

# ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ: СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

**Фисенко А.А., Бассе М.Е.**

*Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия*

## **Аннотация**

Статья посвящена актуальной сегодня проблеме повышения энергоэффективности зданий, в частности промышленной архитектуры. В статье дан краткий обзор современных теоретических разработок по теме. На основе обобщения теории вопроса сформулированы основные средства повышения энергоэффективности зданий. Приведены примеры применения энергоэффективных решений, как в зарубежной, так и в отечественной практике промышленного строительства.

**Ключевые слова:** промышленная архитектура, энергоэффективные технологии, формообразование, реконструкция промышленных предприятий

## **ENERGY EFFICIENCY OF INDUSTRIAL ARCHITECTURE: MODERN THEORY AND PRACTICE**

**Fissenko A.A., Basse M.E.**

*Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia*

## **Abstract**

Article is devoted to a problem of increase of power efficiency of buildings actual today, in particular industrial architecture. In article the short review of modern theoretical development on a subject is given. on the basis of synthesis of the theory of a question fixed assets of increase of energy efficiency of buildings are formulated. Examples of application of power effective decisions both in foreign and in domestic practice of industrial construction are given.

**Keywords:** industrial architecture, energy effective technologies, form shaping, reconstruction of the industrial enterprises

Проблема повышения энергоэффективности архитектуры является сегодня одной из наиболее актуальных и разрабатывается в рамках нескольких современных направлений архитектурной мысли. Одним из ведущих направлений в этой области является разработка принципов устойчивой архитектуры. Другим направлением является теория ориентированного на жизненные циклы проектирования и строительства.

Все подобные передовые направления имеют общие черты. В первую очередь это снижение негативного влияния на экосистемы, комплексное проектирование с учетом всех факторов жизнедеятельности с целью создания устойчивых систем. Анализ основных тенденций развития архитектуры позволяет выявить основные направления и мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности архитектуры.

## **Основные направления повышения энергоэффективности производства:**

Сокращение потребления энергии, выработанной на основе ископаемых природных ресурсов:

- Изменение технологий;
- Сокращение потерь энергии при доставке потребителем;
- Сокращение потерь энергии, потребляемой на обогрев;
- Сокращение потребления энергии на производство строительных материалов;
- Повторное применение избыточного технологического тепла;
- Использование излишков тепла на обогрев помещений прочих производств, бытовых и административных помещений;
- Использование излишков тепла для выработки энергии.

Существенным отличием промышленной архитектуры является необходимость учета технологических особенностей производств. Зарубежными специалистами предложены схемы и методики комплексного проектирования, и систем моделирования и расчета ожидаемого эффекта с учетом технологической и производственной специфики.

В недавнем прошлом основными требованиями при проектировании промышленных предприятий являлись гибкость зданий и пригодность к расширению производств. Сегодня на первый план выходят энергоэффективность и оптимизация циклических затрат (себестоимость жизненных циклов производственных единиц, оборудования, конструктивных элементов, строительных материалов).

Одним из центров изучения данной проблематики является Технический Университет в Вене, Австрия. В университете разработана подобная система моделирования и оценки, учитывающая три группы основополагающих исходных данных: Здание, Энергию и Производственный процесс (Рис. 1).

**Таблица 1. Методика проектирования**

Здание	Энергия	Оборудование, Производство
↓	↓	↓
Область исследования Промышленное строительство	Область исследования Термодинамика	Область исследования Средства производства
Решения: – Архитектурные – Конструктивные – Биофизические – Организационные (ОС)	– Измерения – Анализ данных – Интегральное моделирование зданий – (Производство, Здания, Инженерные системы)	– Измерения – Анализ данных – Оптимизация производства – Моделирование энергоэффективного производства
↓	↓	↓
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выработка единых требований к моделированию и оценке</li> <li>• Единая база данных</li> <li>• Разработка моделей фрагментов</li> <li>• Оценка моделей фрагментов</li> <li>• Интегральное моделирование</li> </ul>		

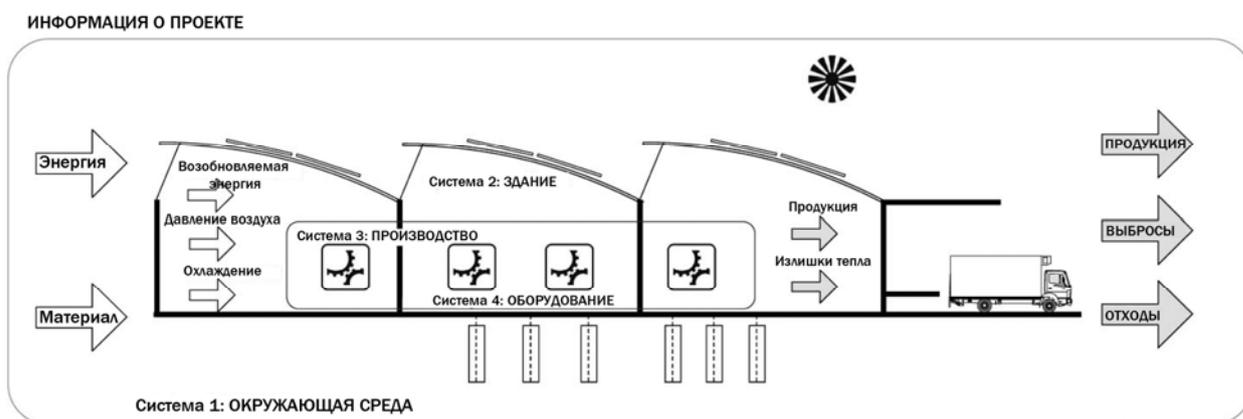


Рис. 1. Схема интегрального моделирования

Комплексное рассмотрение всех факторов на предпроектной стадии и глубокий анализ возможностей их взаимодействия является основным условием в достижении цели проектирования энергоэффективных производственных зданий.

Основные мероприятия, направленные на повышение эффективности промышленной архитектуры можно условно поделить на две группы – архитектурные и технические.

**Архитектурные средства** повышения энергоэффективности зданий:

- Экономия искусственного света (применение безбликового естественного освещения, шедовые фонари северной ориентации).
- Повторное использование тепла системами вентиляции (композиционными средствами).
- Применение естественной вентиляции.

**Технические средства** повышения энергоэффективности зданий:

- Использование альтернативных источников энергии.
- Применение тепловых насосов.
- Снижение температуры отопительных систем.
- Улучшенная теплоизоляция фасадов и кровель.
- Применение грунтовых вод для систем охлаждения и технических нужд.
- Экологические строительные материалы.
- Предпочтительное применение местных строительных материалов (деревянные конструкции кровель).
- Централизованное управление вентиляционными системами и перекачивающими насосами.
- Использование избыточного технологического тепла.

Это разделение является в значительной степени условным. Применительно к промышленной архитектуре многие из обозначенных направлений характеризуются комплексностью решений, поставленные задачи решаются в таких случаях как архитектурными, так и техническими средствами.

Применение **верхнего освещения** для обеспечения освещенности по всей ширине производственных зданий всегда было одним из ключевых и наиболее характерных приемов промышленной архитектуры. В период 1970-1980 годов применение данного конструктивного решения сократилось, что было связано с техническими и эксплуатационными сложностями. В начале 21 века стала очевидна необходимость возврата к широкому применению верхнего освещения.

**Свето-аэрационные фонари** совмещают в себе две ключевые функции – не только дополнительное освещение, но и естественную вентиляцию. Удачными примерами такого конструктивного решения могут служить многие отечественные производственные здания второй четверти 20 века.

**Сплошное остекление** ограждающих конструкций это еще один пример конструктивных решений, временный отказ от которых доказал их незаменимость и практичность. На современном этапе архитекторы придают особое значение также визуальному контакту с окружающей средой, достигаемой посредством применения не только светопрозрачных ограждений, но и ландшафтному решению прилегающих территорий.

Благодаря развитию строительной промышленности сегодня архитекторы владеют большим арсеналом конструктивных решений, что позволяет более свободно размещать административно-бытовые помещения в структуре производственных зданий. Грамотное, технологически оправданное взаиморасположение основных производственных и вспомогательных помещений служит оптимизации затрат на отопление бытовых пристроек.

Размещение административно-бытовых помещений внутри структуры производственных зданий позволяет не только повысить доступность и комфорт рабочих мест, но и оптимизировать затраты на обогрев помещений, системы вентиляции и кондиционирования (Рис. 2).

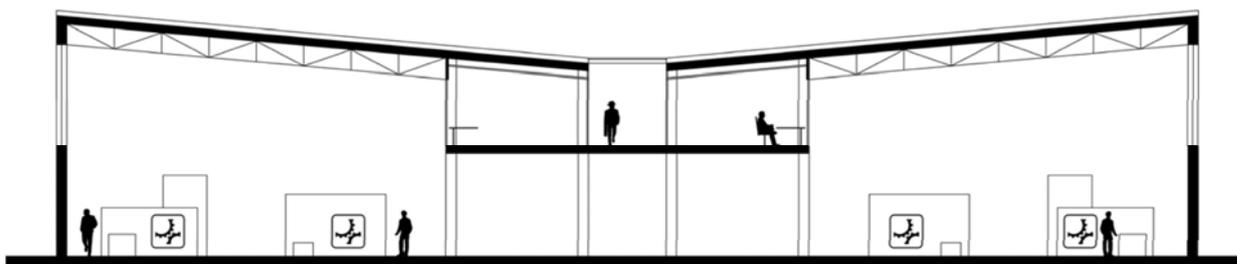


Рис. 2. Встроенные административно-бытовые помещения

Зарубежная практика строительства энергоэффективных зданий в последнее десятилетие характеризуется стремительным развитием и массовым распространением новых технологий в строительстве. Этому способствует не только более высокая степень развития техники и технологии, но и более осознанная экологически ориентированная позиция не только правительств, но и граждан наиболее экономически развитых стран. Наибольшее распространение энергоэффективные технологии получили в жилом строительстве, особенно в странах северной Европы.

Опыт разработки принципов и применения на практике энергоэффективного промышленного строительства наиболее полон в экономически развитых странах центральной Европы и США. За прошедшее десятилетие число реализованных проектов превышает несколько сотен. Рассмотрим наиболее значительные и характерные из них.

### **Зеленый гараж в Чикаго, США, — Greenway Self Park**

В Чикаго построен первый гараж с ветровыми турбинами, коллекторами дождевой воды и розетками для электромобилей (Рис. 3(a,b)).

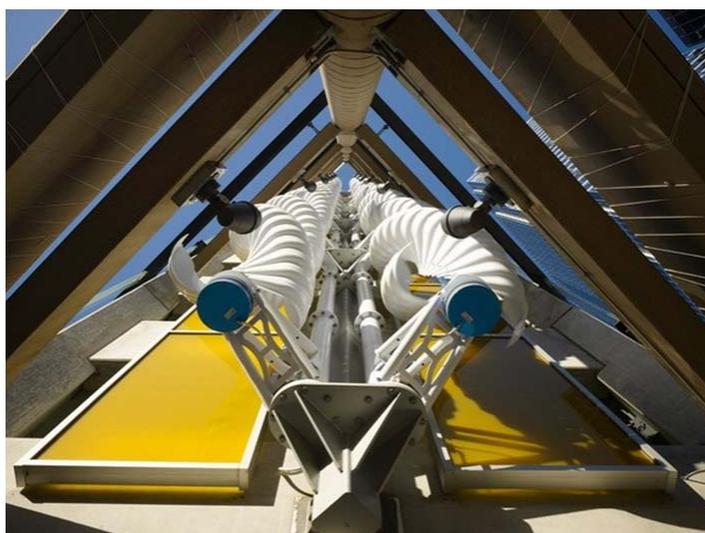
Первый "зеленый" гараж в Чикаго разработан компанией HOK Designs. Здание уже получило сертификат LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Greenway Self Park состоит из одиннадцати уровней и находится неподалеку от River North.

Наиболее примечательная часть постройки - 12 пар ветровых турбин, расположенных в юго-западном углу гаража. Энергия ветряков расходуется на освещение фасада. Специальный счетчик учитывает электроэнергию, которую гараж возвращает в городскую электросеть.

Остекленные стены Greenway Self Park прорезают вентиляционные щели, соединяющие внутреннее пространство гаража с улицей. Вертикальная конструкция ветряков открывается прямо на улицу. Прозрачные стены не скрывают интерьер. В планах проектировщиков устройство «зеленой кровли». Конструктивного элемента, позволяющего не только оптимизировать теплотехнические показатели покрытия кровли, но и обеспечивающего сбор дождевой воды. Энергоэффективность здания достигается в данном случае применением **альтернативных источников энергии, использованием дождевой воды** для хозяйственных нужд.



a)



b)

Рис. 3(a,b). Зеленый гараж в Чикаго, США: а) внешний вид; б) внутренние конструкции

### ***Завод Форд Ривер Руж в Детройте, США***

В результате начатой в 2000 году реконструкции завод, именуемый теперь Форд Руж Центр, является, с одной стороны, современным гибким производством. С другой стороны, включает в себя прогрессивные экологические технологии, приводящие в соответствие нужды автомобильного производства с современными социальными и экологическими требованиями. Сегодня этот завод Форд является крупнейшим экологически ориентированным производственным объектом.

Автором проекта реконструкции является американский архитектор Уильям МакДонат (William McDonough), основатель архитектурного бюро Уильям МакДонат и партнеры (William McDonough + Partners). Проектирование экологически устойчивых зданий и реконструкция промышленных предприятий являются основными в деятельности фирмы.

На момент начала работы над проектом за заводом Форд в Ривер Руж закрепилось название «коричневая зона». Заводская территория была полностью лишена зеленых насаждений. Возвращение естественной природы на эту промышленную территорию стало генеральной идеей данного проекта. В основу проекта было положено сохранение первоначально заложенных планировочных структур, пространственное взаимопроникновение производственных и экологических технологий и организация

пешеходного бульвара в зоне соприкосновения заводской и городской территорий (Рис. 4(a,b)).



Рис. 4(a,b). Завод Форд, Детройт, США (Проект реконструкции)

По проекту реконструкции завода новые производственные линии размещаются в старом кузовном цехе (74300 кв.м.) и цехе окончательной сборки (92900 кв.м.). В существующие здания была органично вписана современная технологическая линия по производству специальных грузовиков. При этом авторы проекта подчеркнуто отказались от привычной трактовки производственного здания как «коробки для машины», исторически сложившего американского стереотипа. Основной целью реконструктивных мероприятий стало включение зданий в естественный ход экологических процессов и повышение комфорта труда на производстве.

Центральным элементом в проекте реконструкции завода стало создание «Зеленой кровли» над сборочным цехом. По оценкам экспертов полезным эффектом от этой кровли станут:

- Сбор воды в объемы 2000 кубометров в год, что составляет 50% годовой нормы осадков.
- Улучшение качества воздуха на всей территории завода на 40%.
- Составляет 25% площади всего озеленения территории предприятия.

«Живая кровля», покрывающая 42 тысячи квадратных метров кровли сборочного цеха, крупнейшая в мире, является основным звеном новой централизованной заводской системы очистки и оборота ливневых стоков. Система позволяет аккумулировать и использовать до половины годовых дождевых стоков. В тоже время зеленая кровля является местом обитания разнообразных представителей живой природы, позволила сократить энергозатраты и является защитной мембраной для конструкций кровли от влияния перегрева и ультрафиолетового излучения (Рис. 5).

С целью повышения качества рабочих мест на заводе применены «световые экраны», обеспечивающие дополнительное освещение рабочей зоны дневным светом. Зоны проходов, помещения отдыха и приема пищи подняты выше уровня рабочей зоны – на антресоли.

В здании цеха окончательной сборки применена новая система вентиляции. Эта бесканальная система смешивает теплый воздух в верхней части помещений с прохладным воздухом, с целью создания оптимальной температуры в рабочей зоне. Здание непосредственно действует как один гигантский вентиляционный канал, создавая оптимальное давление воздуха во внутренних помещениях. Система включает в себя

резервуар для хранения одного миллиона галлонов воды. В течение лета охлажденная вода в резервуаре охлаждает здание более эффективно, чем использование традиционного механического оборудования. Вся вышеописанные мероприятия вместе значительно повышают степень комфортности рабочих мест на производстве.



Рис. 5. Завод Форд, Детройт, США (Сборочный цех, общий вид)

Разработанный для реализации на протяжении более двух десятилетий, проект предусматривает возможность проводить продолжительные реконструктивные мероприятия без остановки производства.

Проект реконструкции также предусматривает озеленение Миллер Роад (Miller Road), организацию автомобильного проезда вдоль восточной границы завода, в качестве озелененного общественного бульвара, выдвигая на первый план промышленный характер застройки территории завода.

Реконструированный промышленный комплекс стал центром инновационных исследований. Исследователи обрабатывают опыт более десятка заводов, которые активно используют технологии рециркуляции почвы и воды. На территории завода в Ривер Руж сооружены опытный «демонстрационный» участок, площадью 1,6 акров, и исследовательская лаборатория на участке склада отходов коксовой печи.

### ***GreenHouse завод компании Herman Miller, Холланд, Мичиган, США***

Другим примером производственного здания, построенного с применением принципов устойчивой архитектуры, является «Зеленый дом» - производственное здание с офисом всемирно известной мебельной фабрики Херман Миллер, построенное в 2005 году.

«Зеленый дом» является яркой иллюстрацией того, как устойчивая архитектура способствует не только улучшению физического и психического здоровья своих обитателей, но и служит повышению корпоративного духа и производительности труда при применении ее в промышленном строительстве.

Новое здание административно-производственного комплекса фабрики Херман Миллер визуально вписано и «встроено» в участок. Во всех административных и производственных помещениях обеспечен максимальный доступ естественного дневного света и свежего воздуха, что позволяет улучшить условия пребывания и позитивно сказывается на здоровье и настроении людей, находящихся в этих помещениях.

Энергоэффективность здания в данном случае обеспечивается **большой площадью бокового остекления и широким использованием естественной вентиляции**, как в производственных, так и в административно-бытовых помещениях (Рис. 6(a,b)).



a)



b)

Рис. 6(a,b). Завод Херманн Миллер, Холланд, США: а) зенитный фонарь в производственной зоне; б) сплошное остекление в коммуникационно-рекреационной зоне

### **Завод БМВ Спартанбург, США**

Энергоэффективность производства на заводе БМВ в Спартанбурге, США, достигается применением **альтернативного источника энергии**. Таким источником здесь служит энергетическая газовая установка, работающая на органическом газе мусорного полигона, расположенного в 4 километрах от территории завода (Рис. 7).



Рис. 7. Завод БМВ в Спартанбурге, США (Газовая энергетическая установка)

### **Завод SEAT (концерн Фольксваген) в Морторель, Испания**

Крупнейшая в мире **энергетическая установка, работающая на солнечной энергии**, сооружена на автомобильном заводе в Мортореле, Испания. Суммарная мощность установки составляет 4 МВт. Особо следует отметить размещение установки. Авторы проекта смогли совместить здесь две функции, кроме источника энергии, установка создает дополнительное затенение на территории парковки. Удачный пример совмещения технических и архитектурных средств повышения энергоэффективности производства (Рис. 8).



Рис. 8. Завод Сеат, Морторель, Испания (Солнечные батареи над стоянкой автомобилей)

### Отечественный опыт

Отечественная практика промышленного строительства в меньшей степени включена в процесс внедрения энергоэффективных технологий. Комплексных реконструкций, аналогичных вышеописанным зарубежным примерам, в нашей стране пока не проводилось.

Ряд предприятий машиностроения прилагали усилия к повышению энергоэффективности производств, однако, результат достигался исключительно техническими средствами.

Для ряда предприятий **«Объединенной авиастроительной компании»** были разработаны программы повышения энергоэффективности производств. Основными средствами стали такие мероприятия, как:

- Внедрение систем автоматического регулирования отопления в цехах.
- Модернизация вентиляционных установок.
- Сокращение потерь тепла через ворота (ангаров).
- Локальное освещение рабочих зон.

В производственных цехах машиностроительных предприятий, где высота помещений превышает 10 и более метров, все большее распространение получают лучевые инфракрасные обогреватели. Экономия электроэнергии при этом существенна. Эффект основан на принципе работы подобных обогревателей, не нагревающих воздух в помещении, а обогревающих непосредственно людей, работающих в помещении. Этот вид отопительных приборов применен в цехах **Уральского машиностроительного завода** и других крупных предприятиях тяжелого машиностроения (Рис. 9).

Все эти мероприятия вносят некоторый вклад в достижение цели повышения энергоэффективности производства, однако, проведение комплексных реконструкций с применением архитектурных средств потенциально дадут значительно больший эффект.

Несмотря на то, что современный опыт применения энергоэффективных решений в промышленной архитектуре невелик, в нашей стране есть производственные здания, соответствующие основным требованиям, предъявляемым к энергоэффективным зданиям.

Лучшими примерами здесь являются основные цехи крупнейших машиностроительных предприятий периода 1930-х годов. Такими заводами являются автомобильный завод имени Лихачева в Москве, Горьковский автомобильный завод и многие другие

предприятия, проекты которых были разработаны в 1930-х годах в проектно-институте Промстройпроект.



Рис. 9. УЗТМ, Екатеринбург, РФ (Инфракрасные тепловые установки в цехе)

Выработанные в ходе масштабного промышленного строительства периода индустриализации страны принципы промышленной архитектуры в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым современным производственным зданиям. Конструктивные и объемно-планировочные решения цехов обеспечивают оптимальные технико-экономические и эксплуатационные показатели (Рис. 10), (Рис. 11).



a)



b)

Рис. 10. ГАЗ, Нижний Новгород, РФ: а) внешний вид; б) инструментальный цех

Получившие широкое применение свето-аэрационные фонари типа «Понд» и «Баттерфляй», сплошное остекление боковых ограждающих конструкций, обеспечивают достаточную освещенность рабочих мест без применения дополнительного искусственного освещения.

Оптимально подобранные габариты зданий в сочетании со свето-аэрационными фонарями обеспечивают достаточную естественную вентиляцию и комфортные условия рабочих мест даже в горячих цехах.



a)



b)

Рис. 11. ЗИЛ, Москва, РФ: а) внешний вид; б) прессовый цех

Не менее важной отличительной чертой, характеризующей эти здания, являются выразительность, индивидуальность образов и высокое качество архитектурных решений.

### **Заключение**

Энергоэффективность промышленного производства является сегодня одной из актуальных задач. Достижение поставленной цели возможно не только путем внедрения специальных технических решений. Существенный вклад должен быть внесен архитектурными средствами.

Энергоэффективные архитектурные решения, кроме прочего, являются частью таких современных направлений, как устойчивая архитектура и архитектура, ориентированная на жизненные циклы.

Основными средствами повышения энергоэффективности промышленной архитектуры являются:

- максимальное использование естественного света – зенитные фонари, сплошное остекление вертикальных ограждающих конструкций;
- максимальное использование естественной вентиляции – аэрационные фонари;
- вторичное использование воды для технических нужд – очистные сооружения, резервуары для дождевых и грунтовых вод;
- рекуперация, вторичное использование технологических излишков тепла – объемно-планировочные решения, взаимная компоновка различных производств.

В истории отечественной промышленной архитектуры есть примеры, в значительной степени удовлетворяющие современным требованиям, в том числе в части энергоэффективности зданий.

Изучение не только зарубежных, но и отечественных современных теоретических разработок и практического опыта позволят достичь поставленной цели – повышения энергоэффективности производственных зданий.

## Литература

1. Бассе М.Е. Принципы устойчивой архитектуры в практике промышленного строительства за рубежом // Устойчивая архитектура: настоящее и будущее: тезисы докладов международного симпозиума. – М., 2011. – С. 99.
2. Бумаженко О.В. Энергоэффективное (экологическое) строительство // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – М., 2002. – №1.
3. Габриель И., Ладенер Х. Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома. - СПб: БХВ-Петербург, 2011.
4. Кологривова Л.Г., Ковтун О.В. Энергосберегающие решения энергоэффективных зданий // Промышленное и гражданское строительство, 2004. - №6. - стр. 22-24.
5. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003.
6. Kovacic Iva. Energieeffizienz in Industriebau und Gewerbe – ein Gesamtkonzept. Wirtschaftskammer Wien, 2011.
7. Kovacic Iva. Energieeffizienz im Industriebau. Aspekte fuer eine lebenszyklusorientierte Planung. TGA FM/ 5/1A.
8. [Сетевой ресурс]. - URL: [www.archplatforma.ru](http://www.archplatforma.ru)
9. [Сетевой ресурс]. - URL: [www.energohelp.net](http://www.energohelp.net)
10. [Сетевой ресурс]. - URL: [www.minenergo.gov.ru](http://www.minenergo.gov.ru)

## References

1. Basse M.E. *Principy ustojchivoj arhitektury v praktike promyshlennogo stroitel'stva zarubezhom* [Principles of the sustainable architecture in a foreign industrial construction practice]. Sustainable architecture: present and future. Reports of international symposium. 2011, p. 99.
2. Bumazhenko O.V. *Jenergojefektivnoe (jekologicheskoe) stroitel'stvo* [Energy effective (ecological) construction]. Electronic magazine of power service company «Ecological systems». Moscow, 2002, no. 1.
3. Gabrijel' I., Ladener H. *Rekonstrukcija zdanij po standartam jenergojefektivnogo doma* [Reconstruction of buildings on standards of the energy effective house]. St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2011.
4. Kologrivova L.G., Kovtun O.V. *Jenergosberegajushhie reshenija jenergojefektivnyh zdanij* [Energy saving decisions of the energy effective buildings]. Industrial and civil construction, 2004, no. 6, p. 22-24.
5. Tabunshnikov Ju.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. *Jenergojefektivnye zdanija* [Energy effective buildings]. Moscow: AVOC-PRESS, 2003.
6. Kovacic Iva. Energieeffizienz in Industriebau und Gewerbe – ein Gesamtkonzept. Wirtschaftskammer Wien, 2011.

7. Kovacic Iva. Energieeffizienz im Industriebau. Aspekte fuer eine lebenszyklusorientierte Planung. TGA FM/ 5/1A.
8. Available at: [www.archplatforma.ru](http://www.archplatforma.ru)
9. Available at: [www.energohelp.net](http://www.energohelp.net)
10. Available at: [www.minenergo.gov.ru](http://www.minenergo.gov.ru)

#### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

##### **Фисенко А.А.**

кандидат архитектуры, профессор кафедры "Архитектура промышленных сооружений" Московского архитектурного института (государственной академии), Москва, Россия.  
e-mail: [afis43@mail.ru](mailto:afis43@mail.ru)

##### **Бассе М.Е.**

старший преподаватель кафедры "Архитектура промышленных сооружений" Московского архитектурного института (государственной академии) Москва, Россия.  
e-mail: [marbasse@gmail.com](mailto:marbasse@gmail.com)

#### **DATA ABOUT AUTHORS**

##### **Fissenko A.A.**

PhD in Architecture, professor, chair "Architecture of Industrial Structures" of Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia.  
e-mail: [afis43@mail.ru](mailto:afis43@mail.ru)

##### **Basse M.E.**

Senior lecturer, chair "Architecture of Industrial Structures" of Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia.  
e-mail: [marbasse@gmail.com](mailto:marbasse@gmail.com)