

Рассмотрен вопрос о необходимости развития принципиально новой концепции промышленной архитектуры – «интеллектуальная фабрика». Перечислены факторы, влияющие на архитектурные решения современных предприятий. Сформулированы и раскрыты принципы формирования архитектуры «интеллектуальных фабрик». Даны примеры производственных объектов, удовлетворяющие обозначенным принципам. Сделан вывод о положительном влиянии этих принципов на архитектуру высокотехнологичных промышленных объектов.

**Ключевые слова:** интеллектуальная фабрика, современная промышленная архитектура, устойчивая архитектура, гуманизация производственной среды, функциональная диверсификация.

The article considers the need to develop a fundamentally new concept of industrial architecture – "smart factory". The factors that influence the architectural solutions of contemporary enterprises are listed. The principles of forming the architecture of "smart factories" are formulated and unveiled. Examples of production facilities that meet these principles are given. The conclusion about the positive impact of these principles on the architecture of high-tech industrial facilities is made.

**Keywords:** smart factory; contemporary industrial architecture; sustainable architecture; humanization of the production environment; functional diversification.

# Архитектура «интеллектуальных фабрик» / The architecture of "smart factories"

текст  
Алёна Дмитриева /  
text  
Alena Dmitrieva

## Введение

Глобальные климатические, экономические и социальные изменения, происходящие в современном мире, тенденции и прогнозы развития высокотехнологичных отраслей производства вызывают потребность в качественно новой промышленной архитектуре и производственной среде.

В настоящее время наиболее передовой и перспективной стратегией организации производства является концепция «интеллектуальной фабрики» (smart factory, factory of the future) [1, p. 7]. «Интеллектуальная фабрика» (далее ИФ) – это цифровизированный гибкий и эффективный производственный объект, выпускающий высокотехнологичную продукцию. Функциональная и производственная организация и эксплуатация такого предприятия основываются на технологиях Четвертой промышленной революции. С архитектурной точки зрения ИФ (как и любое другое «интеллектуальное здание») включает в себя не только продуманные архитектурные и конструктивные решения, системы управления жизненными циклами здания, трансляции и визуализации информационных потоков, но и решения, отвечающие за безопасность, энерго- и ресурсоэффективность, гибкость, эргономику и комфорт [2]. Несмотря на то, что уже сегодня существуют производственные, экономические и бизнес модели ИФ, архитектурно-композиционные концепции их реализации отсутствуют. Однако, в результате исследования автором было установлено, что архитектура всех ИФ базируется на общих принципах.

## Теория

Выявлен ряд факторов, под влиянием которых возникает необходимость в формировании новой архитектуры промышленных предприятий. К ним относятся:

1. Неоиндустриализация – возвращение национальных предприятий из развивающихся стран – становится устойчивой тенденцией наших дней. Роль центров новой индустриализации берут на себя крупные города, в которых наблюдается рост числа предприятий, внедряющих прогрессивные технологические операции. А для успешного и эффективного функционирования этих промышленных предприятий должны быть найдены новые пути их взаимодействия с окружающей городской средой [3].

2. Четвертая промышленная революция и передовые технологии, такие как автономная роботизация, аддитивное производство, киберфизические системы, Интернет вещей и дополненная реальность ведут к стремительному и радикальному изменению процессов производства [4]. Использование этих технологий открывает новые возможности для архитектуры производственных объектов.

3. Разработка и реализация программ по созданию высокотехнологичного производства будущего были начаты во многих странах мира. Например, программа «Industrie 4.0» в Германии, «Advanced Manufacturing Partnership» – в США и план «Made in China 2025» в Китае. В России в 2014 году также была создана программа «Национальная технологическая инициатива», объединяющая сферы науки и бизнеса и определяющая перспективные направления внедрения высоких технологий [5]. Несмотря на имеющиеся различия этих программ в разных странах, все они подразумевают проектирование и строительство качественно новых промпредприятий.

4. Становление современного цифрового общества (общество 5.0), стремительная автоматизация и цифровизация не только новейшей промышленности, но и всех сфер повседневной жизни населения всего мира формируют новое представление о высокотехнологичной продукции, о ее разработке, производстве, обслуживании, эксплуатации и утилизации. Повсеместная кастомизация производства побуждает производителей уделять особое внимание привлечению новых клиентов, работе с заказчиками, сервисному пост-обслуживанию. Эти тенденции, в свою очередь, оказывают влияние на функционально-планировочные решения современных промышленных объектов.

5. Рост потребления электроэнергии высокотехнологичными производствами, конечность запасов нефти и газа как традиционных энергоносителей, глобальное обострение экологической обстановки вынуждают производственные предприятия обращаться к концепции устойчивого развития и активно внедрять элементы «зеленой архитектуры». Применение технологий Индустрии 4.0 делает производства более экологически безопасными, а интеграция энергоэффективных и энергосберегающих решений в архитектуру производственных объектов значительно уменьшает их негативное воздействие



на окружающую среду, способствует более выгодной с экономической точки зрения эксплуатации и гармоничному сосуществованию этих объектов с окружающей средой.

б. Увеличивается потребность современных высокотехнологичных предприятий в квалифицированных сотрудниках. Растет значимость социальных аспектов рабочей среды. Мировые тенденции по либерализации и демократизации трудовых отношений ведут к сближению условий труда «белых и синих воротничков». Все эти аспекты требуют формирования новой качественной и комфортной производственной среды, эстетически привлекательного визуального образа промышленной архитектуры.

Чтобы установить, как на практике эти причины влияют на формирование архитектуры современных высокотехнологичных предприятий, автором было отобрано несколько десятков объектов: предприятия точного машиностроения и приборостроения, сборочные фабрики, объекты по производству электрооборудования, а также ряд высокотехнологичных предприятий по выпуску другой продукции, находящиеся в городской среде. Были изучены объекты в России, странах Европы, Америки и Азии, построенные в период с начала XXI века по настоящее время. Комплексный многофакторный анализ этих объектов проводился по следующим позициям: специфика функционального зонирования, архитектурно-композиционные и объемно-планировочные решения, строительные параметры и конструктивные решения, соответствие концепции устойчивого развития и особенности формирования производственной среды.

В результате анализа была определена тенденция к уменьшению общей площади предприятий. Все изученные объекты отличаются лаконичностью и компактностью объемно-композиционных решений. Кроме того, отмечено, что различные приемы устойчивой архитектуры воплощены в большей части рассмотренных объектов. Были выявлены различия в основных строительных параметрах и функциональных программах. Последнее обусловлено увеличением числа основных направлений деятельности предприятий с целью повышения их эффективности и рентабельности.

Проведенный анализ позволил выявить те тенденции и направления проектирования архитектурно-композиционной структуры и функционально-пространственной организации современных высокотехнологичных производственных зданий, на основе которых автором сформулированы пять основных принципов формирования архитектуры ИФ.

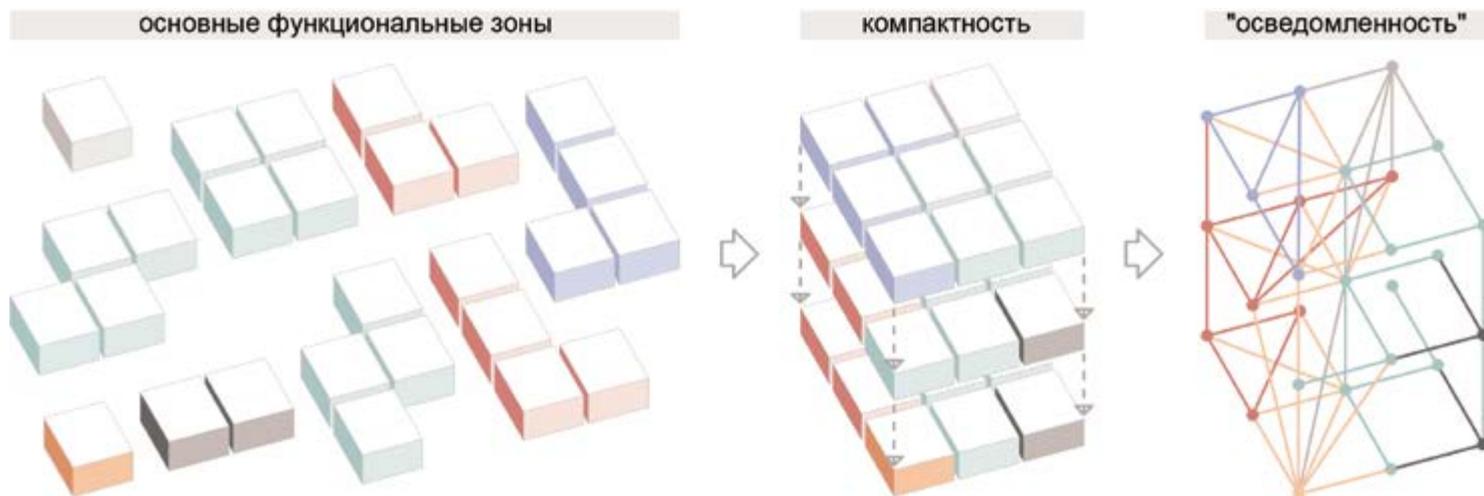
#### Функциональная диверсификация

Интеграция офисных, научно-исследовательских и социально-рекреационных функций в структуру производственных предприятий является широко распространенным явлением. Но специфика современного общества потребления и тенденция к персонализации продукции размывают границы между сферами производства и предоставления услуг, поэтому в функциональную структуру ИФ органично включаются различные сервисные составляющие, например, представительские и демонстрационные функции, отделы продаж и обслуживания. Постоянное ускорение научно-технического прогресса приводит к регулярной модернизации оборудования и изменениям технологий производства. В связи с этим сотрудники предприятий должны непрерывно получать новые знания, совершенствовать свою квалификацию и даже осваивать новые профессии. Это явление получило название «обучение длиною в жизнь» (lifelong learning) [6], для осуществления которого в производственные объекты внедряются функции тренинга и обучения. Рост энергопотребления актуализирует вопросы энергетической безопасности и бесперебойного снабжения производства электричеством. Для обеспечения этого требования новые помещения, в которых размещаются силовые установки, интегрируются непосредственно в структуру производственных зданий.

Таким образом, на ИФ расширяется номенклатура видов деятельности и появляются новые функции, не свойственные традиционным промышленным объектам. В контексте данного исследования это явление получило название функциональной диверсификации.

Реализация этого принципа осуществляется как переход от монофункциональности к полифункциональности, от доминирования производственной функции к паритетному размещению нескольких функционально-техно-

^ Рис. 1. Уровни функциональной диверсификации ИФ



^ Рис. 2. Формирование оптимальной компактности ИФ

логических зон в структуре одного производственного здания. Было выделено три возможных уровня функциональной диверсификации ИФ: низкий, средний и высокий (рис. 1). Низкий уровень функциональной диверсификации предполагает, что зона производства занимает доминирующее положение в структуре объекта, в то время как остальные функции представлены в минимальном объеме, достаточном для нормальной работы. Средний уровень предполагает, помимо производства, еще одно направление деятельности ИФ в качестве основного, а оставшиеся функциональные зоны оказываются подчиненными по отношению к ним. Высокий уровень подразумевает равноправное сосуществование трех и более функций в одном производственном объекте, а также более широкий набор второстепенных и дополнительных площадей.

Наиболее эффективными для функционирования высокотехнологичных предприятий являются средний и высокий уровни функциональной диверсификации; они же обладают более сложной объемно-планировочной структурой.

#### Многофакторная гибкость-адаптивность

В условиях стремительного развития технологий жизненно важное значение приобретают гибкость и адаптивность внутреннего пространства ИФ для новых производственных нужд, технологий, промышленного оборудования и инженерных систем [7, с. 15–16; 8, с. 264–264]. Гибкость – это возможность вариативного использования помещений для размещения различных функций и оборудования, а также возможность быстрой и малозатратной перепланировки без внесения капитальных изменений в структуру производственного объекта. Принцип многофакторной гибкости выходит за границы производственной зоны и предполагает возможность трансформации организационной, социальной и даже эстетической составляющих. С позиций многофакторной гибкости процесс строительства понимается уже не как однонаправленное действие по возведению неизменяемого объекта, а как одна из стадий жизненного цикла здания, допускающего возможность его частичной трансформации и демонтажа в процессе эксплуатации

или даже полной деконструкции по истечению срока службы.

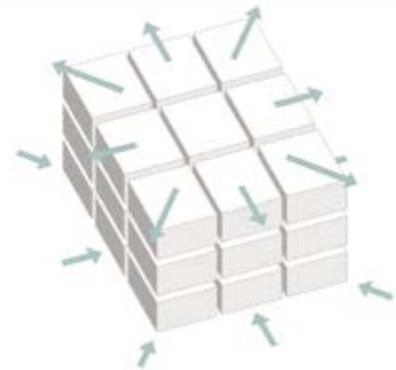
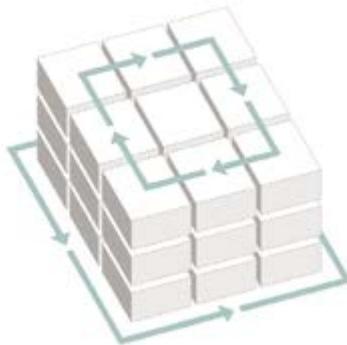
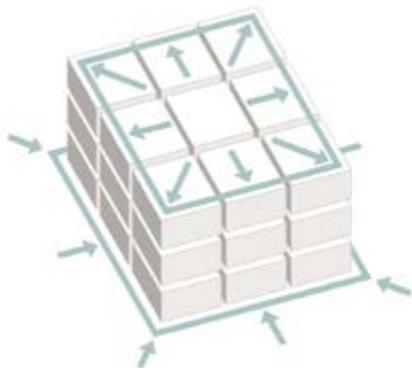
Для реализации принципа адаптивности используется совокупность традиционных и новых приемов формирования архитектуры ИФ. В целом, традиционные приемы состоят в выборе наиболее рациональных конфигураций помещений, габаритов несущих конструкций, мест и способов трассировки инженерных сетей. Новые способы обеспечения гибкости заключаются в следующих решениях:

- освоение всего пространства этажа (в том числе и высоты) и увеличение этажности объекта;
- замена ряда стационарных компонентов сборно-разборными структурами;
- межсистемная модульность – согласованность размеров и габаритов, частей и целого за пределами одной подсистемы (производственно-технологической и конструктивной);
- унификация элементов инженерного обеспечения;
- организация эффективного и равномерного естественного освещения внутреннего пространства.

Применение многофакторной гибкости позволяет быстрее и эффективнее адаптироваться ко всем внутренним (функционально-технологическим) и внешним (социально-экономическим) изменениям и увеличить период комфортного и рентабельного функционирования производственного здания. А экономические затраты на обеспечение многофакторной гибкости полностью покрываются снижением расходов на адаптацию объекта в процессе эксплуатации.

#### Оптимальная компактность

Соблюдение принципа компактности вызвано необходимостью размещения высокотехнологичных производственных предприятий преимущественно в городах и городских агломерациях в условиях сложившейся застройки. С одной стороны, «городская» локация обеспечивает ряд преимуществ: близость к потребителям, источникам инноваций и высококвалифицированным трудовыми ресурсам. С другой – отсутствие свободных участков достаточной площади и необходимой конфигурации побуждает к поиску компактных объемно-плани-



ровочных решений. Принцип оптимальной компактности согласуется с общей тенденцией к уменьшению площадей новейших производственных предприятий. Компактная организация внутреннего пространства способствует созданию «осведомленности»<sup>1</sup>, увеличению числа функциональных связей, коммуникаций и росту межличностного общения [9, pp. 94–96, 114]. Компактность обеспечивает построение кратчайших технологических цепочек, сокращает протяженность инженерных сетей (рис. 2).

Кроме того, оптимальная компактность является одним из основных аспектов формирования устойчивой архитектуры. С позиций «устойчивости» компактность объемно-планировочных решений вызвана возможностью энергосбережения за счет минимизации теплообмена с окружающей средой через ограждающие конструкции, путем сокращения поверхности «оболочки» при сохранении требуемых площади и внутреннего объема здания.

### Энергоэффективность и экологическая ответственность

В связи с постоянным ухудшением экологической обстановки во всем мире принцип энергоэффективности и экологической ответственности становится обязательным для всех типов современных архитектурных объектов. Более десяти лет назад Международным союзом архитекторов была разработана и принята программа «устойчивой архитектуры» – концепция развития архитектуры в рамках стратегии устойчивого развития [10]. А сегодня активно развиваются и совершенствуются различные системы рейтинговой оценки и сертификации зданий с позиций «устойчивости» (DGNB в Германии, LEED в США, BREEAM в Великобритании и Зеленые Стандарты в России). Если еще в начале XXI века существовали только единичные примеры «устойчивых» производственных объектов, то сейчас в мире насчитываются уже тысячи сертифицированных предприятий [11, p. 50].

Энергоэффективность и экологическая ответственность заключаются в гармоничном сосуществовании архитектурных объектов и живой природы, эффективном расходовании ресурсов, сохранении окружающей среды для будущих поколений и удовлетворении социально-экологических потребностей человека на протяжении

всего времени существования архитектурного объекта. Этот принцип включает в себя три аспекта реализации (рис. 3):

- превентивная составляющая представляет собой совокупность мер по предотвращению негативного воздействия на окружающую среду в результате эксплуатации ИФ, а также неблагоприятного влияния внешнего климата на внутреннюю среду объекта;

- компенсационный аспект включает в себя действия по восполнению энергетических затрат, потерь природных и других ресурсов в ходе строительства, эксплуатации и возможной последующей трансформации или деконструкции объекта;

- стимулирующая компонента состоит в реализации архитектурных и инженерно-технических решений, создающих положительное влияние объекта на окружающую среду и природное разнообразие, на энерго- и ресурсосбережение на ИФ.

Энергоэффективность и экологическая ответственность – это важнейший принцип, соответствовать которому должны архитектурные сооружения любых функциональных типов. Но наиболее актуален этот принцип при проектировании, строительстве и эксплуатации именно производственных зданий, так как именно промышленные объекты потребляют наибольшее количество энергии и других ресурсов, одновременно являясь источником разного рода негативных воздействий на окружающую среду.

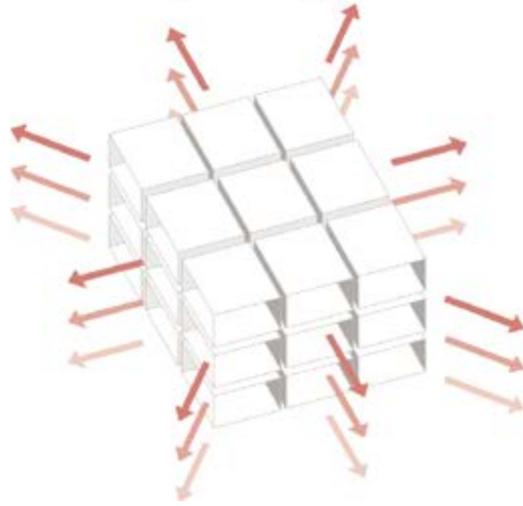
### Социальная экстраверсия

В условиях непрерывных трансформаций производства (автоматизация, усложнение и диджитализация производственных процессов) и социальных изменений (демократизация, толерантность и индивидуализация) растет значимость интеллектуальных способностей отдельной личности и человеческого капитала в целом. Социально-гуманистические, этические и эстетические аспекты формирования архитектурной среды промышленных предприятий приобретают особое значение. Таким образом формируется принцип социальной экстраверсии, который состоит в создании позитивного психологического и физиологического влияния ар-

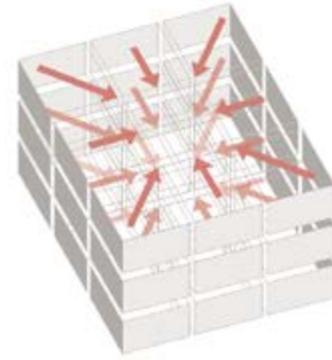
^ Рис. 3. Три аспекта принципа энергоэффективности и экологической ответственности ИФ

1. «Осведомленность» (awareness) – вовлечение в производственный процесс и информированность всех сотрудников предприятия обо всех новациях и изменениях, происходящих на предприятии.

## внешняя социальная дружелюбность



## внутренняя социальная дружелюбность



> Рис. 4. Два направления социальной экстраверсии ИФ

хитектурного объекта ИФ на человека – сотрудника, посетителя или стороннего наблюдателя; в гуманизации и демократизации производственной среды и формировании высокой коммуникативности («осведомленности») пространства [12, с. 12].

Автором выделено два направления реализации этого принципа: внешний и внутренний (рис. 4). Внутренняя социальная экстраверсия отвечает за создание максимально комфортной, эргономичной и безопасной внутренней среды для организации плодотворной работы всех сотрудников предприятия вне зависимости от должности и характера труда. Так как продолжительная высокая производительность труда невозможна без отдыха и разных видов межличностных коммуникаций, при реализации внутренней социальной экстраверсии особое внимание должно быть уделено проектированию различных типов рекреационных и коммуникационных пространств [13, р. 34–40].

Внешняя социальная экстраверсия предполагает визуальную и физическую «открытость» объекта и его территории, обращение вовне и взаимодействие с окружающими его элементами, дружелюбность в отношении «соседей» и сторонних наблюдателей. Реализация этой составляющей осуществляется за счет благоустройства территории, повышения экологической безопасности и эстетической выразительности архитектуры.

В результате соблюдения принципа социальной экстраверсии на ИФ [14, р. 46]:

- повышается производительность труда, формируются мотивация сотрудников;
- кадровый состав пополняется квалифицированными рабочими, востребованными на современном высокотехнологическом производстве;
- повышается конкурентоспособность предприятий в борьбе за рынки сбыта, клиентов и партнеров;
- формируется позитивный имидж современного промышленного предприятия;
- создается уникальный архитектурный образ, отличающий ИФ от объектов других функциональных типов.

Рассмотренные выше принципы формирования архитектуры ИФ взаимосвязаны и гармонично дополняют друг друга. А их комплексное соблюдение синтезирует

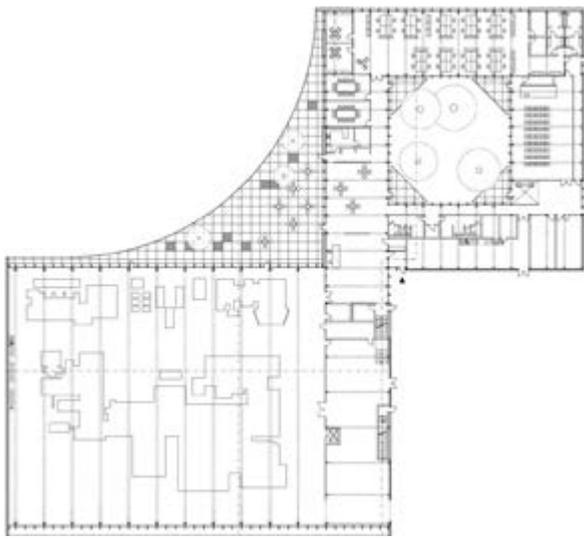
синергетический эффект – взаимное усиление положительного влияния отдельных аспектов при взаимодействии в системе.

#### Практика

Архитектура ИФ – это промышленная архитектура ближайшего будущего. Сегодня в мировой архитектурной практике существует не так много примеров высокотехнологичных производственных предприятий, которые включают в себя все или большую часть из синтезированных выше принципов. В целом, хотя и с определенной степенью условности, такие объекты можно отнести к ИФ.

Новая «умная фабрика» производителя лазерных станков «TRUMPF» (арх. бюро **Barkow & Leibinger Architects, США, 2017**) совмещает в себе функции производственного предприятия и выставочного павильона, а также административно-офисные и ряд сопутствующих функций. Здесь функциональность и экономичность сочетаются с высоким качеством архитектурных решений и эстетической выразительностью. Предприятие, оснащенное автоматизированным, подключенным к промышленному Интернету оборудованием, на практике демонстрирует достижения Индустрии 4.0. Вся технологическая цепочка – от заказа металлической заготовки и ее разработки до производства и доставки – осуществляется и экспонируется как целостный интеллектуальный процесс.

Производственное здание является архитектурным аттрактором на фоне окружающей промышленной застройки. «Умная фабрика» состоит из двух почти квадратных в плане объемов: производственно-демонстрационного зала на юге, офисов, кафетерия, конференц-зала и подсобных помещений на севере (рис. 5, б). Эти два объема соединяются по диагонали, создавая незамкнутые дворики с обеих сторон. Общая скатная кровля (высота здания составляет от 4,5 до 13 м) наклонена вглубь участка к водоему, аккумулирующему осадки и поверхностные стоки с прилегающей территории. Южный, полностью остекленный фасад производственно-выставочного объема позволяет увидеть технологическое оборудование, находящееся внутри. Производственно-демонстрационный зал перекрыт одиннадцатью металлическими ферма-



^ Рис. 6. «Умная фабрика» «TRUMPF». План 1 этажа.  
Фото с сайта <https://www.archdaily.com>



^ Рис. 7. «Умная фабрика» «TRUMPF». Интерьер производственного зала.  
Фото с сайта <https://www.archdaily.com>

ми с длиной пролета около 45 метров. В уровне нижнего пояса ферм расположен смотровой галерея-мост, пройдя по которому посетители могут более подробно познакомиться со всеми производственными процессами и оборудованием, расположенным в зале.

Во внешней отделке элегантно сочетаются облицовка из патинированных панелей кортеновской стали и фрагменты сплошного остекления. В интерьерах использованы металлические конструкции, окрашенные в черный цвет, бетонные наливные полы, отделка стен широкоформатными металлическими и деревянными панелями. Контрастные строительные материалы и высокое качество обработки поверхностей создают комфортное и функциональное пространство для логичной и гармоничной взаимной интеграции производства и выставки (рис. 7).

Инновационная продукция требует инновационных стратегий производства, а «инновационная фабрика» по производству мехатронных систем «WITTENSTEIN» (арх. бюро Henn Architects, Германия, 2014) является отличной иллюстрацией этого высказывания (рис. 8). Отделы разработок, продажи, маркетинга и производственные функции сосредоточены под одной крышей настолько компактно, что полный цикл создания новой продукции – от первоначальной идеи до серийного производства – происходит в пределах 30-метрового радиуса. Благодаря этому плодотворному сближению различных функциональных зон прогнозируется сокращение сроков выполнения проектов на 30%.

Габариты несущих конструкций и открытая структура пространства позволяют размещать в производственных помещениях изменяемые технологические процессы (рис. 9). Многочисленные открытые пространства, меблированные для отдыха, и небольшие конференц-залы положительно влияют на интенсивность и продуктивность делового и неформального общения. С внутренних галерей многоуровневого коммуникационного пространства открываются панорамные виды на интерьеры объекта: просторные, светлые помещения, в которых созданы оптимальные условия для инновационных, производственных процессов. Максимальное естественное освещение, полное кондиционирование и увеличенный воздухообмен способствуют формированию комфортной



^ Рис. 5. «Умная фабрика» «TRUMPF». Общий вид.  
Фото с сайта <https://www.archdaily.com>

рабочей среды. Большое значение придается созданию «вдохновляющей атмосферы» – все рабочие места, предназначенные и для персонала, занятого на производстве, и для работающего в офисе, спроектированы одинаково качественно. Просторные и открытые помещения, светопрозрачные перегородки и мобильные офисные компоненты гарантируют эффективное взаимодействие между сотрудниками и максимальную гибкость пространства.

Основной целью компании «WITTENSTEIN» было создание эффективной «умной фабрики», полностью соответствующей концепции устойчивого развития. Тройное остекление, собственная когенерационная теплостанция и система из фотоэлектрических панелей на крыше являются лишь небольшой частью целостной экологической и экономической концепции. Экологически безопасные и сертифицированные строительные материалы, отказ от использования монтажной пены – вот только несколько примеров «устойчивых» архитектурных решений. Значительные инвестиции в ресурсосберегающие и энергоэффективные мероприятия окупались благодаря сокращению эксплуатационных расходов вдвое.

Новая «умная фабрика» «Future Stitch» (арх. бюро AZL Architects, Китай, 2018) может выпускать весь широкий ассортимент кастомизированных изделий американской компании «Stance». Помимо самого производства в здании размещаются дистрибьюторский центр, офисные и лабораторные помещения. Несмотря на полное соответствие объемно-планировочных решений требованиям производственного процесса и цепочкам

> Рис. 8. «Инновационная фабрика» «WITTENSTEIN». Общий вид. Фото с сайта <http://www.henn.com/en#design>



> Рис. 9. «Инновационная фабрика» «WITTENSTEIN». Интерьер производственного помещения. Фото с сайта <http://www.henn.com/en#design>



поставок, в структуре здания нашлось место и для расширенных социальных функций. В центре объекта спроектировано многосветное циркуляционное пространство, доступное для всех служащих и посетителей фабрики, которое одновременно играет роль художественной галереи. На стенах экспонируются яркие постеры, картины и фотографии всех сотрудников предприятия (рис. 10). Во внутреннем дворе на эксплуатируемой кровле, помимо озелененных рекреационных зон, расположена полноценная баскетбольная площадка.

Прогнозируя будущее стремительное развитие и расширение производства, организованы максимально гибкие пространства цехов – цельные открытые помещения без перегородок с квадратной сеткой колонн 10 × 10 м. С этой же целью эвакуационные лестницы и коридоры вынесены за пределы основного объема здания. Выкрашенные в ярко-красный цвет, они напоминают извилистые горные тропы на лаконичных серых фасадах фабрики (рис. 11, 12).

Расширенная функциональная программа и большая площадь объекта (26,8 тыс. кв. м) потребовали особого внимания к сценариям перемещения внутри здания. Через главный вход, расположенный по центру восточного фасада, посетители и офисные сотрудники попадают в атриум – художественную галерею, минуя зоны исследований и разработок с особым режимом конфиденциальности. Рабочие, занятые на производстве, могут воспользоваться дополнительным входом с южного

фасада, откуда организован кратчайший доступ к санитарно-бытовым помещениям и производственным зонам. При этом все желающие (сотрудники и посетители) имеют доступ на эксплуатируемую кровлю для отдыха и общения во время перерыва или в конце рабочего дня.

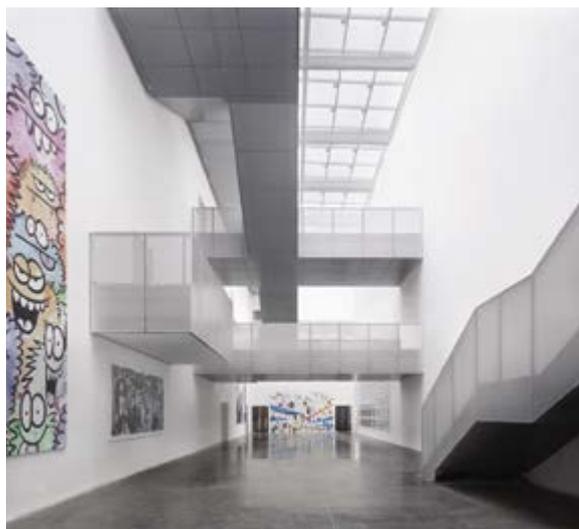
#### Заключение

Архитектура промышленных предприятий должна рассматриваться как одна из важнейших составляющих производственного процесса. Вслед за знаменитым промышленным архитектором XX века Альбертом Каном можно сказать, что «форма следует за производительностью» (*form follows performance*), способствуя высокой продуктивности производства, сокращению эксплуатационных расходов, созданию гуманной среды, формированию корпоративной идентичности и эстетизации внешнего вида предприятия. Обозначенные в статье принципы архитектурной организации новейших производственных зданий наиболее полно отражают специфику технологического прогресса, современных и будущих форм организации производства, а также общие тенденции развития цифрового общества и глобальные экологические изменения. Эти принципы в достаточной степени универсальны и, помимо высокотехнологичных производств и ИФ, применимы к широкому спектру типов производственных зданий и сооружений. Рациональные архитектурные решения новейших производственных объектов, основанные на вышеизложенных принципах, будут способствовать формированию эффективных и глобально конкурентоспособных предприятий, станут основой их продолжительного существования и развития.

#### Литература

1. Burke R., Mussomeli, A., Laaper, St., Hartigan, M., Sniderman, Br. The smart factory: Responsive, adaptive, connected manufacturing. – New York: Deloitte University Press, [2017]. – 24 p. – URL: <https://docplayer.net/56014630-The-smart-factory-responsive-adaptive-connected-manufacturing.html> (дата обращения: 06.05.2020)
2. Волков, А. А. Интеллект зданий: формула // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 3. – С. 54–57
3. Hatuka, T., Ben-Joseph, E., Peterson, S. M. Facing Forward: Trends and Challenges in the Development of Industry in Cities // Built Environment. – 2016. – № 1 (43). – P. 145–155

в Рис. 12. «Умная фабрика» «Future Stitch». План по уровню антресолей 1 этажа. Фото с сайта <https://www.archdaily.com>



< Рис. 10. «Умная фабрика» «Future Stitch». Интерьер атриума. Фото с сайта <https://www.archdaily.com>

в Рис. 11. «Умная фабрика» «Future Stitch». Общий вид. Фото с сайта <https://www.archdaily.com>

4. Шваб, К. Четвертая промышленная революция – Москва: Эксмо, 2016. – 138 с.
5. Фабрики будущего. – URL: <https://technet-nti.ru/article/fabriki-budushchego> (дата обращения: 06.05.2020)
6. Моченов, А., Федулова, В. Будущее рынка труда: после 2020-го. – URL: <https://www.if24.ru/totalnyj-diktant-kak-vsemirnoe-obrazovatelnoe-sobytie-pr-proekta/> (дата обращения: 06.05.2020)
7. Газарьян, Р. К. Принципы формирования адаптивной архитектуры научно-исследовательских информационных центров: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры. – Москва, 2013. – 29 с.
8. Морозова, Е. Б. Архитектура промышленных объектов: прошлое, настоящее и будущее. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 316 с.
9. Allen, TH. J., Henn, G. W. The Organization and Architecture of Innovation: Managing the Flow of Technology – Oxford (UK): Butterworth – Heinemann, 2006. – 136 p.
10. Кокс, Л. Копенгагенская декларация 7 декабря 2009 года // Проект Байкал. – 2011. – №27. – С. 42–43. – URL: <http://www.projectbaikal.com/index.php/pb/issue/view/27/70> (дата обращения: 06.05.2020)
11. Caterino, J. Green Industrial // Architect. – 2011. – № 1. – P. 50–58
12. Ковалев, В. А. Проблемы промышленной архитектуры: гуманистический аспект. – Москва: О-во «Знание» РСФСР, 1989. – 40 с.
13. Wagner, J., Watch, D. Innovation Spaces: The New Design of Work. – Washington: The Brookings Institution, 2017. – 64 p. – URL: [https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2017/04/cs\\_20170404\\_innovation\\_spaces\\_pdf.pdf](https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2017/04/cs_20170404_innovation_spaces_pdf.pdf) (дата обращения: 06.05.2020)
14. Corporate architecture. – Innsbruck: ATP architects and engineers, 2007. – 76 p.

#### References

- Allen, TH. J., & Henn, G. W. (2006). The Organization and Architecture of Innovation: Managing the Flow of Technology. Oxford (UK): Butterworth – Heinemann.
- Burke R., Mussomeli, A., Laaper, St., Hartigan, M., & Sniderman, Br. (2017). The smart factory: Responsive, adaptive, connected manufacturing. New York: Deloitte University Press. Retrieved May 06, 2020 from <https://docplayer.net/56014630-The-smart-factory-responsive-adaptive-connected-manufacturing.html>
- Caterino, J. (2011). Green Industrial. Architect, 1, 50–58.
- Corporate architecture (2007). Innsbruck: ATP architects and engineers.
- Cox, L. (2011). Copenhagen Declaration as of December 7, 2009. Project Baikal, 8(27), 42-43. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.27.356>



- Fabriki budushchego [Factories of the future]. (n.d.). Retrieved May 06, 2020 from <https://technet-nti.ru/article/fabriki-budushchego>
- Gazar'yan, R. K. (2013). Principy formirovaniya adaptivnoy arhitektury nauchno-issledovatel'skih informacionnyh centrov: avtoref. dis. kand [Principles of forming adaptive architecture of research information centers: cand. dis. thesis]. Moscow.
- Hatuka, T., Ben-Joseph, E., & Peterson, S. M. (2016). Facing Forward: Trends and Challenges in the Development of Industry in Cities. Built Environment, 1(43), 145-155.
- Kovalev, V. A. (1989). Problemy promyshlennoj arhitektury: humanisticheskij aspekt [Problems of industrial architecture: humanistic aspect]. Moscow: Obshchestvo "Znanie" RSFSR.
- Mochenov, A., & Fedulova, V. (2018, February 27). Budushchee rynka truda: posle 2020-go [The Future of the labor market: after 2020]. Retrieved May 06, 2020 from <https://www.if24.ru/totalnyj-diktant-kak-vsemirnoe-obrazovatelnoe-sobytie-pr-proekta/>
- Morozova, E. B. (2003). Arhitektura promyshlennyh ob'ektov: proshloe, nastoyashchee i budushchee [Architecture of industrial facilities: past, present and future]. Minsk: UP «Tekhnoprint».
- Shvab, K. (2016). Chetvertaya promyshlennaya revolyuciya [Fourth industrial revolution]. Moscow: Eksmo.
- Volkov, A. A. (2012). Intellekt zdaniy: formula [The intelligence of buildings: formulation]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 3, 54-57.
- Wagner, J., & Watch, D. (2017). Innovation Spaces: The New Design of Work. Washington: The Brookings Institution. Retrieved May 06, 2020 from [https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2017/04/cs\\_20170404\\_innovation\\_spaces\\_pdf.pdf](https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2017/04/cs_20170404_innovation_spaces_pdf.pdf)