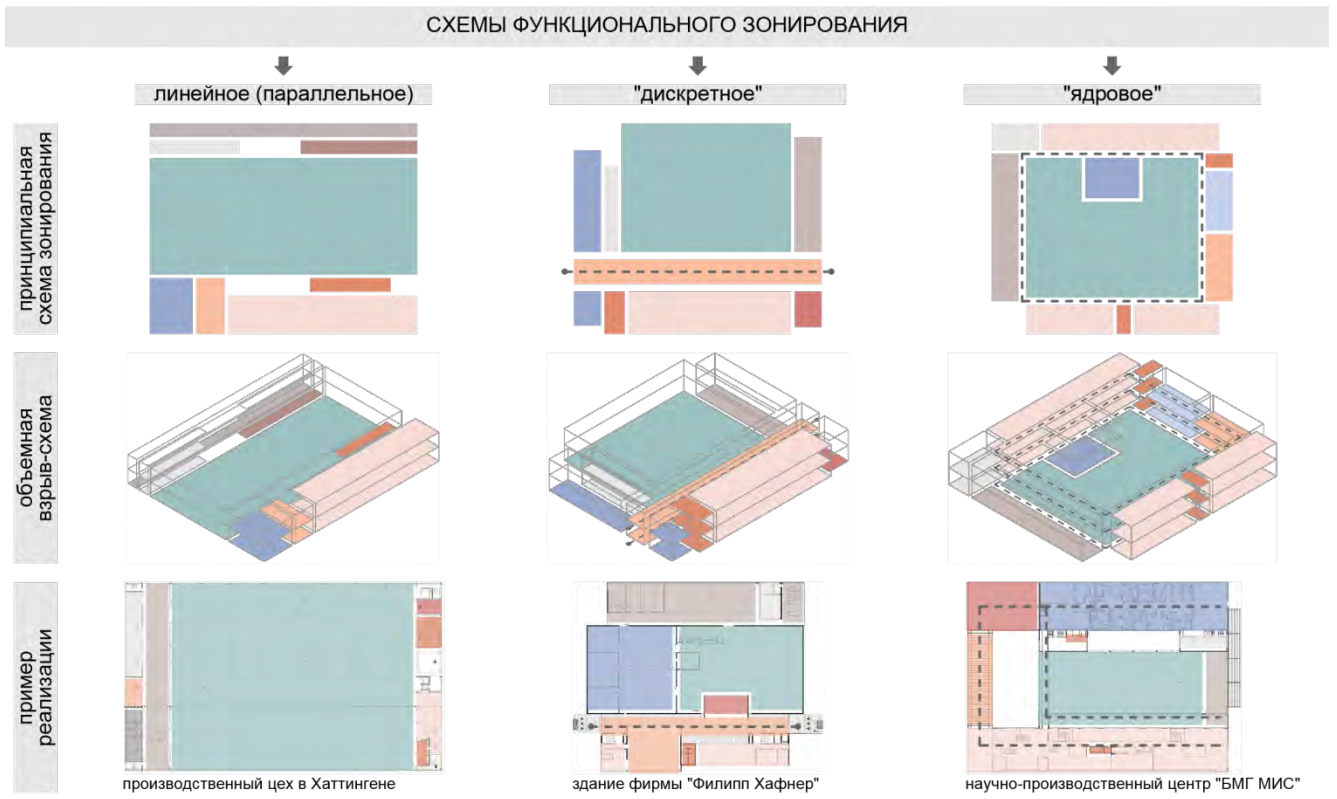


штаб-квартира "Техноальпин"

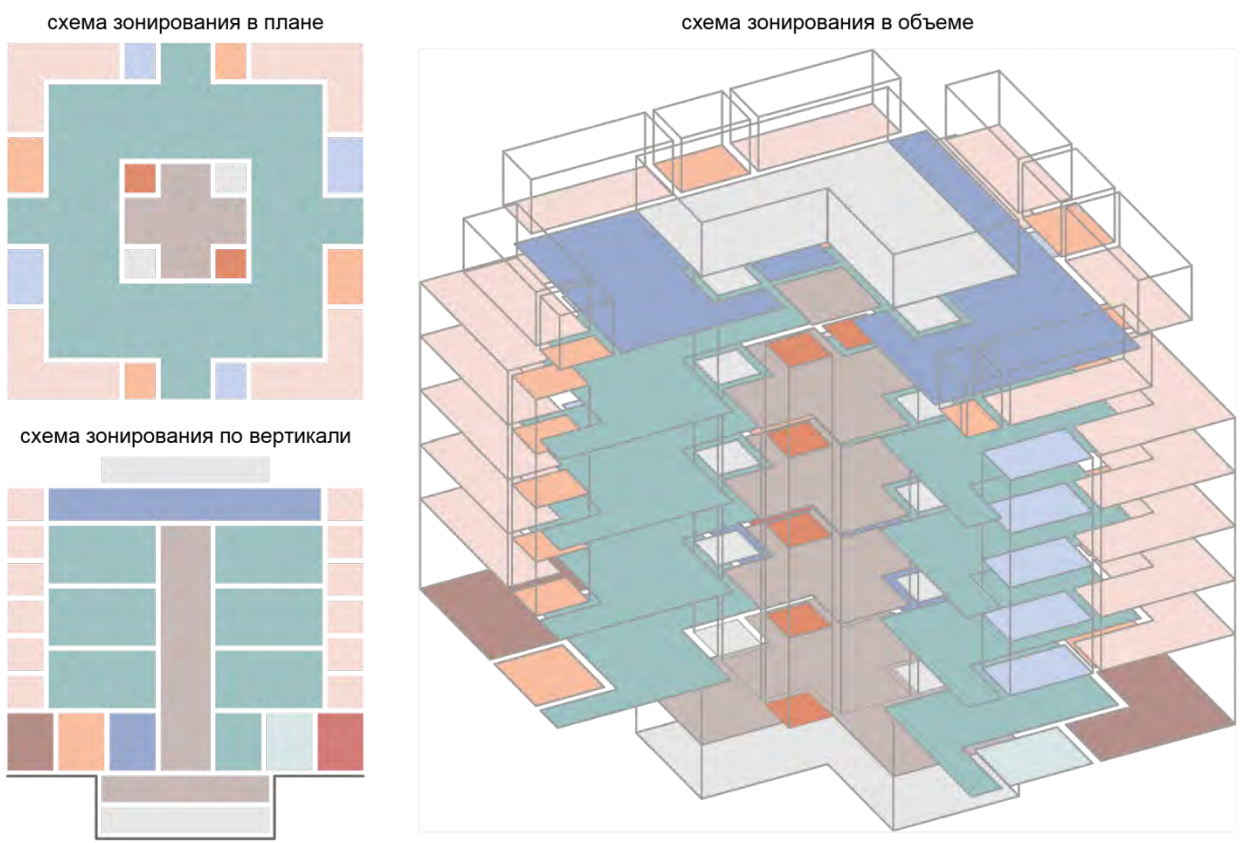
Лист 2.3. Влияние Четвертой промышленной революции на функциональное зонирование и объемно-планировочные решения



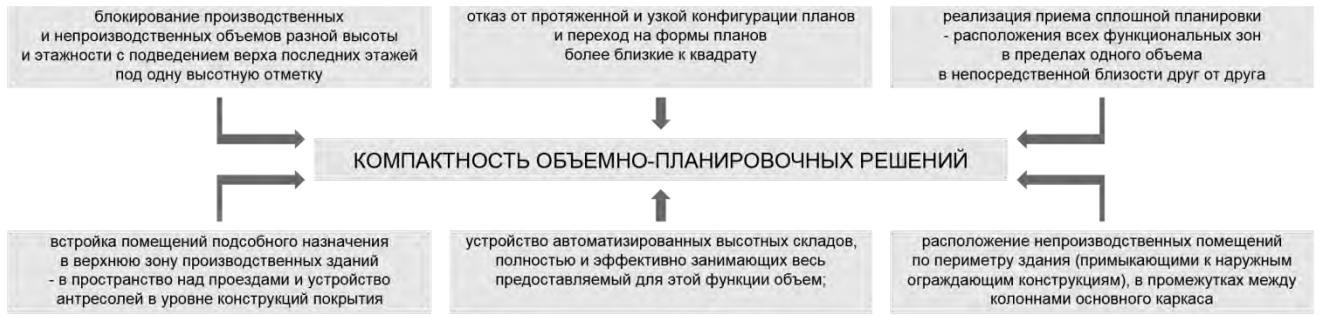
Лист 2.4. Влияние Четвертой промышленной революции на функциональное зонирование и объемно-планировочные решения



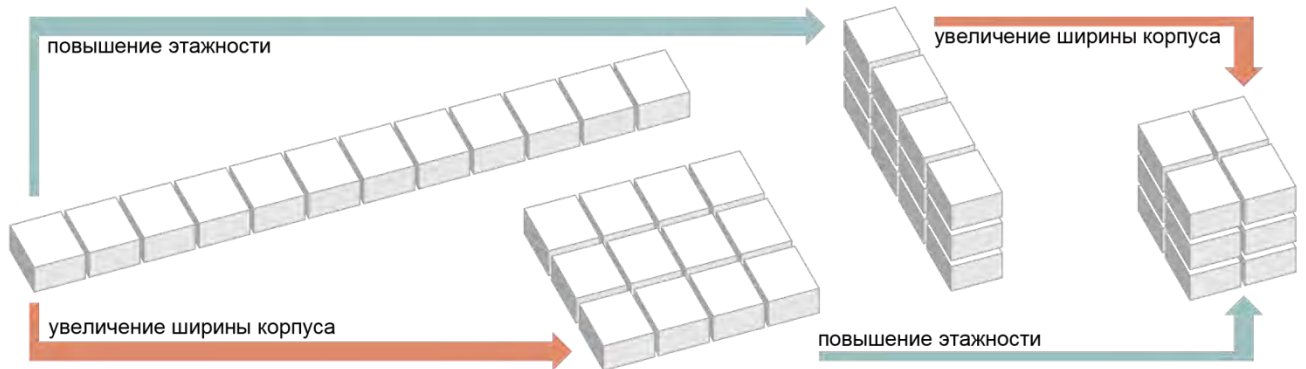
↓
наиболее целесообразная схема - "ядровое" функциональное зонирование



Лист 2.5. Влияние Четвертой промышленной революции на функциональное зонирование и объемно-планировочные решения

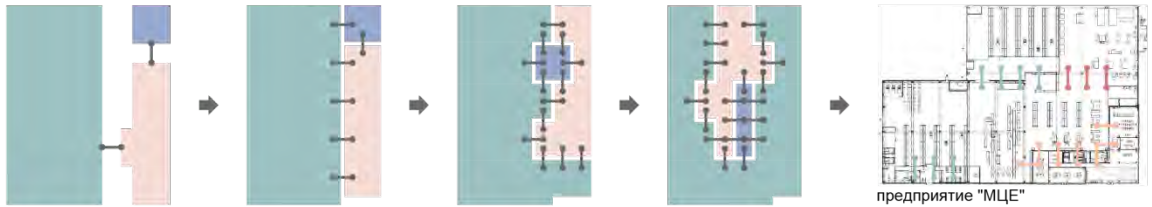


увеличение компактности с изменением основных габаритов объекта

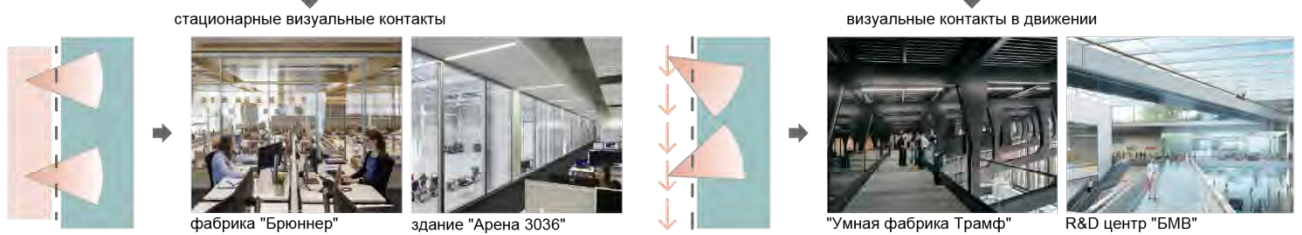


"ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ"

1. территориальное сближение основных функциональных зон



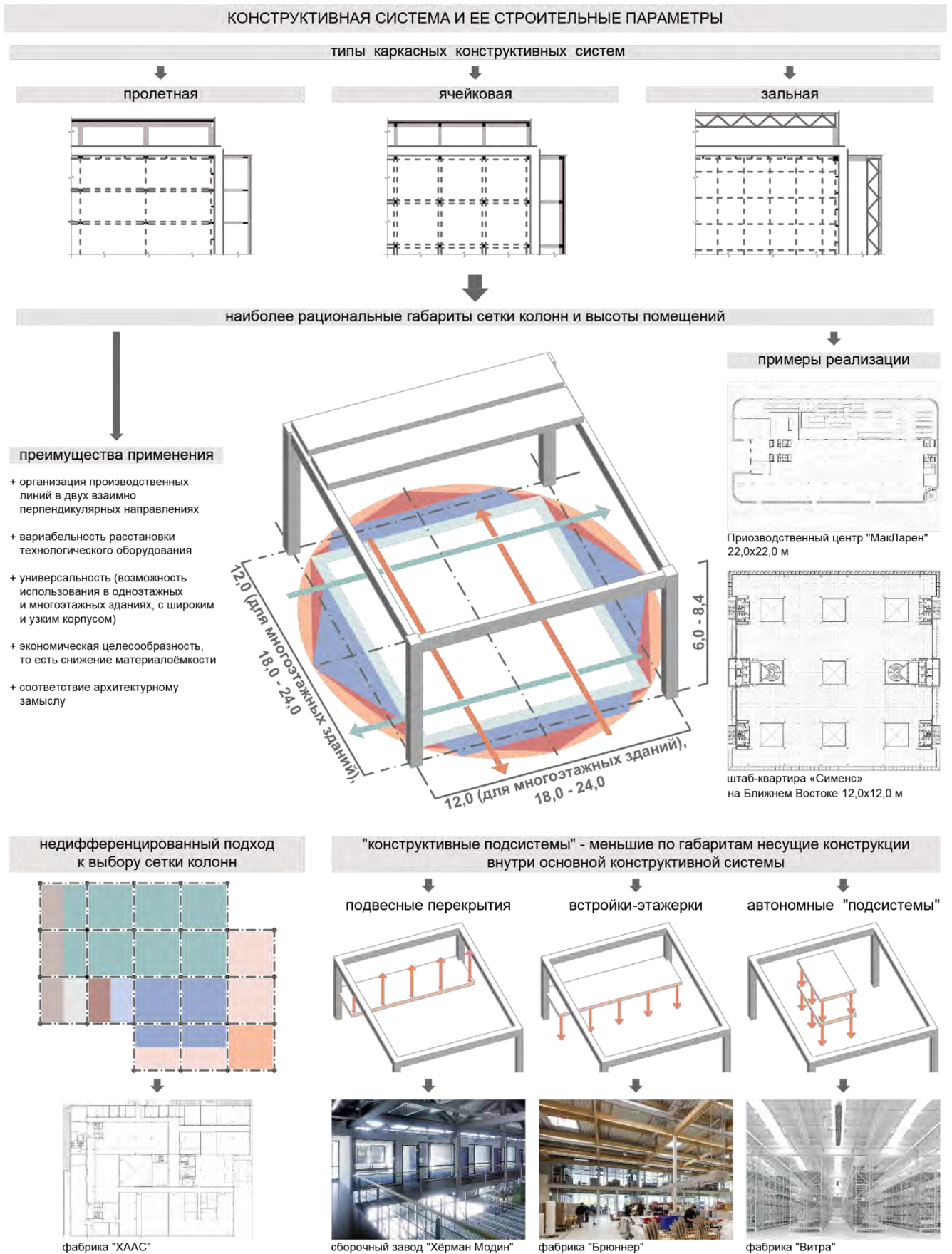
2. варианты создания визуальных контактов



3. формирование "центров притяжения"



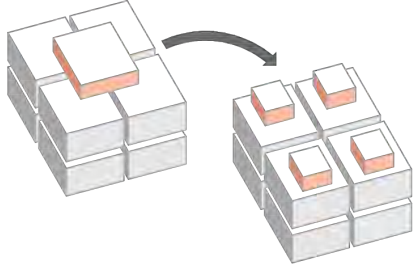
Лист 2.6. Взаимосвязь архитектурно-композиционной организации предприятия с его конструктивными и инженерными решениями



Лист 2.7.

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРАССИРОВКИ СЕТЕЙ

децентрализованное размещение инженерного оборудования

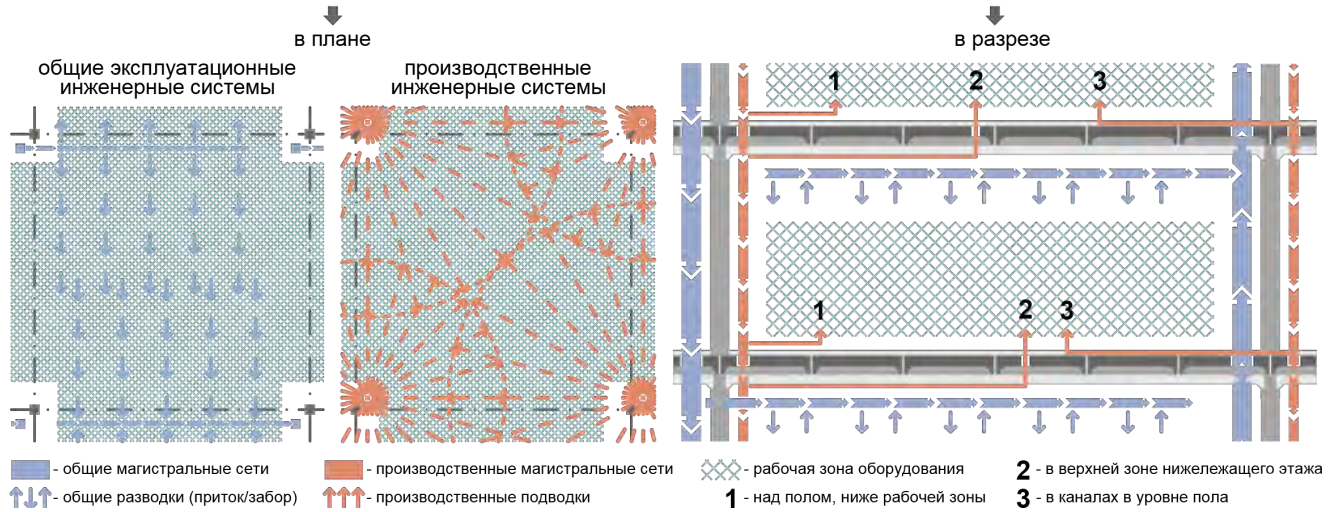


- + выделение автономных зон
- + локальное внесение изменений, ремонта и техобслуживания
- + сокращение протяженности инженерных коммуникаций
- + упрощение расширения распределительной сети
- + возможность переподключения к смежной локальной сети

размещение инженерного оборудования

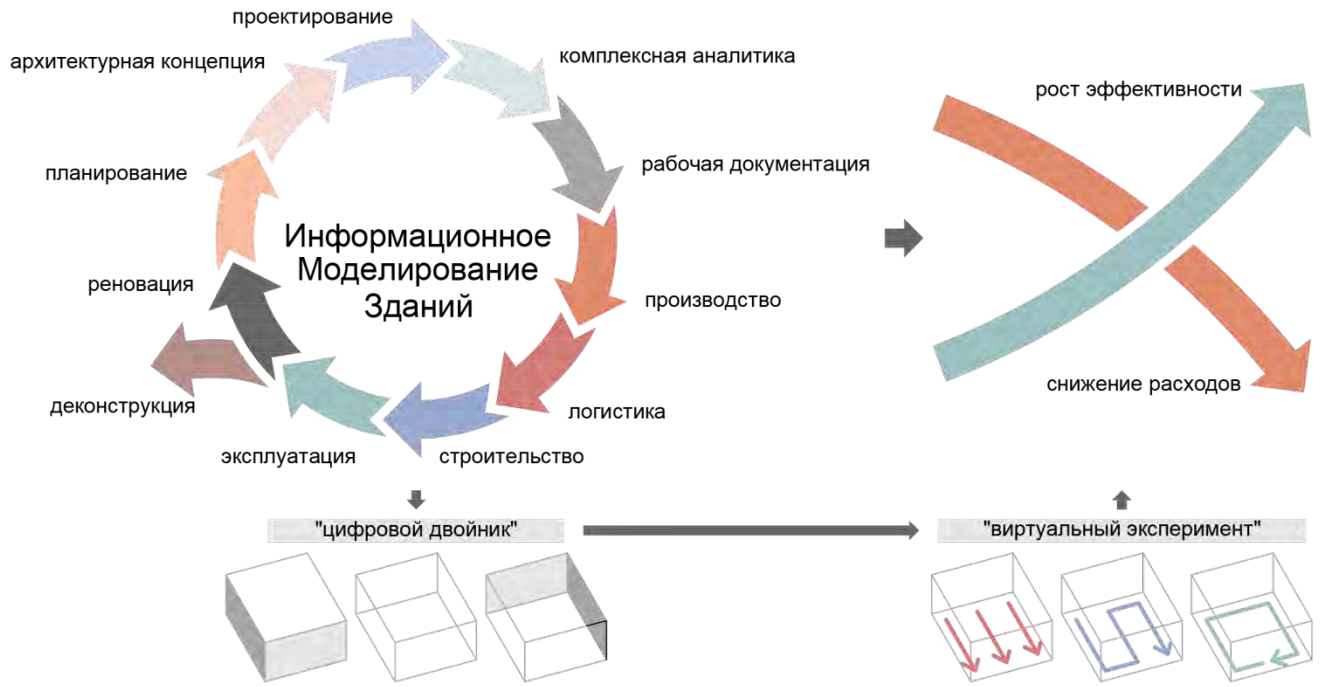


рациональная трассировка инженерных сетей

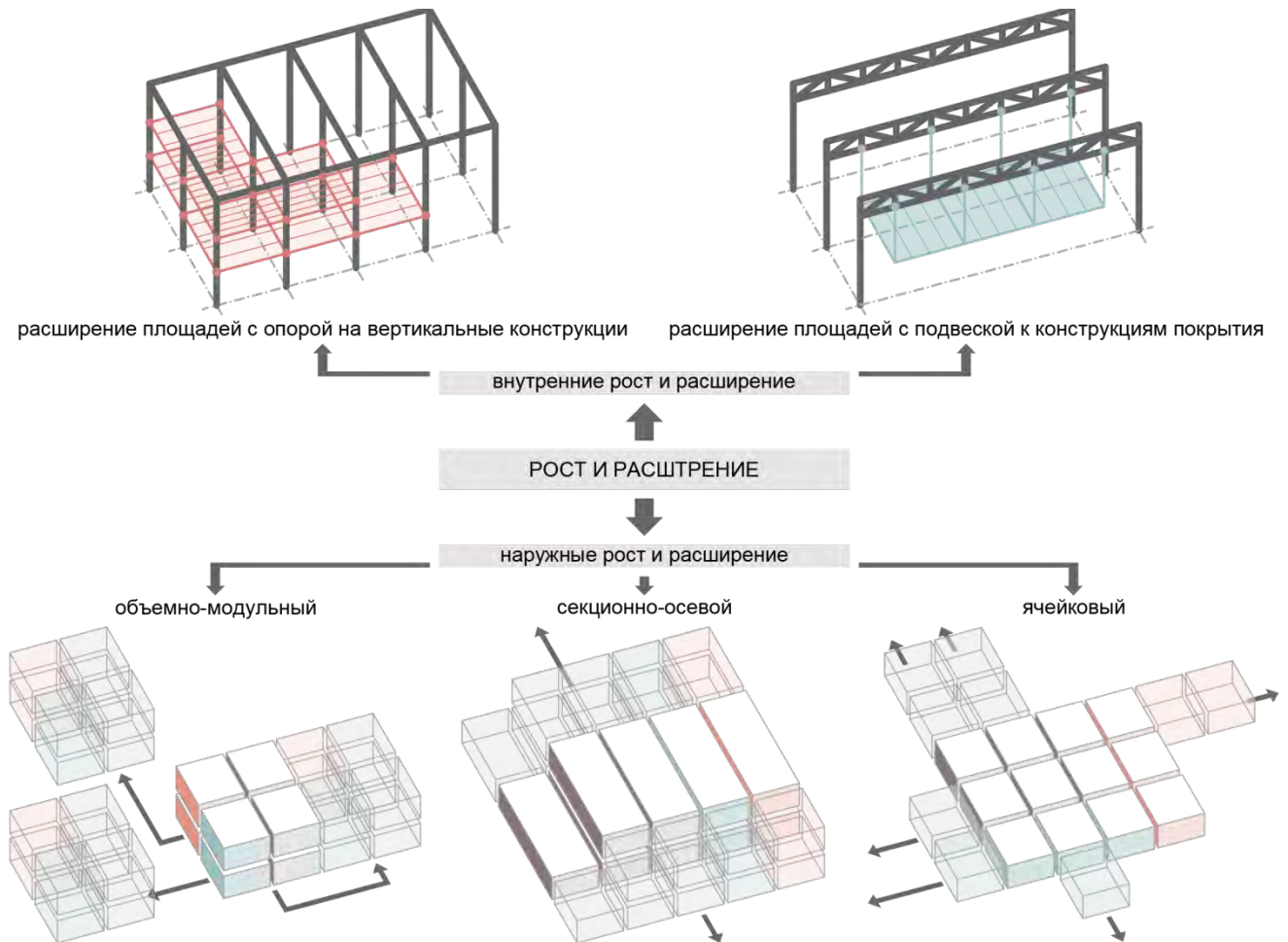


Лист 2.8.

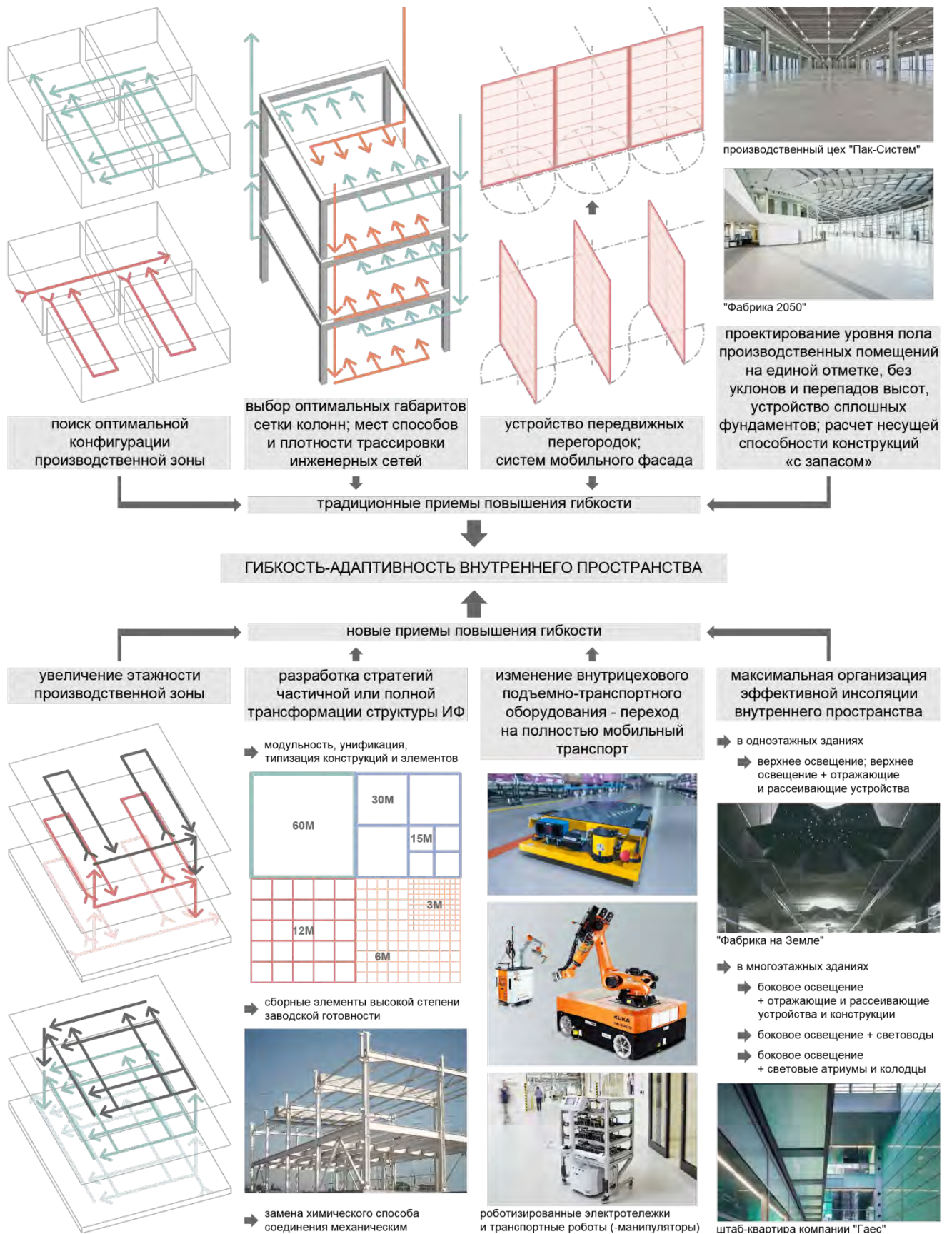
Использование цифровых технологий при проектировании ИФ



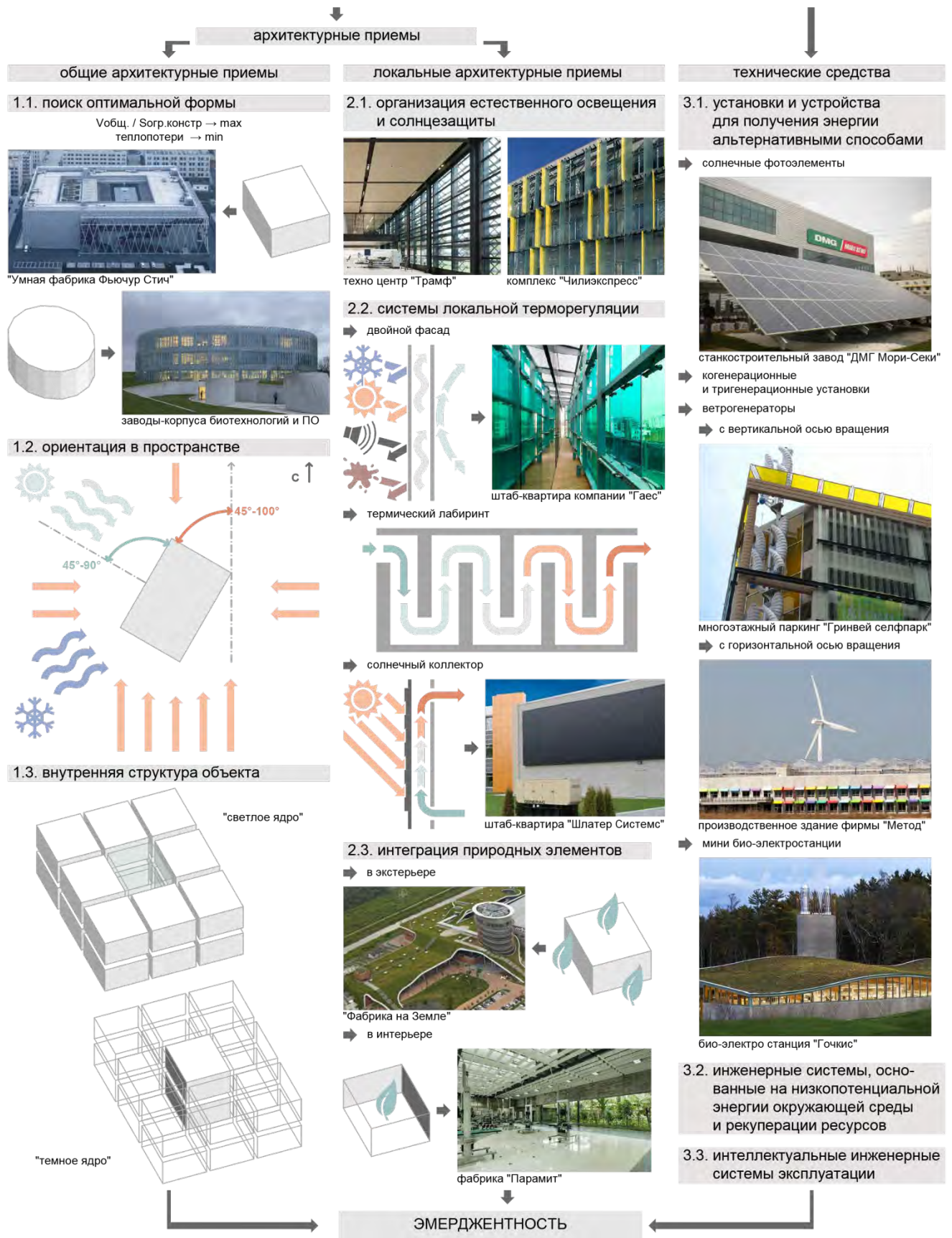
Способы роста и расширения предприятий



Лист 2.9. Приемы увеличения гибкости и адаптивности внутреннего пространства производственных объектов



Лист 2.10. Методы повышения энергоэффективности, экологической безопасности и ресурсосбережения промышленных зданий



Лист 2.11. Пути гуманизации и демократизации производственной среды новейших предприятий



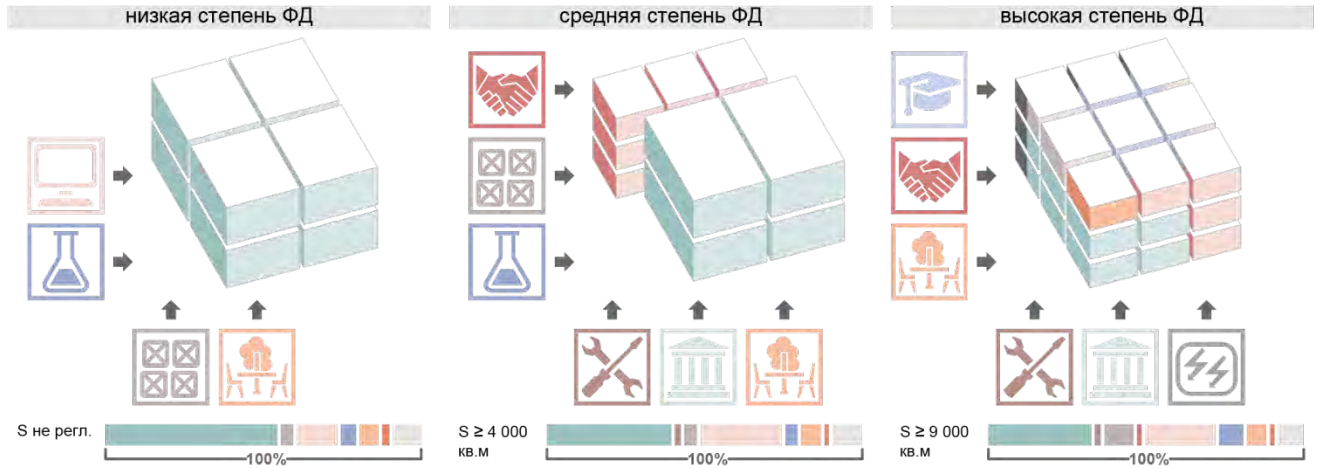
Лист 2.12. Обеспечение качества и эстетической привлекательности промышленных объектов



Лист 3.1

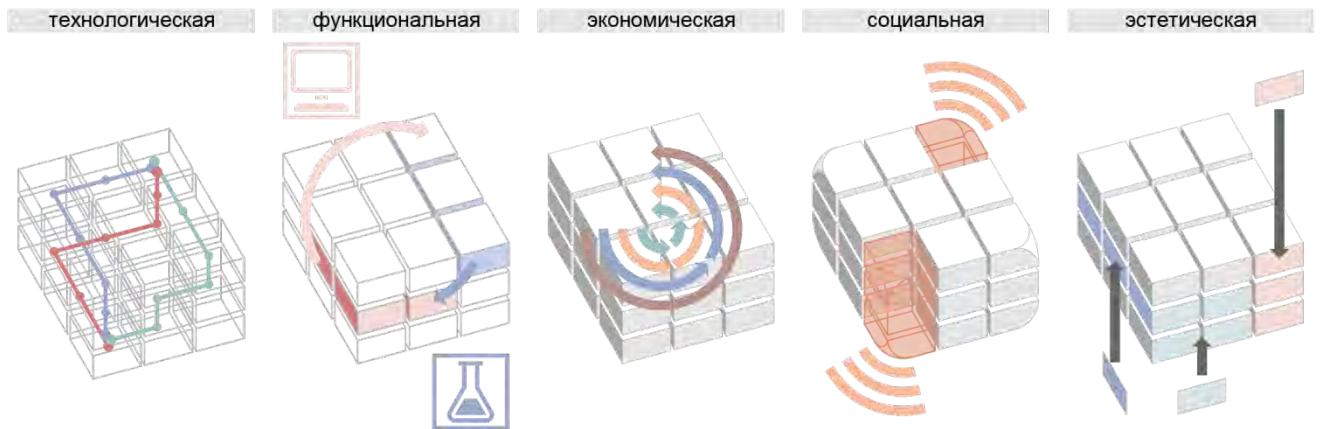
Принцип функциональной диверсификации

расширение номенклатуры видов деятельности, включенных в архитектурный объект, привнесение новых функций, не свойственных традиционным промышленным зданиям, с целью повышения эффективности и рентабельности

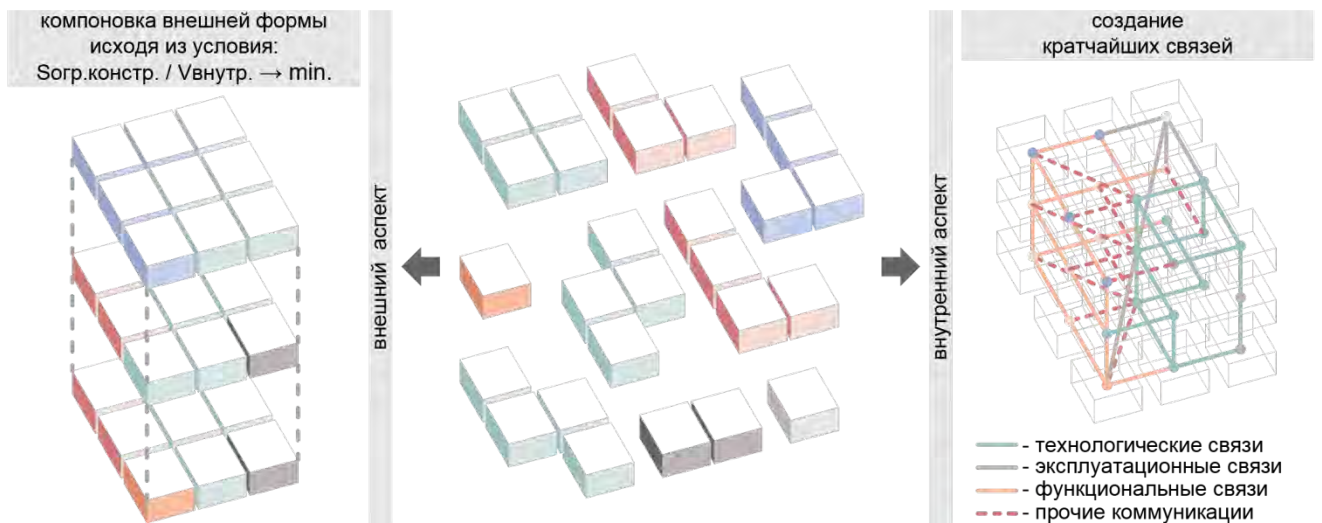


Принцип многофакторной гибкости-адаптивности

многофакторная гибкость и адаптивность - это готовность к будущим изменениям производства и к трансформации других важных факторов и составляющих архитектуры ИФ; она имеет более широкие границы (пространственные и временные), а также выходит за пределы конкретных функциональных зон и строительных объемов, стадий и сроков эксплуатации.

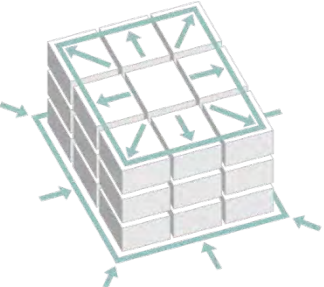
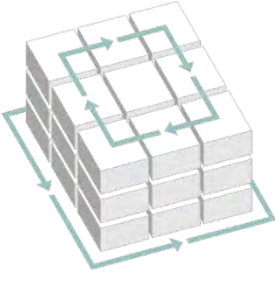




Принцип необходимой и достаточной компактности



Лист 3.2

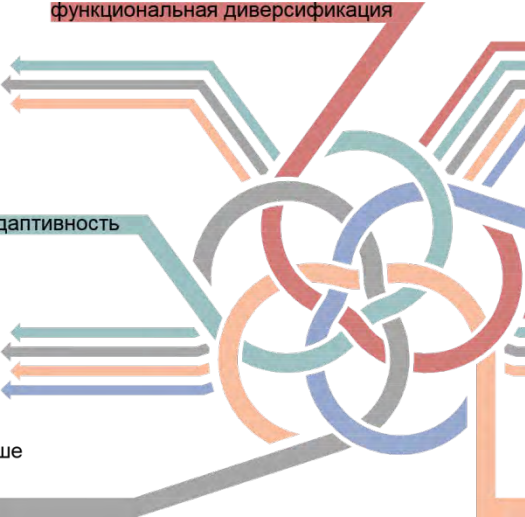
Принцип экологической ответственности





<p>превентивная составляющая</p> 	<p>компенсационная составляющая</p> 	<p>стимулирующая составляющая</p> 
 <p>фабрика "Фабра"</p>	 <p>комплекс переработки Вальес-Оксиденталь</p>	 <p>фабрика "Канес Фудс"</p>

Принцип социальной экстраверсии

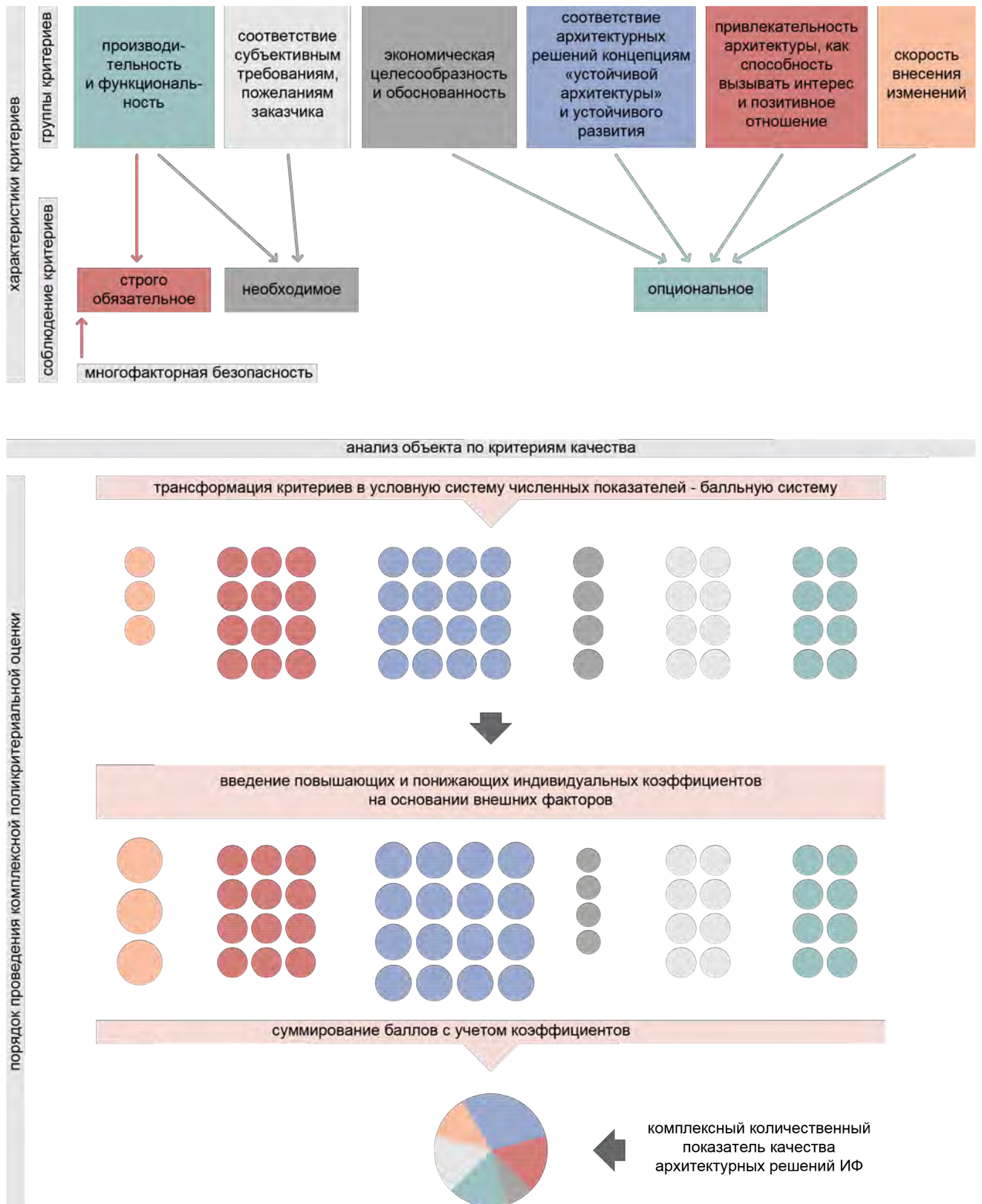
<p>внешняя социальная экстраверсия</p> <p>"осведомленность" + демократизация среды + гуманизация архитектуры ИФ + повышение эстетической выразительности</p>	<p>внутренняя социальная экстраверсия</p>	
	<p>примеры реализации</p>  <p>производственно-офисное здание "МЦЕ"</p>  <p>завод «Хевел солар»</p>  <p>"Центр новейшего производства"</p>  <p>"Хюттингер Электроник"</p>	

Принцип неотъемлемой комплексности

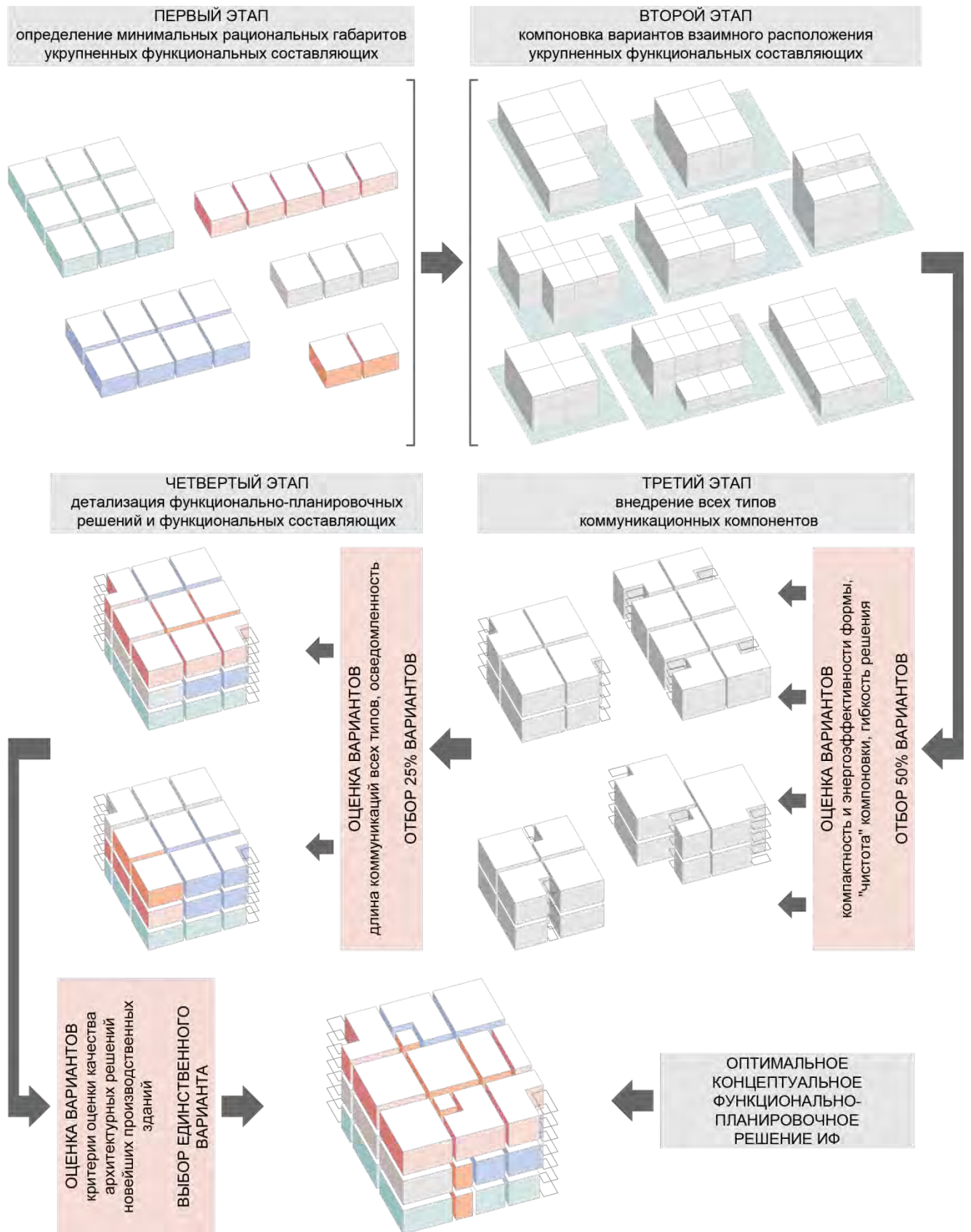


 <p>фабрика "Сирона"</p>	<p>функциональная диверсификация</p>	 <p>фабрика "Виттенштайн"</p>
<p>многофакторная гибкость и адаптивность</p>		<p>экологическая ответственность</p>
 <p>производственный цех в Гроуше</p>		 <p>здание фирмы "Филипп-Хафнер"</p>
<p>оптимальная компактность</p>		<p>социальная дружелюбность</p>

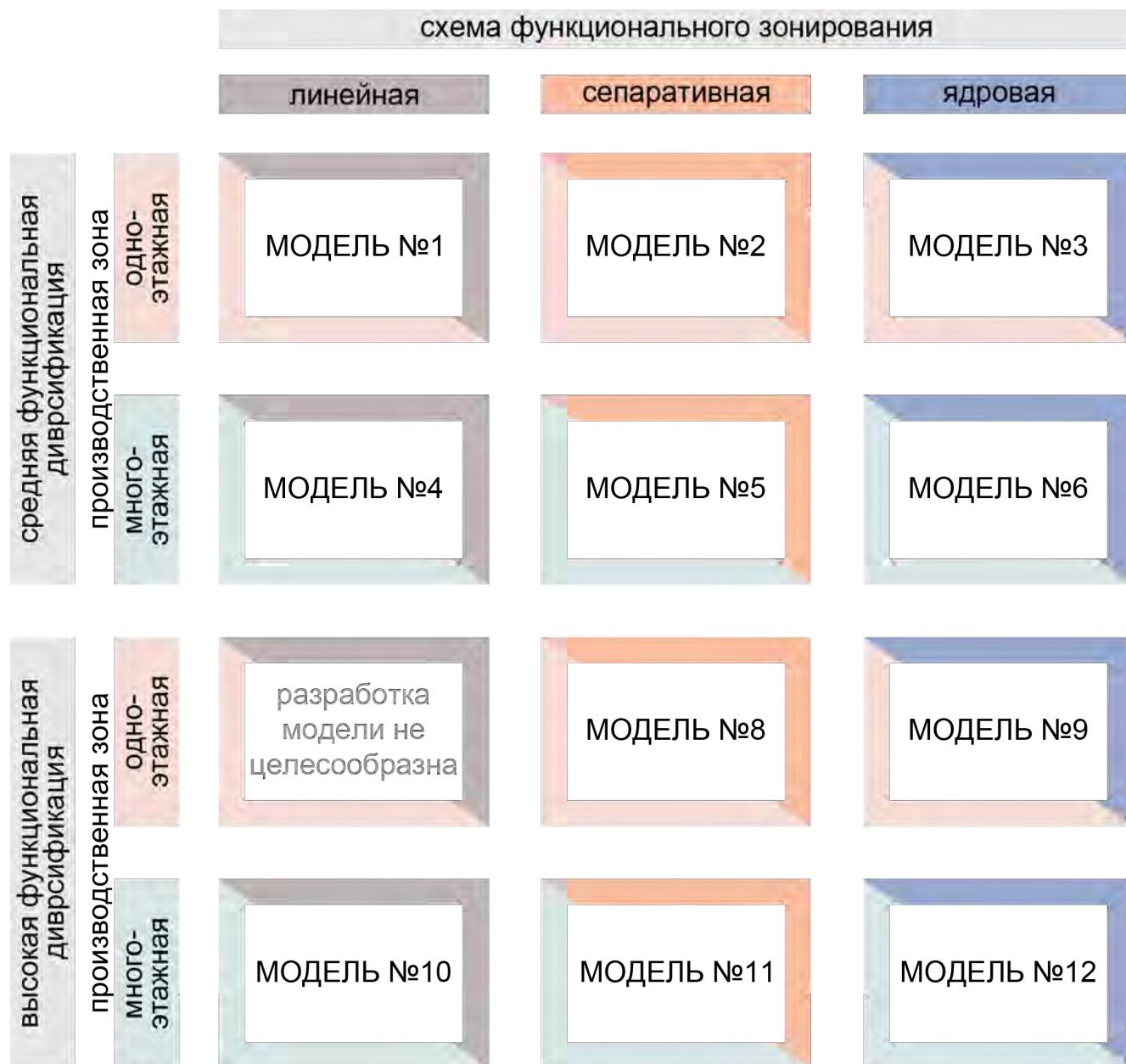
Лист 3.3. Система критериев оценки качества архитектурных решений новейших производственных зданий










Лист 3.4. Методика поэтапного переменного поиска оптимального концептуального функционально-планировочного решения



Лист 3.5. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ



основные функциональные зоны разрабатываемых моделей

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|---------------------------|
|  | - производственная |  | - санитарно-бытовая |
|  | - подсобно-складская |  | - социально-рекреационная |
|  | - административно-офисная |  | - инженерно-техническая |
|  | - исследований и разработок | | |

Лист 3.6. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ

схема плана 1 этажа

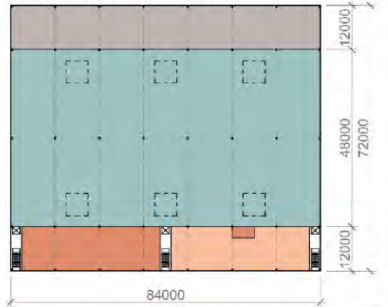
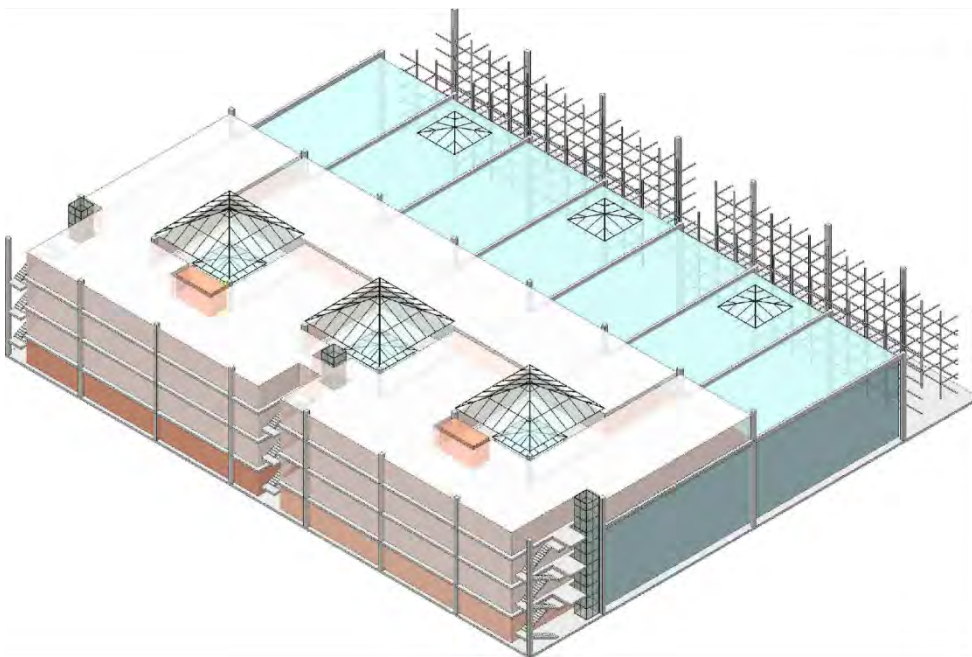
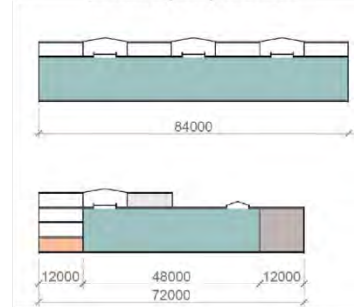


схема плана верхнего этажа

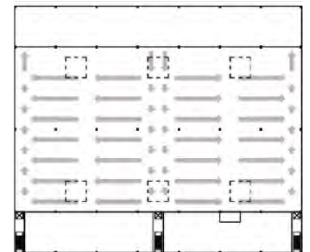


схема разрезов

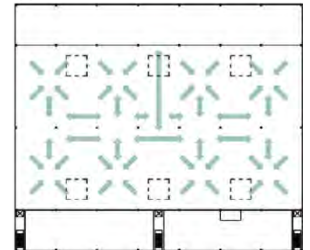


компоновка основных схем производства

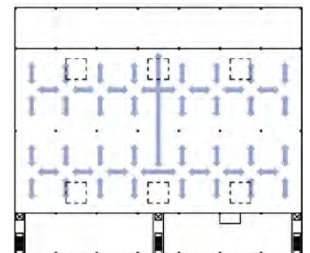
линейное "петлевое"



групповое / стеновое



гибкое



основные строительные параметры:

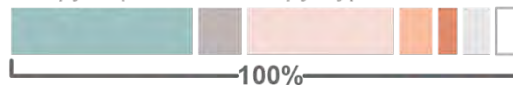
длина - 84 м;
ширина - 72 м;
высота - 12-16 м;

общая площадь - 11,1 тыс. кв. м;
строительный объем - 84,7 тыс. куб. м;
коэффициент компактности - 7,87.

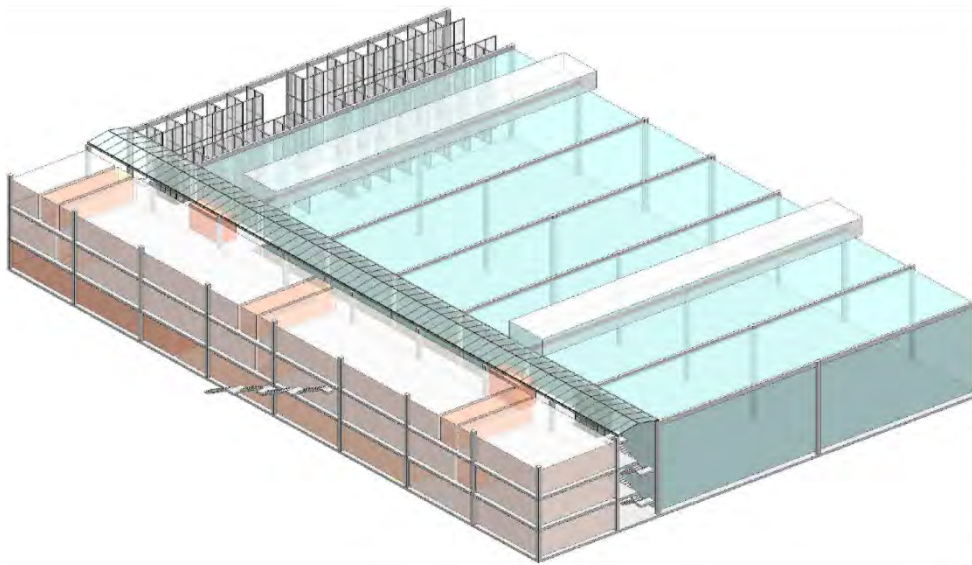
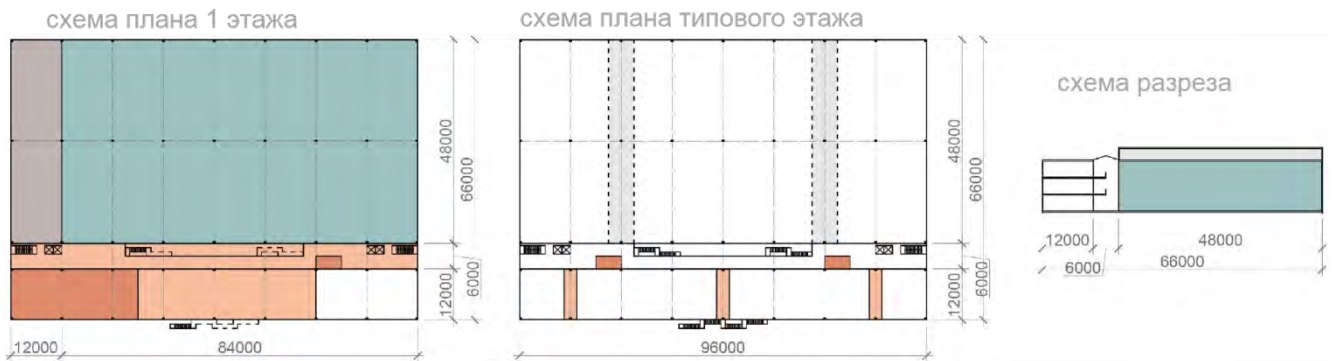


МОДЕЛЬ №1

функциональная структура объекта

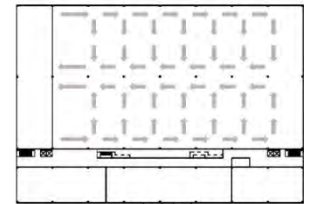


Лист 3.7. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ

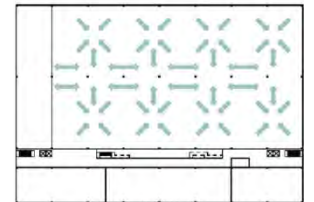


КОМПОНОВКА ОСНОВНЫХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА

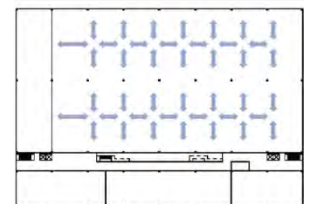
линейное "петлевое"



групповое / стендовое



гибкое



основные строительные параметры:

длина - 96 м;
 ширина - 66 м;
 высота - 12-15 м;

общая площадь - 10,08 тыс. кв. м;
 строительный объем - 77,7 тыс. куб. м;
 коэффициент компактности - 7,0.

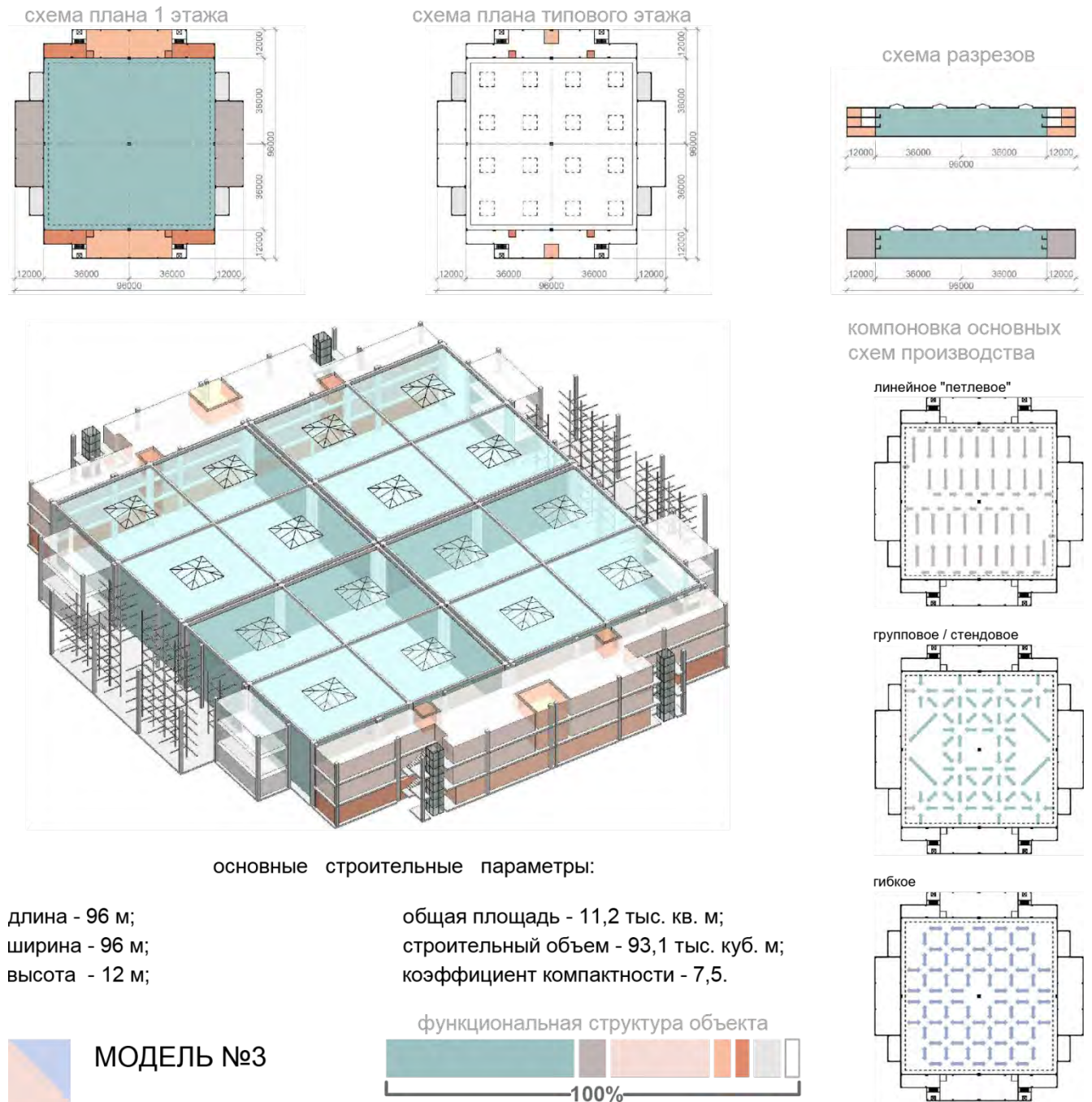


МОДЕЛЬ №2

функциональная структура объекта

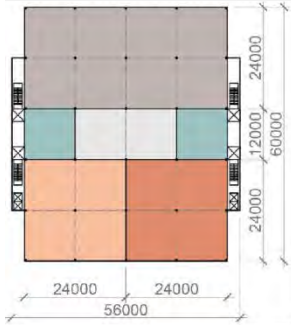


Лист 3.8. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ



Лист 3.9. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ

схема плана 1 этажа



схемы планов типовых этажей

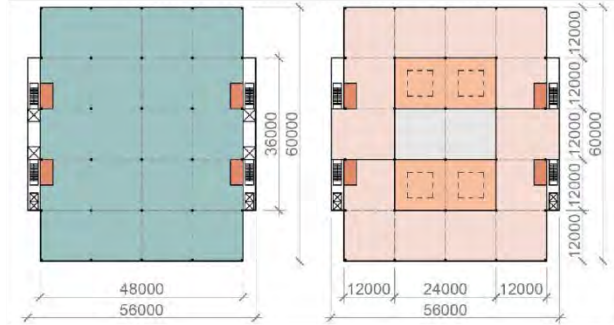
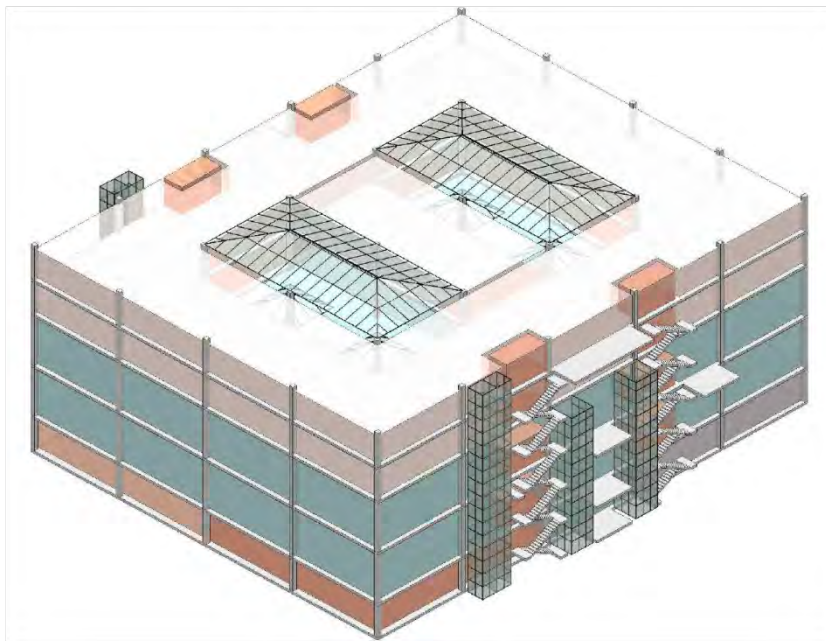
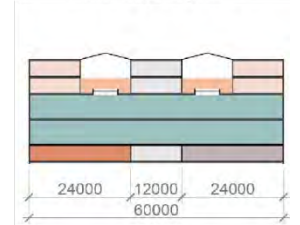
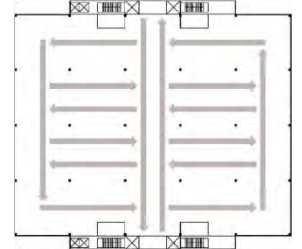


схема разреза

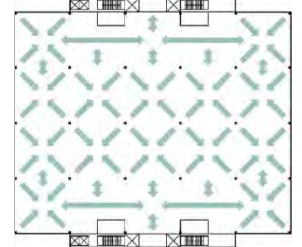


компоновка основных схем производства

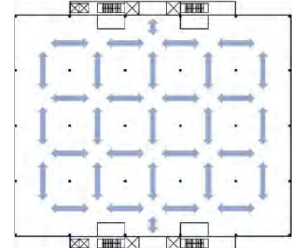
линейное "петлевое"



групповое / стендовое



гибкое



основные строительные параметры:

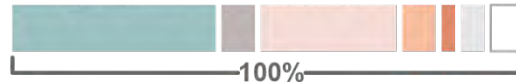
длина - 60 м;
ширина - 54 м;
высота - 24 м;

общая площадь - 14,9 тыс. кв. м;
строительный объем - 74,3 тыс. куб. м;
коэффициент компактности - 8,67.

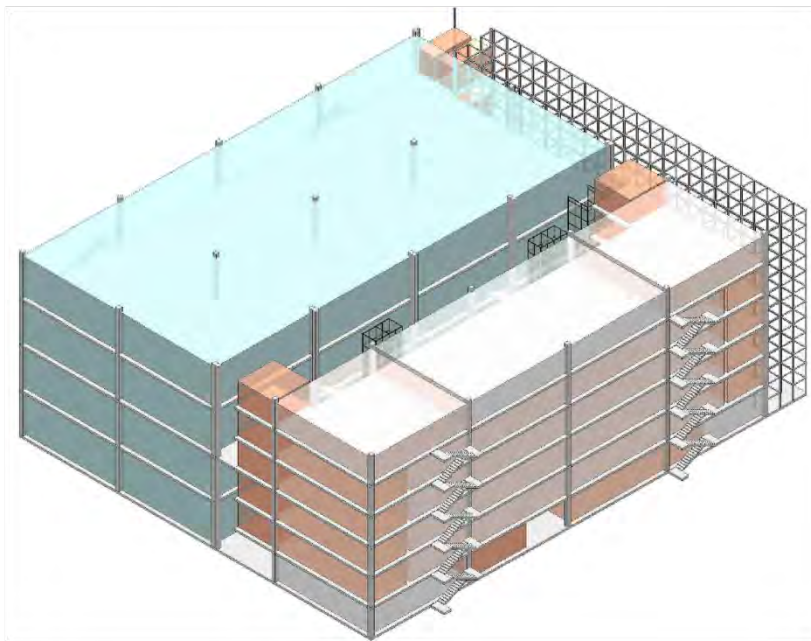
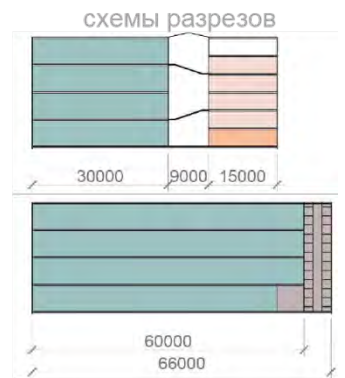
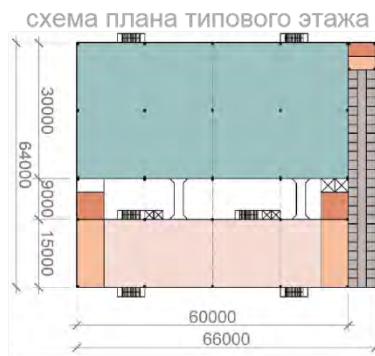
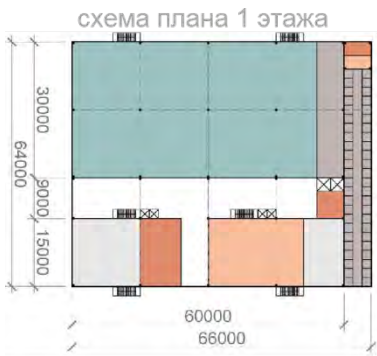


МОДЕЛЬ №4

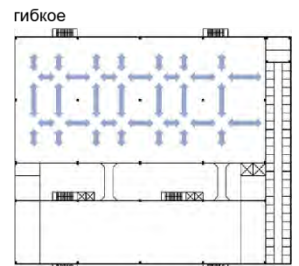
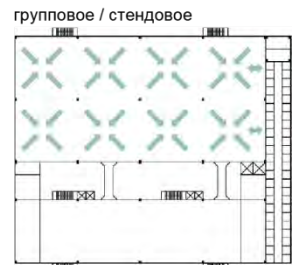
функциональная структура объекта



Лист 3.10. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ



КОМПОНОВКА ОСНОВНЫХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА



основные строительные параметры:

длина - 66 м;
ширина - 54 м;
высота - 24 м;

общая площадь - 15,06 тыс. кв. м;
строительный объем - 85,54 тыс. куб. м;
коэффициент компактности - 9,17.

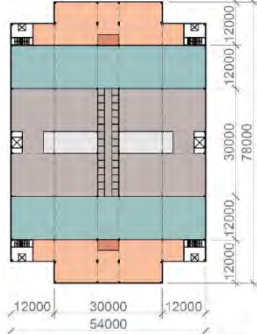


МОДЕЛЬ №5

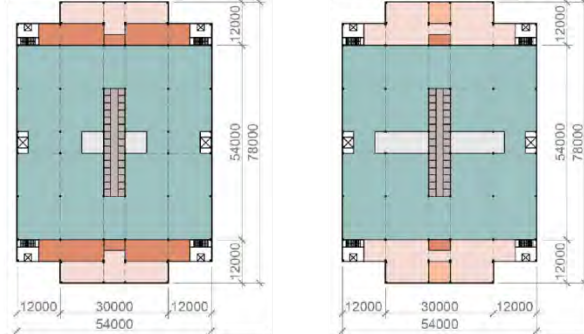


Лист 3.11. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ

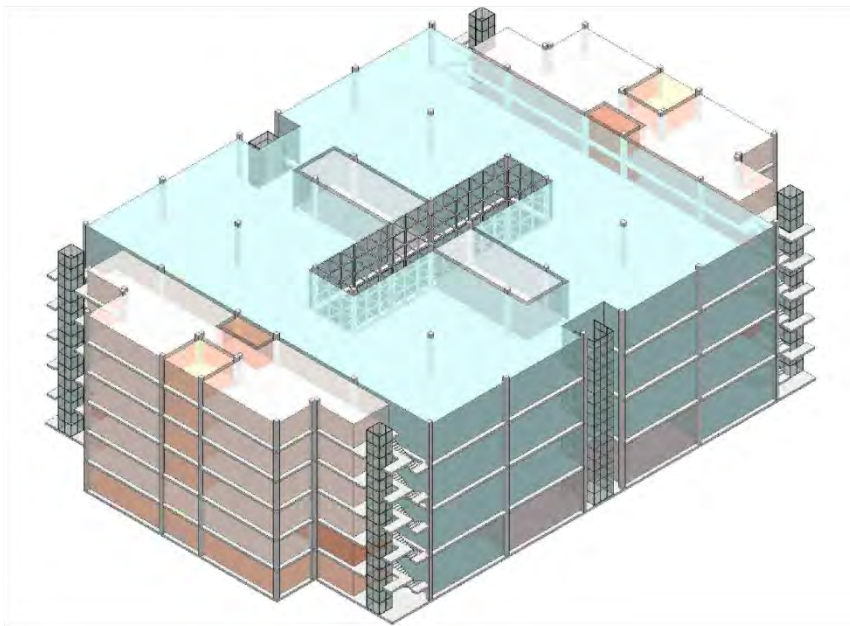
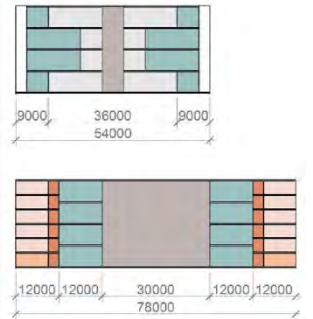
схема плана 1 этажа



схемы планов типового и верхнего этажей



схемы разрезов



основные строительные параметры:

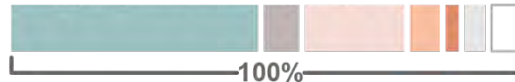
длина - 78 м;
 ширина - 60 м;
 высота - 24 м;

общая площадь - 16,5 тыс. кв. м;
 строительный объем - 95,04 тыс. куб. м;
 коэффициент компактности - 8,98.



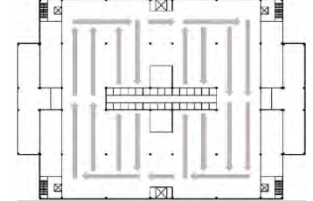
МОДЕЛЬ №6

функциональная структура объекта

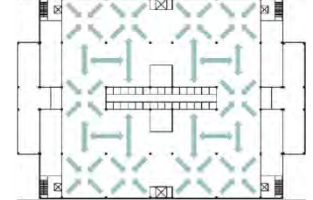


компоновка основных схем производства

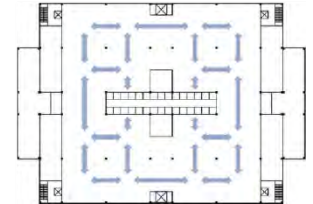
линейное "петлевое"



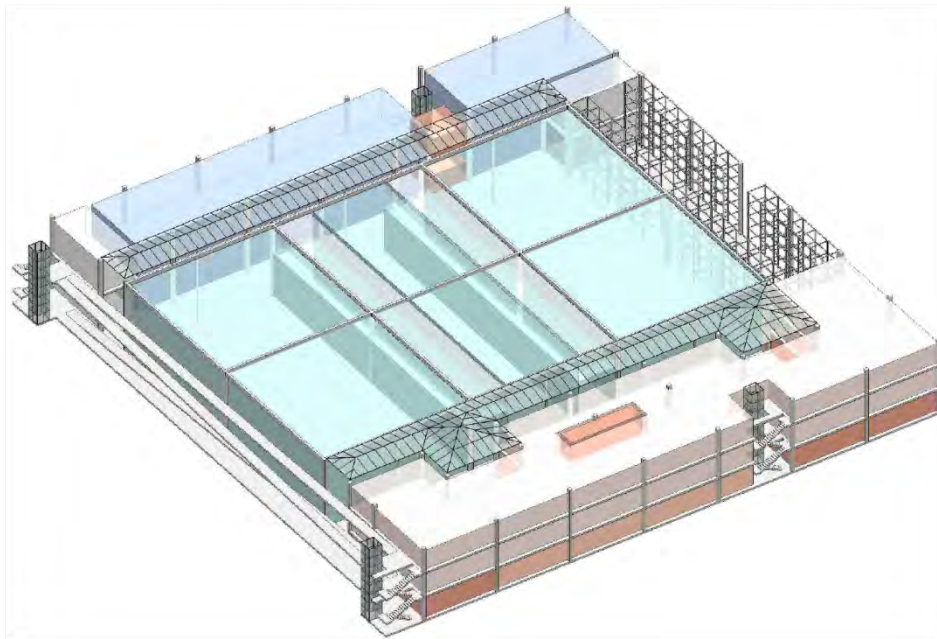
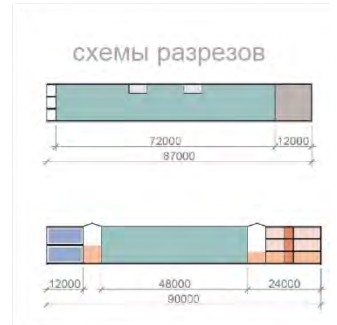
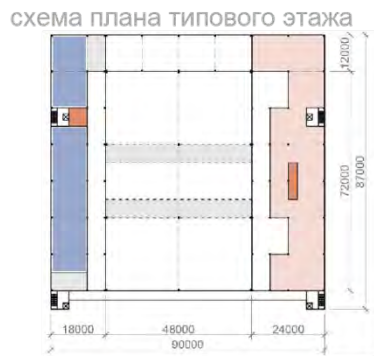
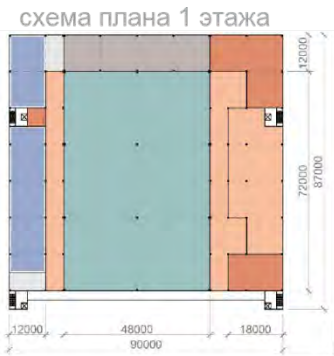
групповое / стендовое



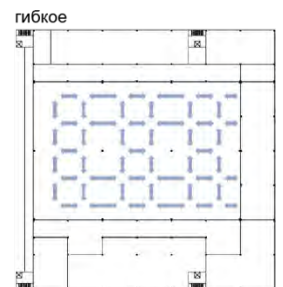
гибкое



Лист 3.12. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ



компоновка основных схем производства



основные строительные параметры:

длина - 90 м;
ширина - 90 м;
высота - 12 м;

общая площадь - 12,6 тыс. кв. м;
строительный объем - 94,34 тыс. куб. м;
коэффициент компактности - 7,70.



МОДЕЛЬ №8



Лист 3.13. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ

схема плана 1 этажа

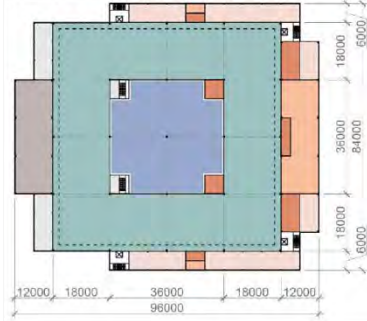
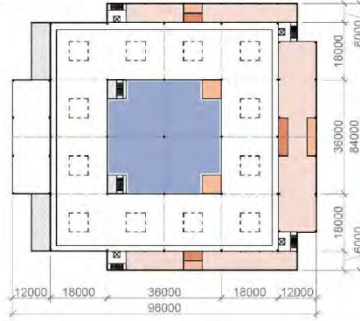
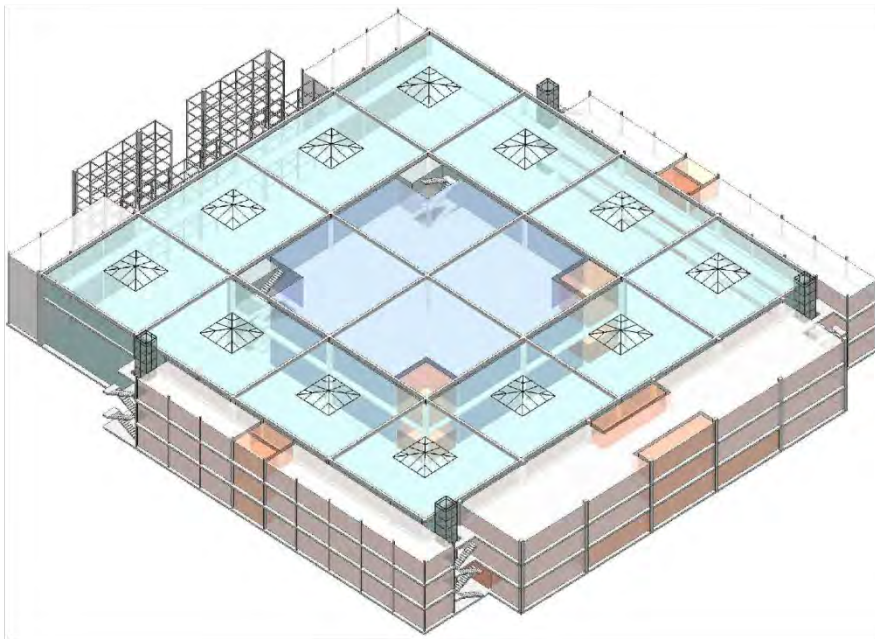
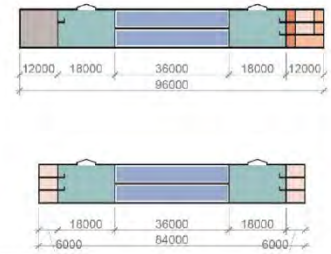


схема плана типового этажа

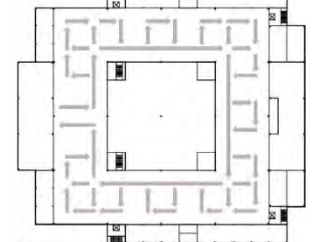


схемы разрезов

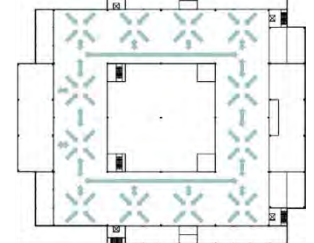


компоновка основных схем производства

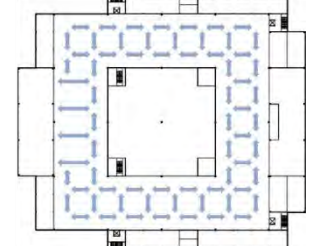
линейное "петлевое"



групповое / стеновое



гибкое



основные строительные параметры:

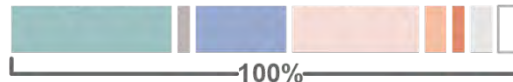
длина - 96 м;
ширина - 84 м;
высота - 12 м;

общая площадь - 12,0 тыс. кв. м;
строительный объем - 88,13 тыс. куб. м;
коэффициент компактности - 7,62.

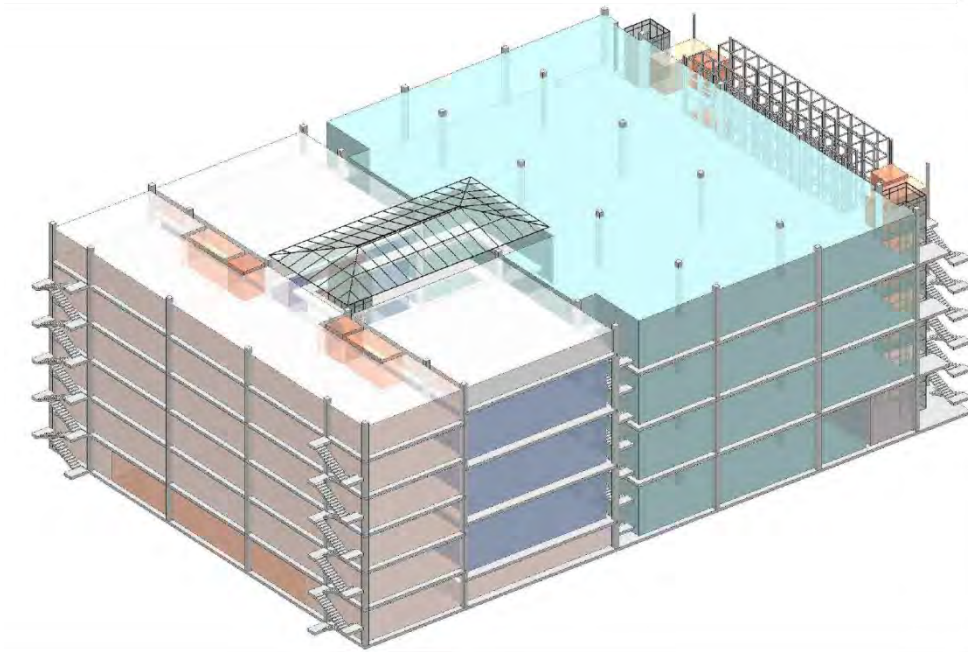


МОДЕЛЬ №9

функциональная структура объекта

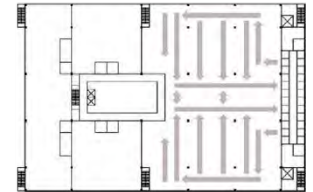


Лист 3.14. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ

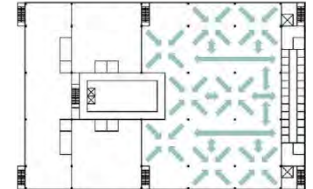


КОМПОНОВКА ОСНОВНЫХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА

линейное "петлевое"



групповое / стендовое



основные строительные параметры:

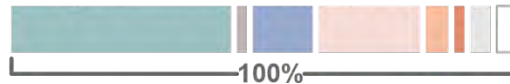
длина - 72 м;
ширина - 48 м;
высота - 24 м;

общая площадь - 14,2 тыс. кв. м;
строительный объем - 83,81 тыс. куб. м;
коэффициент компактности - 9,09.

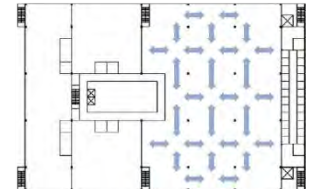


МОДЕЛЬ №10

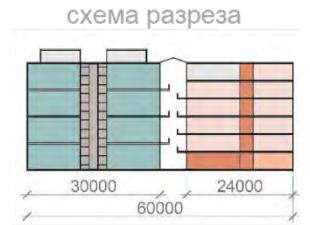
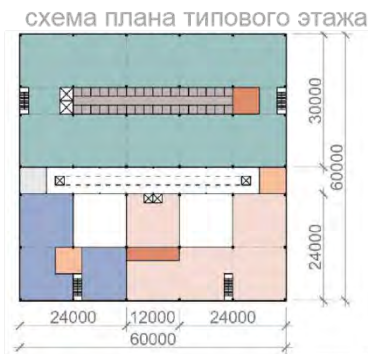
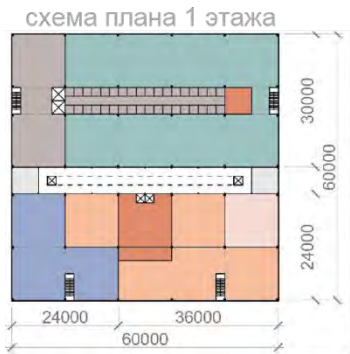
функциональная структура объекта



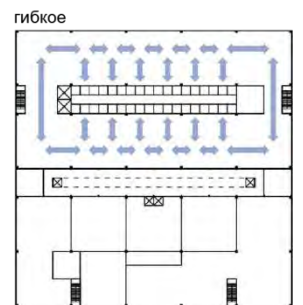
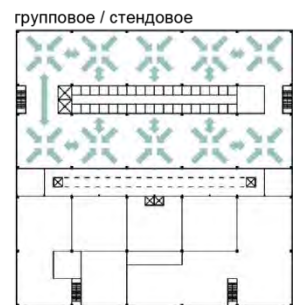
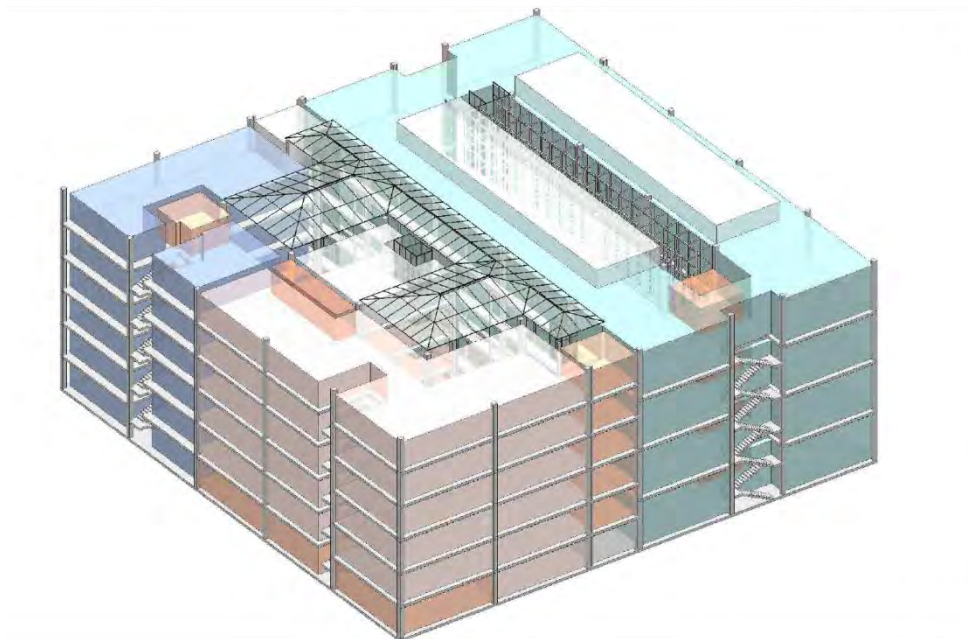
гибкое



Лист 3.15. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ



компоновка основных схем производства



основные строительные параметры:

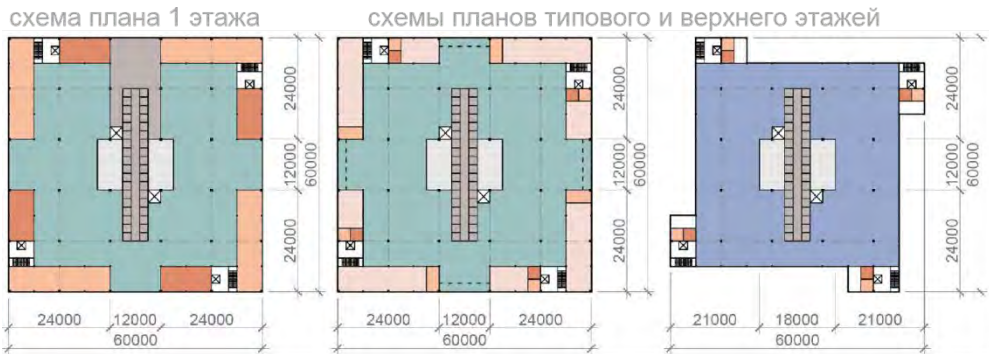
длина - 60 м;
 ширина - 60 м;
 высота - 24-27 м;

общая площадь - 15,1 тыс. кв. м;
 строительный объем - 88,45 тыс. куб. м;
 коэффициент компактности - 9,13.

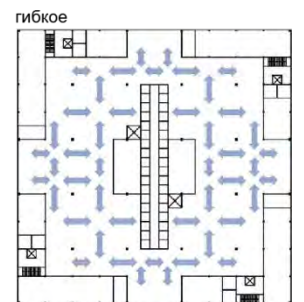
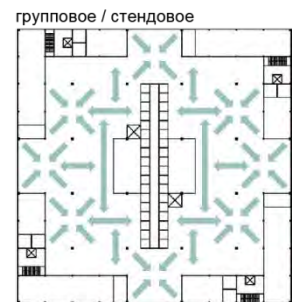
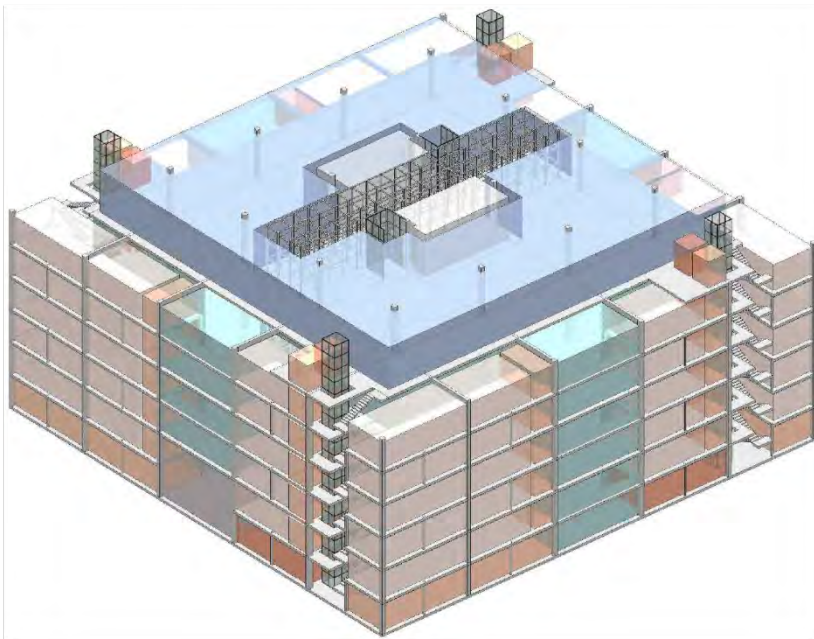
МОДЕЛЬ №11



Лист 3.16. Концептуальные архитектурно-пространственные модели ИФ



компоновка основных схем производства



основные строительные параметры:

длина - 60 м;
ширина - 60 м;
высота - 30 м;

общая площадь - 16,2 тыс. кв. м;
строительный объем - 101,52 тыс. куб. м;
коэффициент компактности - 9,4.

МОДЕЛЬ №12



Лист 3.17. Апробация в рамках учебного и проектирования

Производственное здание с применением различных типов озеленения, промзона «Южный порт», Москва

автор: А. О. Дмитриева

научн. рук:

проф. А. А. Хрусталева

2014 г



Научно-производственный центр точного машиностроения «Воронцово», г. Москва

автор: А. О. Дмитриева

научн. рук:

проф. А. А. Хрусталева

2016 г



Лист 3.18. Апробация в рамках учебного и проектирования

Объединенный научно-образовательный комплекс Национального центра авиации в городе Жуковском

автор: В. А. Королев

дип. рук: проф. М. В. Габова,

проф. В. П. Климанов,

преп. А. О. Дмитриева

2018 г



Высокотехнологическое предприятие на основе робототехники и 3D принтеров в Москве

автор: А. А. Загоруйко

дип. рук: проф. А. А. Хрусталева,

проф. К. Ю. Чистяков,

преп. Худяков С.А.

2020 г



Приложение 2. Глоссарий

адаптивность : Непрерывная способность к приспособлению архитектурного объекта к существующим и меняющимся требованиям (технологическим, экономическим, социальным, климатическим, экологическим) и контексту за счет изменения различных архитектурно-строительных, объемно-планировочных и других параметров. При этом адаптация может происходить как в масштабе целого объекта, так и в границах его части.

гибкость : «Многоцелевое использование при размещении разнообразных производств и возможность беспрепятственного осуществления перепланировок и переоборудования (при замене существующей технологии более прогрессивной) без капитального переустройства самого здания»¹.

гуманизация : Система мер (технических, экономических, психологических, эстетических) направленная на обеспечение безопасности труда, удовлетворения субъективных потребностей развития личности, раскрытия личного потенциала.

деиндустриализация : Процесс социальных и экономических изменений, связанных со снижением или полным прекращением промышленной активности в стране или отдельном регионе, особенно в тяжелой промышленности и в индустриальном производстве. Вынос производств в развивающиеся страны, а также деградация производственной деятельности.

здания гибкие : «Производственные здания, легко приспособляемые к изменениям технологии (изменениям габаритов технологического оборудования и его расстановки) в пределах одного или однотипного производственного процесса без нарушения строительной основы»².

зонирование функциональное : Система проектных действий нацеленных на формирование в пространстве архитектурного объекта частей различного назначения на основании их ведущих функций (основных направлений деятельности). Это соответствующая группировка помещений и упорядочивание людских, технологических и других систем передвижения / перемещения.

индустриальный парк : Специально организованная для размещения новых производств, непромышленных промышленных зданий и сооружений территория, обеспеченная энергоносителями, инфраструктурой, необходимыми административно-правовыми условиями и управляемая специализированной компанией.

¹Драбкин, Г. М. Рациональные типы многоэтажных производственных зданий заводов точного машиностроения / Г. М. Драбкин. – Л. : ЛДНТП, 1972. – С.7-8.

²Алексашина, В. В. Архитектура и строительство промышленных предприятий. Термины, определения, понятия. Словарь-справочник : Учебное пособие по специальности "Архитектура" / В. В. Алексашина; под ред. Кудрявцева А. П. – М. : Архитектура-С, 2009. – С.100.

инклюзивность (то англ. include – включать, учитывать): Характеристика архитектурной среды, характеризующая приспособленность и комфортность архитектурного объекта для людей с разными возможностями

инновация (инновационная деятельность): Результат / процесс интеллектуальной деятельности человека – принципиально новая идея или решение в сфере технологий, техники управления и производства или организации труда, основанное на передовом опыте и последних достижениях науки. Целью инновации / инновационной деятельности является повышение качества и эффективности процессов в той области, на которую направлена инновация, а также достижение экономической выгоды.

компактность: Свойство архитектурного объекта, объемно-планировочные решения которого подчинены стремлению к сокращению площади застройки, площади ограждающих конструкций и уменьшению объема, занимаемого объектом в пространстве.

компактизация: Стремление к максимальному, более эффективному использованию уже имеющихся территорий, площадей, строительных объемов и других ресурсов, уплотнение производства.

мобильность: Свойство архитектурных объектов и / или их отдельных элементов воспринимать изменения территориальной и функциональной организации. Заключается в подвижности самого архитектурного объекта, объемно-планировочной трансформации внутреннего пространства.

модуль: Автономное унифицированное здание, как правило, простой в плане формы, запроектированное с учетом всех технологических строительных и специальных требований, и многократно применяемое при строительстве предприятия до заданной мощности или при расширении предприятия.

наукоемкая отрасль: «Наиболее современные отрасли промышленности, выпускающие продукцию на основе последних достижений науки и техники. Такие отрасли отличаются крупными затратами на научные исследования, передовым в научно-техническом плане производственным аппаратом, значительным кадровым потенциалом исследователей и разработчиков»³.

неоиндустриализация (новая индустриализация): Экономическая стратегия, направленная на увеличение доли материального производства в экономике, для обеспечения устойчивого материально-технического развития и экономической безопасности. Характеризуется: наукоемкостью, высокой степенью автоматизации и вертикальной интеграцией производств, заботой об окружающей среде и ростом качества жизни человека.

³Там же, С.172.

производственная среда : Архитектурно-организованное внутреннее пространство промышленных зданий и сооружений, включающее в себя совокупность объектов труда, средств труда и средств, обеспечивающих оптимальные условия трудовой деятельности и технологических процессов.

промышленный (производственный) отель : Тип промышленного здания, как правило, многоэтажного, имеющий универсальную планировочную структуру, предназначенный для сдачи в аренду производственным, научно-производственным организациям. Может арендоваться как полностью, так и по частям.

реиндустриализация : Политика развитых стран, направленная на планомерное восстановление и создание промышленно-технологической основы экономической системы за счет макроэкономических, институционально-организационных, правовых, структурно-инвестиционных действий, касающихся не только промышленных предприятий и организаций, но и вспомогательной инфраструктуры, финансовой системы и др.. Характеризуется возвращением производства из стран третьего мира в развитые страны.

синергетический эффект : Возрастание эффективности деятельности в результате объединения или интеграции отдельных субъектов деятельности (элементов) в единую систему за счет так называемого системного эффекта, то есть проявления у системы новых свойств и качеств, не присущих отдельным элементам системы или сумме элементов системы, без особых системообразующих связей.

системно-структурный анализ : Исследование статических характеристик системы, при помощи выделения в ней подсистем и элементов различного уровня, определения связей и отношений между ними. Основная концепция системно-структурного анализа заключается в последовательной детализации изучаемой системы, уточнения получаемых сведений.

технологический уклад : Совокупность сопряженных производств (взаимосвязанных технологических цепей), имеющих единый технический уровень и рассматриваемых как некая структурная подсистема экономической системы – альтернативная по отношению к таким подсистемам, как отрасли. Производства, входящие в технологический уклад, вследствие их сопряженности развиваются синхронно: изменения в одном из элементов технического уклада вызывают изменения в остальных. Смена доминирующих в экономике технических укладов предопределяет неравномерный ход научно-технического прогресса.

трансформация : Изменения архитектурного объекта в связи с необходимостью. Помимо изменения объемно-планировочных характеристик, это понятие подразумевает возможность физико-технических и визуальных изменений. Может быть как обратимой, так и необратимой.

универсальное (гибкое) промышленное здание : Здание, архитектурная, планировочная, пространственная и конструктивная структура которого позволяет

использовать его для размещения различных видов производственной / промышленной деятельности и модернизации технологических схем производственных процессов без внесения изменений в объемно-планировочные решения.

устойчивое развитие (англ. sustainable development) : Одновременное осуществление экономических и социальных и экологических изменений (мероприятий), при которых эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация на научно-техническое развитие, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют сегодняшний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей. В целом, эта стратегия направлена на обеспечение неубывающего качества жизни людей.

устойчивая архитектура (архитектура устойчивого развития) : Экологически ответственная, энергоэффективная и социо-культурно ориентированная архитектура, основанная на передовых технологиях.

Четвёртая промышленная революция (Индустрия 4.0) : Новая стадия в развитии человечества – повсеместная интеграция кибернетических систем в материальное производство и обслуживание человеческих потребностей, включая труд, быт и досуг. Обусловлена экономической целесообразностью и требованиями повышения качества жизни. Отличительными чертами являются ускоренные темпы развития, ширина и глубина охвата сфер жизнедеятельности человека, системность воздействия.

экологизация : Усиление экологической ориентации различных отраслей науки и хозяйственной деятельности человека, направленное на сохранение природы и эффективное использование ее ресурсов.

экстраполяция : Логический метод научного исследования, заключающийся в распространении (переносе) выводов, сделанных относительно какой-либо части объектов на все множество данных объектов, или на их другую какую-либо часть. Один из методов научного прогнозирования – распространение выводов, и тенденций существующих в настоящих и (или) прошлых состояниях объектов на их будущее (предполагаемое) состояние и развитие.

эмерджентность : Возникновение у системы качеств, не присущих ее отдельным составляющим, или взаимное усиление определенных свойств отдельных элементов при их использовании в системе, не сводимое к простой сумме свойств компонентов системы.

эргономичность : Удобство эксплуатации, безопасность, управляемость и обитаемость окружающей искусственной среды. Также к свойствам эргономичности относятся социально-психологический, физиологический, антропометрический комфорт, соблюдение гигиенических требований к внутренней и внешней среде пребывания человека.

Приложение 3. Перечень проанализированных объектов. Объекты ретроспективного анализа

№ 1		Технический центр «Дженерал моторс» (General Motors)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Эл. Сааринен, Э Сааринен		
страна:	США		
год:	1951-1955		
общая площадь:	150 га		
направление деятельности:	автомобилестроение		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис		
источник иллюстраций:		http://www.michiganmodern.org/buildings/general-motors-technical-center	https://ehchr1955.wordpress.com/2010/12/18/cero-saarinen-architecture/

№ 2		Механическая фабрика в Декеле (Deckel factory)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	W. Непп		
страна:	Германия		
год:	1962		
общая площадь:			
направление деятельности:	механическая фабрика		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://anc.masilwide.com/336	

№ 3		Чебоксарский приборостроительный завод Элара	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:			
страна:	СССР		
год:	1967		
общая площадь:			
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://sapr.ru/news/20170314-elara	https://yandex.ru/maps/

№ 4		Завод автоматических линий в Барановичах	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Ю. А. Шаталов, Ж. С. Дулькина, С. Г. Ремизов, инж. И. В. Балдин		
страна:	СССР		
год:	1970		
общая площадь:	122000 м кв.		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://avatars.mds.yandex.net/get-altay/1344805/2a000001662a5e37ba76b8855c1adefe2dc1/XXL	https://yandex.ru/maps/

№ 5		Завод гидрооборудования в г. Грязи	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	И. П. Буянов, инж. Р. Е. Колодина		
страна:	СССР		
год:	1970		
общая площадь:	7,13 га		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство		
источник иллюстраций:		https://yandex.ru/maps/	

№ 6		Завод «Вольво» (Volvo)	
Общая информация		Внешний вид	Аксонометрия
арх./арх.бюро:	G. Goehl, T. Karlsson		
страна:	Швеция		
год:	1973-74		
общая площадь:			
направление деятельности:	сборка автомобилей		
основные функциональные зоны:	производство склад		
источник иллюстраций:		Rappaport, N. Vertical Urban Factory. – NY: Actar Publishers, 2019. – 480 p.	


№ 7		Фабрика Германа Миллера (Herman Miller)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	N. Grimshaw		
страна:	Англия		
год:	1976		
общая площадь:	6000 м кв.		
направление деятельности:	производство мебели		
основные функциональные зоны:	производство склад		
источник иллюстраций:		https://www.dezeen.com	Amrey C. Architecture, Industry and Innovation: The Early Works of Nicholas Grimshaw & Partners. – Singapore : Phaidon Press Limited, 2000. – 256 p.

№ 8		«Передовая» блок-фабрика (Advanced Factory Units)	
Общая информация		Внешний вид	Внешний вид
арх./арх.бюро:	N. Grimshaw		
страна:	Англия		
год:	1978		
общая площадь:	8000 м кв.		
направление деятельности:	арендуемые производственные площади		
основные функциональные зоны:	производство склад офис		
источник иллюстраций:		https://www.architecture.com/	https://www.google.ru/maps/


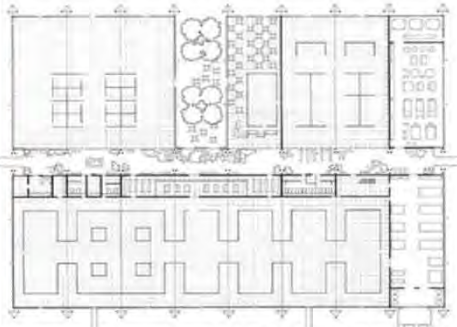
№ 9		Лабораторно-производственный комплекс НИИ «Дельта»	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	И. Гохарь-Хармандарян, Ю. Никифоров, Л. Масолкина инж. М. Любопытов, Ю. Румянцев		
страна:	СССР		
год:	1978		
общая площадь:	8000 м кв.		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис		
источник иллюстраций:			

№ 10		фабрика «Флитгард» (Fleetguard Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	R. Rogers		
страна:	Франция		
год:	1979		
общая площадь:	8750 м кв.		
направление деятельности:	воздушные и топливные фильтры		
основные функциональные зоны:	производство склад офис		
источник иллюстраций:		https://www.rsh-p.com/projects/fleetguard/	

№ 11		Быстровозводимое универсальное здание «Комплект»	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	ЦНИИПромзданий		
страна:	СССР		
год:	1970-1980		
общая площадь:	14000 м кв.		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство чистые помещения офис		
источник иллюстраций:		Архитектура промышленных предприятий, зданий и сооружений / А. В. Дроздов, Л. В. Гольденгерш, Е. С. матвеев и др.; под общ. ред. Н. Н. Кима. – 2-е издание перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 638 с.	

№ 12		Дистрибьютерский центр «Рено» (Renault)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	N. Foster		
страна:	Англия		
год:	1980		
общая площадь:	25000 м кв.		
направление деятельности:	дистрибуция автомобилей		
основные функциональные зоны:	склад офис		
источник иллюстраций:		https://www.fosterandpartners.com/projects/renault-distribution-centre/	

№ 13			Технологическая Лаборатория «ПА» (PA Technology Laboratory)	
Общая информация		Внешний вид	План	
арх./арх.бюро:	R. Rogers			
страна:	США			
год:	1985			
общая площадь:	3980 м кв.			
направление деятельности:	электроника			
основные функциональные зоны:	опытное производство лаборатория			
источник иллюстраций:		Powell, K. Richard Rogers: Architecture of the Future / K. Powell, ed. R. Torday. – Basel; Boston; Berlin; : Birkhäuser – Publishers for Architecture, 2006. – 520 p.		

№ 14			Завод «ИНМОС» (INMOS Microprocessor Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План	
арх./арх.бюро:	R. Rogers			
страна:	Англия			
год:	1987			
общая площадь:	8900 м кв.			
направление деятельности:	производство микро-процессоров			
основные функциональные зоны:	производство чистые помещения офис			
источник иллюстраций:		https://www.rsh-p.com/projects/inmos-microprocessor-factory/		https://www.pinterest.co.uk/pin/187673509456605069/visual-search/?x=16&y=16&w=530&h=533&cropSource=6

№ 15			Предприятие «Лин Продуктс» (Linn Products)	
Общая информация		Внешний вид	План	
арх./арх.бюро:	R. Rogers			
страна:	Англия			
год:	1987			
общая площадь:	4270 м кв.			
направление деятельности:	производство микро-процессоров			
основные функциональные зоны:	производство склад лаборатория офис			
источник иллюстраций:		https://www.rsh-p.com/projects/linn-products/		Powell, K. Richard Rogers: Architecture of the Future / K. Powell, ed. R. Torday. – Basel; Boston; Berlin; : Birkhäuser – Publishers for Architecture, 2006. – 520 p.

№ 16			Исследовательский центр «Ренк Ксерокс» (Rank Xerox)	
Общая информация		Внешний вид	План	
арх./арх.бюро:	N. Grimshaw			
страна:	США			
год:	1988			
общая площадь:	4230 м кв.			
направление деятельности:	производство микро-			
основные функциональные зоны:	много-функциональное пространство			
источник иллюстраций:		https://inspiration.detail.de/research--and-development-centre-welwyn-garden-city-109939.html		Amrey C. Architecture, Industry and Innovation: The Early Works of Nicholas Grimshaw & Partners. – Singapore : Phaidon Press Limited, 2000. – 256 p.


№ 17			Сборочный завод «Шкода» (Škoda Modular Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План	
арх./арх.бюро:	G. Henn			
страна:	Чехия			
год:	1996			
общая площадь:	37600 м кв.			
направление деятельности:	сборка автомобилей			
основные функциональные зоны:	производство офис	источник иллюстраций: Allen, TH. J. The Organization and Architecture of Innovation: Managing the Flow of Technology / TH. J. Allen G. W. Henn. – Oxford (UK): Butterworth-Heinemann, 2006. – 136 p.		

№ 18			Производственно-офисное здание компании «Тобиас Грау» (Tobias Grau)	
Общая информация		Внешний вид	План	
арх./арх.бюро:	RVT			
страна:	Германия			
год:	1998			
общая площадь:	4160 м кв.			
направление деятельности:	электрооборудование			
основные функциональные зоны:	производство офис	источник иллюстраций: https://www.archilovers.com/projects/193186/tobias-grau-gmbh-office-the-tubes.html		
источник иллюстраций:		https://www.google.ru/maps/		

№ 19			Фабрика «Апликс» (Aplix)	
Общая информация		Внешний вид	План	
арх./арх.бюро:	Dominique Perrault Architecte			
страна:	Франция			
год:	1997-1999			
общая площадь:	4160 м кв.			
направление деятельности:	компоненты текстильной промышленности			
основные функциональные зоны:	производство склад лаборатория офис	источник иллюстраций: Mostaedi, A. Factories & Office Buildings. – Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones, 2002. – 239 p.		

№ 20			Фабрика «Моторола» (Motorola)	
Общая информация		Внешний вид	План	
арх./арх.бюро:	Sh. Robson			
страна:	Англия			
год:	1998			
общая площадь:	32500 м кв.			
направление деятельности:	сотовые телефоны			
основные функциональные зоны:	производство офис	источник иллюстраций: http://www.swindonweb.com/index.asp?m=8&s=115&s=462&c=1175		
источник иллюстраций:		https://www.google.ru/maps/		

№ 21		Штаб-квартира «Дайсон» (Dyson Headquarters)	
Общая информация		Внешний вид	Аксонометрия
арх./арх.бюро:	WilkinsonEyre		
страна:	Англия		
год:	1999		
общая площадь:	32500 м кв.		
направление деятельности:	бытовая техника		
основные функциональные зоны:	производство офис демонстрация		
источник иллюстраций:		https://www.wilkinsoneyre.com/projects/dyson-headquarters	

№ 22		Фабрика «ИГУС» (IGUS)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	N. Grimshaw		
страна:	Германия		
год:	1984-2000		
общая площадь:	5000-40000 м кв.		
направление деятельности:	полимерные изделия		
основные функциональные зоны:	производство		
источник иллюстраций:		https://grimshaw.global/projects/igus-headquarters/	https://www.google.ru/maps/

Приложение 4. Перечень проанализированных объектов. Современные объекты-представители

№ 1		Фабрика «ХААС» (HAAS)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Германия		
год:	2000		
общая площадь:	6400 м кв.		
направление деятельности:	лазерное оборудование		
основные функциональные зоны:	производство склад лаборатория офис обучение		
источник иллюстраций:		https://barkowleibinger.com	

№ 2		Завод «АМС 2000» (AMS 2000)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	ATP Architekten		
страна:	Австрия		
год:	2000		
общая площадь:	17400 м кв.		
направление деятельности:	микрочипы		
основные функциональные зоны:	склад чистое помещение офис		
источник иллюстраций:		https://www.atp.ag	Corporate architecture. – Innsbruck : ATP architects and engineers, 2007. – 76 p.

№ 3		Производственно-офисное здание «Трамф Машинен АГ» (TRUMPF Maschinen AG)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Швейцария		
год:	2000-2001		
общая площадь:	7000 м кв.		
направление деятельности:	станкостроение		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://barkowleibinger.com	

№ 4		Фабрика «Стерлинг» (Sterling)	
Общая информация		Внешний вид	Аксонометрия
арх./арх.бюро:	RMA Architekten		
страна:	Испания		
год:	2001		
общая площадь:	7900 м кв.		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство офис обучение		
источник иллюстраций:		https://www.google.ru/maps/	Wiendahl H.-P. Handbook Factory Planning and Design. – Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. – 502 p.

№ 5		«Экспериментальная фабрика» (Experimental Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Sauerbruchhutton architect		
страна:	Германия		
год:	2001		
общая площадь:	6700 м кв.		
направление деятельности:	разработка инновационных покрытий		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис		
источник иллюстраций:		Mostaedi, A. Factories & Office Buildings. – Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones, 2002. – 239 p.	

№ 6		Сборочный завод «Хёрман Модин» (Hörmann MODINE)	
Общая информация		Внешний вид	Аксонометрия
арх./арх.бюро:	RMA Architekten		
страна:	Германия		
год:	2003		
общая площадь:	10500 м кв.		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://www.rma-architekten.de	Wiendahl H.-P. Handbook Factory Planning and Design. – Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. – 502 p.

№ 7		Предприятие «Гира» (Gira)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Ingenhoven Architekten		
страна:	Германия		
год:	2003		
общая площадь:	10350 м кв.		
направление деятельности:	электрооборудование		
основные функциональные зоны:	производство разработка офис		
источник иллюстраций:		https://www.ingenhovenarchitects.com	источник не известен

№ 8		Производственно-офисное здание ООО «Трамф Саксония энд Ко» (TRUMPF Sachsen GmbH & Co)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Германия		
год:	2003-2004		
общая площадь:	8180 м кв.		
направление деятельности:	станкостроение		
основные функциональные зоны:	производство склад офис		
источник иллюстраций:		https://barkowleibinger.com	

№ 9		Кооперативное предприятие «Гератверк Матрай» (Gerätewerk Matrei)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	ATP Architekten		
страна:	Германия		
год:	2005		
общая площадь:	11300 м кв.		
направление деятельности:	климатическое оборудование, фасадные панели		
основные функциональные зоны:	производство, склад, разработка, офис		
источник иллюстраций:		https://www.atp.ag	

№ 10		Логистический комплекс «Чилиэкспресс» (Chilexpress)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Guillermo Nevia Architects		
страна:	Чили		
год:	2005		
общая площадь:	7200 м кв.		
направление деятельности:	дистрибуция		
основные функциональные зоны:	склад, офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 11		Производственно-офисное здание ООО «Хюттингер Электроник» (Hüttinger Elektronik GmbH + Co. KG)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Германия		
год:	2005-2006		
общая площадь:	15000 м кв.		
направление деятельности:	электроприборы		
основные функциональные зоны:	производство, склад, лаборатория, офис		
источник иллюстраций:		https://barkowleibinger.com	

№ 12		Фабрика «Фраба» (FRABA Sp. z o.o.)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	VeL		
страна:	Польша		
год:	2006		
общая площадь:	2070 м кв.		
направление деятельности:	электрооборудование		
основные функциональные зоны:	производство, склад		
источник иллюстраций:		https://miesarch.com	

№ 13		Мультиарендуемые промышленные здания в Дерио (Software and Biotechnology Plants)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Coll-Barrau Arquitectos		
страна:	Испания		
год:	2006		
общая площадь:	15590 м кв.		
направление деятельности:	биотехнологии, программное обеспечение		
основные функциональные зоны:	производство, лаборатория, офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	


№ 14		Сборочный завод «Модин Хн» (Modine Hn)	
Общая информация		Внешний вид	Аксонометрия
арх./арх.бюро:	RMA Architekten		
страна:	Венгрия		
год:	2008		
общая площадь:	7000 м кв.		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство		
источник иллюстраций:		https://www.rma-architekten.de	

№ 15		Центр разработок в Дитцингене (Development Center Ditzingen)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Германия		
год:	2009		
общая площадь:	34500 м кв.		
направление деятельности:	станкостроение		
основные функциональные зоны:	производство, офис		
источник иллюстраций:		https://barkowleibinger.com	

№ 16		Производственно-логистический комплекс «Хилти» (Hilti)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	ATP Architekten		
страна:	Австрия		
год:	2009		
общая площадь:	18000 м кв.		
направление деятельности:	электроинструменты		
основные функциональные зоны:	производство, склад, офис		
источник иллюстраций:		https://www.atp.ag	источник не известен

№ 17		Предприятие «Зенхейсер электроник» (Sennheiser electronic)	
Общая информация		Внешний вид	Аксонометрия
арх./арх.бюро:	RMA Architekten		
страна:	Германия		
год:	2009		
общая площадь:	5600 м кв.		
направление деятельности:	аудио аппаратура		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис		
источник иллюстраций:		https://www.rma-architekten.de	

№ 18		Предприятие «Нео Солар Пауэр» (Neo Solar Power Crporation)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	J.J. Pan&Partners		
страна:	Тайвань		
год:	2009		
общая площадь:	27000 м кв.		
направление деятельности:	солнечные батареи		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 19		Производственно-офисный комплекс «MTU Аэро» (MTU Aero)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	G. Henn Architekten		
страна:	Польша		
год:	2009		
общая площадь:	18200 м кв.		
направление деятельности:	комплектующие авиационных двигателей		
основные функциональные зоны:	производство обслуживание офис		
источник иллюстраций:		http://www.perbo-projekt.pl	https://www.google.ru/maps/


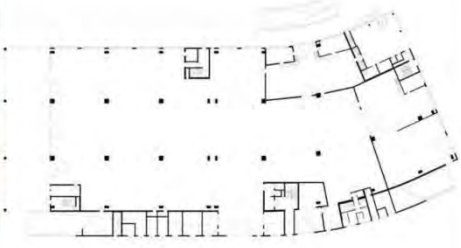
№ 20		Штаб-квартира «Шлутер Системс» (Schluter Systems)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	DCYSA Architecture & Design		
страна:	Канада		
год:	2009		
общая площадь:	5530 м кв.		
направление деятельности:	мембранные строительные материалы		
основные функциональные зоны:	производство разработка офис обучение		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 21		«Дышащая фабрика» (Breathing Factory)	
Общая информация		Внешний вид	Интерьер
арх./арх.бюро:	Takashi Yamaguchi & Associates		
страна:	Япония		
год:	2009		
общая площадь:	2290 м кв.		
направление деятельности:	медицинское оборудование		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис склад		
источник иллюстраций:		https://www10.aeccafe.com	

№ 22		Цех ЧТПЗ «Высота 239»	
Общая информация		Внешний вид	Интерьер
арх./арх.бюро:	Ё-Программа		
страна:	Россия		
год:	2007-2010		
общая площадь:			
направление деятельности:	трубопрокат		
основные функциональные зоны:	производство		
источник иллюстраций:		https://archi.ru	

№ 23		Предприятие «ФАФСИ» (FAFSI)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	LHVH Architekten BDA		
страна:	Германия		
год:	2010		
общая площадь:	8000 м кв.		
направление деятельности:	производство строительных модулей		
основные функциональные зоны:	производство склад офис		
источник иллюстраций:		https://www.world-architects.com	

№ 24		Центр «передовых способов производства» Advanced Manufacturing Centre	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	HASELL		
страна:	Австралия		
год:	2010		
общая площадь:	19000 м кв.		
направление деятельности:	инновационные производства		
основные функциональные зоны:	опытно-производство лаборатория офис демонстрация		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 25		Штаб-квартира «Техноальпин» (TechnoAlpin)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Roland Baldi Architects, Johannes Niederstätter / VWN Architects		
страна:	Италия		
год:	2010		
общая площадь:	ок. 22000 м кв.		
направление деятельности:	климатическое оборудование		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://rolandbaldi.com	

№ 26		Многоэтажный паркинг «Гринвей селфпарк» (Greenway Selfpark)	
Общая информация		Внешний вид	Фрагмент
арх./арх.бюро:	НОК		
страна:	США		
год:	2010		
общая площадь:			
направление деятельности:	многоуровневый паркинг		
основные функциональные зоны:	хранение		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 27		Комплекс по переработке отходов Вальес-Оксиденталь (CTR Vallés Occidental)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Battle & Roig Architects		
страна:	Испания		
год:	2008-2010		
общая площадь:	45000 м кв.		
направление деятельности:	переработка мусора		
основные функциональные зоны:	производство		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 28		Штаб-квартира компании «Гаэс» (Gaes)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Mizien		
страна:	Испания		
год:	2011		
общая площадь:	6500 м кв.		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство разработка офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 29		Производственный центр «МакЛарен» (McLaren)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	N.Foster + Partners		
страна:	Англия		
год:	2011		
общая площадь:	34500 м кв.		
направление деятельности:	сборка автомобилей		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:			

№ 30		Фабрика «Генхеликс Биофармасьютикал» (Genhelix Biopharmaceutical)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	estudioSIC		
страна:	Испания		
год:	2011		
общая площадь:	8380 м кв.		
направление деятельности:	антитела		
основные функциональные зоны:	производство склад лаборатория офис инженерия		
источник иллюстраций:			

№ 31		Штаб-квартира и производство фирмы «Практик» Pratic	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	GEZA – Stefano Gri, Piero Zucchi		
страна:	Италия		
год:	2011		
общая площадь:	11800 м кв.		
направление деятельности:	тентовые системы		
основные функциональные зоны:	производство офис демонстрация		
источник иллюстраций:			

№ 32		Научно-производственный центр «БМГ МИС» (BMG MIS)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Matthias Wehrle		
страна:	Германия		
год:	2012		
общая площадь:	14200 м кв.		
направление деятельности:	жидкокристаллические экраны		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис		
источник иллюстраций:			

№ 33		Био-электро станция «Гочкис» (Hotchkiss)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Centerbrook Architects&Planner		
страна:	Германия		
год:	2012		
общая площадь:	1530 м кв.		
направление деятельности:	электро-энергетика		
основные функциональные зоны:	производство демонстрация		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 34		Комплекс штаб-квартиры «БОБСТ» (BOBST)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Richter Dahl Rocha & Associés		
страна:	Швейцария		
год:	2012		
общая площадь:	53730 м кв.		
направление деятельности:	упаковочное оборудование производство		
основные функциональные зоны:	офис обучение демонстрация		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 35		Фабрика «Витра» (Vitra)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	SANAA		
страна:	Германия		
год:	2012		
общая площадь:	20455 м кв.		
направление деятельности:	материалы для строительства		
основные функциональные зоны:	производство склад офис сервис демонстрация		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 36		Производственный цех в Грюше (Grüsch)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Швейцария		
год:	2013		
общая площадь:	4500 м кв.		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство чистые помещения офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 37		Производственная лаборатория «Метальса» (Metalsa)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Brooks + Scarpa Architects		
страна:	Мексика		
год:	2013		
общая площадь:	16760 м кв.		
направление деятельности:	комплектующие грузовых автомобилей		
основные функциональные зоны:	опытное производство офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 38		«Фабрика на Земле» (Factory on the Earth)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Ryuichi Ashizawa Architect & Associates		
страна:	Малайзия		
год:	2013		
общая площадь:	25140 м кв.		
направление деятельности:	элементы электрооборудования		
основные функциональные зоны:	производство склад офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 39		Производственно-офисное здание фирмы «Филипп Хафнер» (Philipp Hafner)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	gernot schulz : architektur		
страна:	Германия		
год:	2013		
общая площадь:	7300 м кв.		
направление деятельности:	измерительные приборы		
основные функциональные зоны:	производство разработка офис сервис		
источник иллюстраций:		https://www.baunetz-architekten.de	https://www.competitionline.com/de

№ 40		Производственно-офисное здание «Таксхорн» (Tuxhorn)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Architekten Wannenmacher + Möller GMBH Architects		
страна:	Германия		
год:	2013		
общая площадь:	6980 м кв.		
направление деятельности:	приборостроение		
основные функциональные зоны:	производство склад офис		
источник иллюстраций:		https://divisare.com/	

№ 41		Производственный цех в Хаттингене (Hettingen)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Германия		
год:	2013		
общая площадь:	10700 м кв.		
направление деятельности:	крупногабаритные лазерные станки		
основные функциональные зоны:	производство		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 42		Фабрика «Сирона» (Sirona)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Lengfeld & Wilisch Architekten		
страна:	Германия		
год:	2013		
общая площадь:	3790 м кв.		
направление деятельности:	стоматологическое оборудование		
основные функциональные зоны:	производство		
источник иллюстраций:		https://www.german-architects.com	

№ 43		Фабрика осветительного оборудования «Зумтобел» (ZUMTOBEL)	
Общая информация		Внешний вид	Интерьер
арх./арх.бюро:	ATP Architekten		
страна:	Австрия		
год:	2013		
общая площадь:	10700 м кв.		
направление деятельности:	осветительное оборудование		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://www.atp.ag	

№ 44		«Иновационная фабрика Эскулап» (Aescular Innovation Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Wilford Schupp Architects		
страна:	Германия		
год:	2014		
общая площадь:	24000 м кв.		
направление деятельности:	медицинские инструменты		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://divisare.com/	

№ 45		Фабрика «ХАВЭ» (HAWE)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Германия		
год:	2014		
общая площадь:	50000 м кв.		
направление деятельности:	гидравлические системы		
основные функциональные зоны:	производство		
источник иллюстраций:		https://barkowleibinger.com	

№ 46		«Иновационная фабрика Виттенштайн» (Wittenstein)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	G. Henn Architekten		
страна:	Германия		
год:	2014		
общая площадь:	18090 м кв.		
направление деятельности:	мехатронные системы		
основные функциональные зоны:	производство разработка офис сервис		
источник иллюстраций:			

№ 47		Производственно-офисное здание «Халь» (Hahl)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Peter W. Schmidt Architekten BDA		
страна:	Германия		
год:	2014		
общая площадь:	4980 м кв.		
направление деятельности:	комплектующие машиностроения		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:			

№ 48		Завод «Хевел солар» (Hevel solar)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Мосэлектропроект		
страна:	Россия		
год:	2014		
общая площадь:	23000 м кв.		
направление деятельности:	солнечные батареи		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис		
источник иллюстраций:			

№ 49		Штаб-квартира «Сименс» на Ближнем Востоке (Siemens Middle East HQ)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Sheppard Robson		
страна:	ОАЭ		
год:	2013-2014		
общая площадь:	22800 м кв.		
направление деятельности:	инновационные разработки		
основные функциональные зоны:	разработка офис демонстрация		
источник иллюстраций:			

№ 50		«Фабрика 2050» (Factory 2050)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Bond Bryan Architects		
страна:	Англия		
год:	2015		
общая площадь:	7000 м кв.		
направление деятельности:	робототехника		
основные функциональные зоны:	опытное производство демонстрация		
источник иллюстраций:		https://bondbryan.co.uk	https://www.google.ru/maps

№ 51		Производственно-офисное здание «АГП e-Гласс» (AGP eGlass)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	V.Oid		
страна:	Перу		
год:	2015		
общая площадь:	10000 м кв.		
направление деятельности:	инновационные стекломатериалы		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 52		Станкостроительный завод «ДМГ Мори-Секи» (DMG Mori Seki)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:			
страна:	Россия		
год:	2015		
общая площадь:	20870 м кв.		
направление деятельности:	легкое станкостроение		
основные функциональные зоны:	производство разработка офис демонстрация		
источник иллюстраций:		https://yandex.ru/maps	

№ 53		Производственное здание фирмы «Метод» (Method)	
Общая информация		Внешний вид	Интерьер
арх./арх.бюро:	William McDonough +		
страна:	США		
год:	2015		
общая площадь:	13930 м кв.		
направление деятельности:	продукты питания и быта		
основные функциональные зоны:	производство склад офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 54		Производственный цех «Пак-Систем» (Pac-Systeme)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Германия		
год:	2016		
общая площадь:	12155 м кв.		
направление деятельности:	среднее станкостроение		
основные функциональные зоны:	производство склад лаборатория		
источник иллюстраций:		https://barkowleibinger.com	

№ 55		Штаб-квартира «ГИРА» (Gira)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Sauerbruchhutton architects		
страна:	Германия		
год:	2016		
общая площадь:	34640 м кв.		
направление деятельности:	электро-оборудование		
основные функциональные зоны:	производство склад лаборатория офис		
источник иллюстраций:	https://www4.gira.com/en		

№ 56		Научно-производственное здание «Арена 3036» (ARENA 2036)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	G. Henn Architekten		
страна:	Германия		
год:	2016		
общая площадь:	9890 м кв.		
направление деятельности:	автомобильные электросистемы		
основные функциональные зоны:	опытно-производство офис		
источник иллюстраций:	http://www.henn.com/		

№ 57		Штаб-квартира компании «Дюрр Системс» (Dürr Systems)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	SmithGroup		
страна:	США		
год:	2016		
общая площадь:	17830 м кв.		
направление деятельности:	роботизированные системы		
основные функциональные зоны:	производство офис обучение		
источник иллюстраций:	https://www.archdaily.com		

№ 58		Завод "АББ АГ Австрия" (ABB AG Österreich)	
Общая информация		Внешний вид	Интерьер
арх./арх.бюро:	ATP Architekten		
страна:	Германия		
год:	2016		
общая площадь:	7355 м кв.		
направление деятельности:	робототехника		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:	https://www.atp.ag		

№ 59		Региональный учебный технологический центр (Regional Plant Teaching Facility)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Clark Nexsen		
страна:	США		
год:	2016		
общая площадь:	2865 м кв.		
направление деятельности:	климатическое оборудование		
основные функциональные зоны:	производство демонстрация		
источник иллюстраций:	https://www.archdaily.com		

№ 60		Технологический центр «Трамф» (Trumpf)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Польша		
год:	2016		
общая площадь:	3200 м кв.		
направление деятельности:	среднее станкостроение		
основные функциональные зоны:	демонстрационное производство офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 61		Цех ООО «Трамф Лазер» (TRUMPF Laser GmbH)	
Общая информация		Внешний вид	Интерьер
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	Германия		
год:	2016		
общая площадь:	12100 м кв.		
направление деятельности:	среднее станкостроение		
основные функциональные зоны:	производство склад чистое помещение офис		
источник иллюстраций:		https://barkowleibinger.com	

№ 62		«Умная фабрика Трамф» (Trumpf Smart Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Barkow Leibinger Architects		
страна:	США		
год:	2017		
общая площадь:	5300 м кв.		
направление деятельности:	среднее станкостроение		
основные функциональные зоны:	производство офис демонстрация		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 63		Предприятие «Люмпулс» (Lumenpulse)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Lemaу		
страна:	Канада		
год:	2017		
общая площадь:	16000 м кв.		
направление деятельности:	осветительные системы		
основные функциональные зоны:	производство разработка офис обучение демонстрация		
источник иллюстраций:		https://architizer.com/projects/lumenpulse/	

№ 64		Фабрика «Парамит» (Paramit)	
Общая информация		Внешний вид	Интерьер
арх./арх.бюро:	Bhd.		
страна:	Малайзия		
год:	2017		
общая площадь:	15050 м кв.		
направление деятельности:	медицинское и спутниковое оборудование		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://blog.interface.com/paramit-factory-in-a-forest/	

№ 65		«Субстратная Фабрика Аяс» (Substrate Factory Ayase)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Аки Намата Architects		
страна:	Япония		
год:	2017		
общая площадь:	290 м кв.		
направление деятельности:	электро-оборудование		
основные функциональные зоны:	офис демонстрация		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	


№ 66		Павильон 16	
Общая информация		Внешний вид	Аксонометрия
арх./арх.бюро:	Проектное бюро "АПЕКС"		
страна:	Россия		
год:	2016-2017		
общая площадь:	ок. 1600 м кв.		
направление деятельности:	много-функциональное пространство		
основные функциональные зоны:	производство		
источник иллюстраций:		https://archi.ru	

№ 67		Фабрика «Стар Энджиниерс» (Star Engineers Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Studio VDGA		
страна:	Вьетнам		
год:	2017		
общая площадь:	3715 м кв.		
направление деятельности:	пространство электроники		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 68		«Центр новейшего производства» (Advanced Manufacturing Building)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Bond Bryan Architects		
страна:	Англия		
год:	2018		
общая площадь:	9000 м кв.		
направление деятельности:	инновационные производства		
функциональные зоны:	опытно-производственная лаборатория офис обучение		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 69		Штаб-квартира «Пивексин Технолоджи» (Pivexin Technology)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	MUS Architects		
страна:	Польша		
год:	2018		
общая площадь:	3800 м кв.		
направление деятельности:	комплектующие приборостроения		
функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:		https://www.archilovers.com	

№ 70		«Иновационная фабрика Брюннер» (Brunner Innovation Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	G. Henn Architekten		
страна:	Германия		
год:	2018		
общая площадь:	7470 м кв.		
направление деятельности:	мебель		
функциональные зоны:	производство офис демонстрация		
источник иллюстраций:		http://www.henn.com/	

№ 71		«Центр передового производства» (Advanced Manufacturing Center)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Cannon design & JGMA		
страна:	США		
год:	2018		
общая площадь:	4460 м кв.		
направление деятельности:	инновационные производства		
функциональные зоны:	опытно-производственная лаборатория офис обучение		
источник иллюстраций:		https://pbccchicago.com	https://www.architectmagazine.com

№ 72		«Умная фабрика Фьючур Стич» (FUTURE STITCH Smart Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	AZL Architects		
страна:	Китай		
год:	2018		
общая площадь:	26800 м кв.		
направление деятельности:	текстиль		
основные функциональные зоны:	производство разработка офис сервис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 73		Штаб-квартира «БИАЛМЕД» (BIALMED)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	3XA		
страна:	Польша		
год:	2018		
общая площадь:	11870 м кв.		
направление деятельности:	фармацевтика		
основные функциональные зоны:	производство склад офис		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 74		Здание «ЦМР Сёрджикал» (CMR Surgical)	
Общая информация		Интерьер	План
арх./арх.бюро:	AZL Architects		
страна:	Англия		
год:	2019		
общая площадь:	4200 м кв.		
направление деятельности:	хирургическая робототехника		
основные функциональные зоны:	опытно-производство офис		
источник иллюстраций:		https://archi.ru	


№ 75		Производственно-офисное здание «МЦЕ» (MCE)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	HEIM VALP Architekten		
страна:	Румыния		
год:	2019		
общая площадь:	20000 м кв.		
направление деятельности:	бытовая техника		
основные функциональные зоны:	производство офис демонстрация		
источник иллюстраций:		https://www.archdaily.com	

№ 76		Завод «Б. Браун 4.0» (B. Braun 4.0)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Neugebauer + Roesch Architekten		
страна:	Германия		
год:	2019		
общая площадь:	20000 м кв.		
направление деятельности:	фармацевтическое оборудование		
основные функциональные зоны:	чистое помещение офис		
источник иллюстраций:	https://www.archdaily.com		

№ 77		Корпус Национального Промышленного Института (National Manufacturing Institute)	
Общая информация		Внешний вид	Аксонометрия
арх./арх.бюро:	HLM Architects		
страна:	Шотландия		
год:	2019		
общая площадь:			
направление деятельности:	технологический старт-ап опытное		
основные функциональные зоны:	производство лаборатория офис обучение		
источник иллюстраций:	https://hlmarchitects.com		

№ 78		Фабрика «АБВ» (ABB)	
Общая информация		Внешний вид	Аксонометрия
арх./арх.бюро:			
страна:	Китай		
год:	2020		
общая площадь:			
направление деятельности:	роботизированное производство		
основные функциональные зоны:	производство офис логистика		
источник иллюстраций:	https://www.youtube.com/		

№ 79		Фабрика «Флэш Баттери» (Flash Battery Factory)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Studio Bocchi		
страна:	Италия		
год:	2020		
общая площадь:	5500 м кв.		
направление деятельности:	производство энергоносителей		
основные функциональные зоны:	производство офис		
источник иллюстраций:	https://www.archdaily.com		

№ 80		Офисно-производственное здание «Аэмулс» (Aemulus at the Runway)	
Общая информация		Внешний вид	План
арх./арх.бюро:	Design Unit Architects		
страна:	Малайзия		
год:	2020		
общая площадь:	9400 м кв.		
направление деятельности:	комплексивная электроника		
основные функциональные зоны:	производство офис лаборатории		
источник иллюстраций:	https://www.arch2o.com		

Приложение 5. Расчет рациональной общей площади ИФ

Расчет рациональной и оптимальной общей площади ИФ на основе гуманистического подхода, то есть наиболее рационального полного списочного состава сотрудников.

На основе комплексного-многофакторного анализа объектов-представителей (см Т.1 Г.1 п.3.2) и выявленных актуальных тенденций по изменению долей функциональных зон ИФ, по сравнению с традиционными промпредприятиями (см Т.1 Г.2 п.2.1), были установлены следующие процентные соотношения основных функциональных зон ИФ (табл.1):

основные функциональные зоны	площадь функциональной зоны от общей площади объекта (%)
производственная	53
подсобно-складская	5,5
исследований и разработок	6
административно-офисная	17
санитарно-бытовая	2,5
инженерно-техническая	9
социально-рекреационная	7

Табл.1.

В результате изучения материалов о количестве сотрудников на рассматриваемых предприятиях, анализа научно-исследовательских работ, монографий, методических материалов и нормативных документов, собраны данные о количестве кв. м площади основных функциональных зон, занимаемых (контролируемых, обслуживаемых) одним работником для осуществления нормальной эксплуатации современного предприятия (табл.2).

Необходимо отметить, что данные о количестве кв. м площади, занимаемых одним человеком по санитарно-бытовой и социально-рекреационной зонам не учитываются в расчете. Так как эти зоны не предназначены для непосредственной работы и напрямую не влияют на нормальный ход производственно-технологических процессов, в наиболее полном их понимании. Их требуемые площади рассчитываются исходя из соответствующих нормативных документов [12; 14].

основные функциональные зоны	м кв. функциональной зоны / на 1 человека (%)
производственная	50-80 (ср. 65)
подсобно-складская	250
исследований и разработок	25
административно-офисная	10
санитарно-бытовая	по нормативам
инженерно-техническая	0
социально-рекреационная	по нормативам

Табл.2.

Для расчета рациональной общей площади ИФ вводятся следующие переменные значения:

A – количество сотрудников предприятия; диапазон значения составляет 200-500 человек;

x – суммарная площадь всех зон предприятия, по которым ведется расчет численности сотрудников;

S – общая площадь предприятия.

1. Тогда площадь каждой функциональной зоны можно представить как долю от суммарной площади всех зон предприятия, по которым ведется расчет численности сотрудников; а количество сотрудников на предприятии можно выразить как сумму площадей основных функциональных зон, разделенных на соответствующее количество м кв. площади на одного человека:

$$0,54x \cdot 1/65 + 0,055x \cdot 1/250 + 0,165x \cdot 1/10 + 0,05x \cdot 1/25 = A$$

$$(0,54x \cdot 3,845164 + 0,055x + 0,165x \cdot 25 + 0,05x \cdot 10) / 250 = A$$

$$(2,076923x + 0,055x + 4,125x + 0,5x) / 250 = A$$

$$6,756923x / 250 = A$$

2. Соответственно, суммарная площадь всех зон предприятия, по которым ведется расчет численности сотрудников, может быть выражена через количество сотрудников:

$$6,756923x = A \cdot 250$$

$$x=A*250/6,756923$$

$$x=A*37$$

3. При этом, суммарная площадь всех зон предприятия, по которым ведется расчет численности сотрудников, также может быть выражена через общую площадь предприятия:

$$x=100\%*S-2,5\%*S-7,5\%*S-9\%*S$$

$$x=81\%*S$$

$$S=x/0,81$$

4. Теперь, совместив второй и третий шаги расчета, можно определить общую площадь предприятия через численность сотрудников:

$$S=A*37/0,81$$

5. Подставляя на место переменной А значения минимального, максимального и оптимального количества сотрудников ИФ, можно получить соответствующие значения общих площадей ИФ:

5.1 Если $A=200$, то $S=200*37/0,81 = \mathbf{9135 \text{ м кв.}}$

5.2 Если $A=500$, то $S=500*37/0,81 = \mathbf{22839 \text{ м кв.}}$

5.3 Если $A=350$, то $S=350*37/0,81 = \mathbf{15987 \text{ м кв.}}$

Приложение 6. Список источников иллюстративного материала

1. Жигули зарождения российского а.б [Электронный ресурс] –URL: https://lada-avto.ucoz.com/news/zhiguli_zarozhdenija_rossijskogo_a_b/2013-06-27-6. (Date of Access: 02.2018).
2. Поисковая система Яндекс.Карты [Электронный ресурс] – URL: <https://yandex.ru/maps/>.
3. Российский архитектурный web-портал Архи.ру [Электронный ресурс] – URL: <https://archi.ru>.
4. Search Engine Google Maps [Electronic Source] – URL: <https://www.google.ru/maps>.
5. Search Engine Google Images [Electronic Source] – URL: <https://www.google.ru/imghp?hl=en&tab=wi&authuser=0&ogbl>
6. Aasarchitecture. Global architecture archive [Electronic Source] – URL: <https://aasarchitecture.com>.
7. AECCafe, the Leading AEC Portal [Electronic Source] – URL: <https://www.aeccafe.com>.
8. Amrey C. Architecture, Industry and Innovation: The Early Works of Nicholas Grimshaw & Partners. – Singapore : Phaidon Press Limited, 2000. – 256 p.
9. AR And VR: The Next Level Technology That Will Save Companies Millions [Electronic Source] – URL: <https://www.evolvear.io/augmented-reality-blog/ar-and-vr-the-next-level-technology-that-will-save-companies-millions/>. (Date of Access: 11.2018).
10. ArchDaily. The world's most visited architecture website [Electronic Source] – URL: <https://www.archdaily.com>.
11. Archilovers. The professional network for Architects, Designers and architecture lovers [Electronic Source] – URL: <https://www.archilovers.com>.
12. Architect Magazine: Architectural Design [Electronic Source] – URL: <https://www.architectmagazine.com>.
13. Architizer: Inspiration and Tools for Architects [Electronic Source] – URL: <https://architizer.com>.
14. AROSU. Artistic Robotic Surface Processing for Stone [Electronic Source] – URL: <http://www.arosu.eu/consortium>.
15. ATP architekten ingenieure [Electronic Source] – URL: <https://www.atp.ag/>
16. Barkow Leibinger. Gesellschaft von Architekten mbH. [Electronic Source] – URL: <https://barkowleibinger.com>.
17. Bond Bryan Ltd - Architecture, Design, Strategy [Electronic Source] – URL: <https://bondbryan.co.uk>.
18. Brook, T. UK CO2 Down To Pre-1890 Levels! [Electronic Source] – URL: <https://curious.earth/blog/uk-co2-levels-pre-1890/>. (Date of Access: 03.2018).

19. Datei:Saechsische Porzellanmanufaktur [Electronic Source] – URL: https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Saechsische_Porzellanmanufaktur.jpg. (Date of Access: 02.2018).
20. DETAIL - Magazine of Architecture + Construction Details [Electronic Source] – URL: www.detail.de.
21. Dezeen. architecture and design magazine [Electronic Source] – URL: <https://www.dezeen.com>.
22. Divisare. Atlas of Architecture [Electronic Source] – URL: <https://divisare.com>
23. European Union Prize for Contemporary Architecture - Mies van der Rohe Award [Electronic Source] – Access Mode: <https://miesarch.com>.
24. Fagor Automation Triumphs With Its Additive Pack For The CNC 8065 [Electronic Source] – URL: <https://www.addimat.es/en/news/fagor-automation-triumphs-with-its-additive-pack-for-the-cnc-8065>.
25. Foster + Partners: Architectural Design and Engineering Firm. Landscape and Structural Architecture Projects [Electronic Source] – URL: <https://www.fosterandpartners.com/projects>.
26. Graham, C. Intelitek FMS stands alone at GESS in Dubai [Electronic Source] – URL: <https://intelitek.com/2014/03/17/intelitek-fms-gess-2014/>. (Date of Access: 03.2018).
27. GRIMSHAW - Grimshaw Architects [Electronic Source] – URL: <https://grimshaw.global>.
28. Heinze. Das führende Bauportal für Produktinformationen, Herstellerdaten, Firmenprofile und Architekturprojekte [Electronic Source] – URL: <https://www.heinze.de>.
29. HENN Architects [Electronic Source] – URL: <http://www.henn.com/en>.
30. Industrial Cybersecurity [Electronic Source] – URL: <https://new.siemens.com/us/en/company/topic-areas/cybersecurity/industrial-cyber-security.html> (Date of Access: 05.2018).
31. Industrie 4.0 verbreitet sich eher schleppend [Electronic Source] – URL: <https://industrie.de/top/4662/> (Date of Access: 02.2018).
32. Ingenhoven architects [Electronic Source] – URL: <https://www.ingenhovenarchitects.com>.
33. Lind M. Necessity of the Digital Twin & Digital Thread [Electronic Source] – URL: <https://gpdisonline.com/wp-content/uploads/2017/11/Aras-MarcLind-NecessityOfTheDigitalTwinAndDigitalThread-MBSE-Open.pdf> (Date of Access: 05.2018).
34. Marr, B. 5 Major Robotics Trends To Watch For in 2019 [Electronic Source] – URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/03/08/5-major-robotics-trends-to-watch-for-in-2019/?sh=1963d15f5650>. (Date of Access: 02.2018).
35. Newman, D. Five ways Robots will Benefit Future Industries [Electronic Source] – URL: <https://blogs.3ds.com/northamerica/five-ways-robots-will-benefit-future-industries/> (Date of Access: 04.2018).

36. Pinterest. Discover recipes, home ideas, style inspiration and other ideas to try [Electronic Source] – URL: www.pinterest.co.uk.
37. Rappaport, N. Vertical Urban Factory. – NY: Actar Publishers, 2019. – 480 p.
38. Reddit: the front page of the internet [Electronic Source] – URL: <https://www.reddit.com>.
39. RMA Rainer Müller Architekten [Electronic Source] – URL: <https://www.rma-architekten.de>.
40. Robotforum [Electronic Source] – URL: <http://robotforum.ru>
41. Rogers Stirk Harbour + Partners. Projects [Electronic Source] – URL: <https://www.rsh-p.com/projects>.
42. Royal Institute of British Architects [Electronic Source] – URL: <https://www.architecture.com>.
43. Stasilovich, S. Augmented Reality: Staying Ahead in Your Industry [Electronic Source] – URL: <https://blog.issart.com/augmented-reality-staying-ahead-industry/>. (Date of Access: 03.2018).
44. Winning, A. New cybersecurity solution for legacy industrial control systems [Electronic Source] – URL: <https://www.eenewsautomotive.com/news/new-cybersecurity-solution-legacy-industrial-control-systems> (Date of Access: 05.2018).
45. World-Architects. Profiles of Selected Architects [Electronic Source] – URL: <https://www.world-architects.com/en>.
46. YouTube. Video sharing company [Electronic Source] – URL: <https://www.youtube.com/>.
47. 건축문화. Architecture and Culture. A&C [Electronic Source] – URL: <https://anc.masilwide.com>.