

Алексей Александрович ЛОЗОВСКИЙ,
старший преподаватель кафедры
"Организация строительства
и управление недвижимостью"
Белорусского национального
технического университета

Геннадий Васильевич ЗЕМЛЯКОВ,
проректор БНТУ,
кандидат технических наук,
доцент кафедры
"Организация строительства
и управление недвижимостью"
Белорусского национального
технического университета

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

ENERGY SAVING IN CONSTRUCTION INDUSTRY

В статье приведены анализ энергопотребления и структура расхода топливно-энергетических ресурсов в строительном производстве, представлена характеристика групп расхода энергоресурсов и энергосберегающих организационно-технологических мероприятий, рассмотрены особенности энергосбережения в процессе строительства объекта.

This paper presents the analysis of structure of the energy and fuel resources and power consumption in construction industry. The characteristics of the energy resources consumption groups and energy saving organizational and technological measures have been given. The peculiarities of energy saving in the process of constructing a project have been described.

ВВЕДЕНИЕ

Строительная отрасль в настоящее время является одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности Беларуси. Значительная доля энергозатрат приходится на сектор производства строительных материалов, в первую очередь цемента, извести, керамического кирпича и плитки, стекла, сборного железобетона, а также на эксплуатацию зданий и сооружений. В строительном производстве потребляется 4 % отраслевых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), выполняется большой объем необходимых строительных работ по возведению, ремонту, реконструкции, модернизации объекта и пр. Очевидно, что удельная энергоемкость строительной продукции зависит от суммарной величины расхода ТЭР при производстве строительных материалов, изделий и конструкций на предприятиях стройиндустрии и строительно-монтажных работ на стройплощадке.

Например, при использовании сборного железобетона взамен монолитного снижаются удельные энергозатраты на строительной площадке, однако увеличиваются расход стали и объем сварочных работ, что также является составляющими общей энергоемкости строительства. Таким образом, влияние на удельную энергоемкость строительства могут оказывать различные факторы, которые необходимо учитывать при выработке эффективных энергосберегающих решений. Использование методов системного подхода позволяет комплексно исследовать проблему энергосбережения в строительном производстве, выполнить анализ энергопотребления и выделить значимые факторы, влияющие на расход ТЭР.

С позиции системотехники расход энергоресурсов может рассматриваться как функционирование большой сложной вероятностной системы, называемой "Система расхода энергоресурсов в строительном произ-

водстве" (далее — "Система"), в которой взаимодействуют все энергопотребители ТЭР, участвующие в строительном процессе [1]. Основная цель "Системы" — обеспечение минимального расхода энергоресурсов в границах заданных или желаемых условий. Целевая функция "Системы" может быть описана выражением

$$C = \mathcal{E} \cdot k_{\mathcal{E}} + \mathcal{J} \cdot k_{\mathcal{J}} + \mathcal{G} \cdot k_{\mathcal{G}} + \mathcal{T} \cdot k_{\mathcal{T}} + \mathcal{X} \cdot k_{\mathcal{X}} + \mathcal{P} \cdot k_{\mathcal{P}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где \mathcal{E} — количество используемой электроэнергии;
 \mathcal{J} — количество используемого жидкого топлива;
 \mathcal{G} — количество расходуемого газообразного топлива;
 \mathcal{T} — количество расходуемого твердого топлива;
 \mathcal{X} — количество расходуемой энергии, получаемой за счет химических источников;
 \mathcal{P} — количество прочих используемых энергоресурсов;
 $k_{\mathcal{E}}, k_{\mathcal{J}}, k_{\mathcal{G}}, k_{\mathcal{T}}, k_{\mathcal{X}}, k_{\mathcal{P}}$ — коэффициенты перевода количества соответствующего вида энергоресурсов к единому измерителю.

В качестве критерия цели принимается рациональное потребление энергоресурсов, выраженное в конкретных физических единицах или же в единицах условного топлива. Практический опыт показывает, что часто приходится руководствоваться не одним, а несколькими критериями эффективности, т. е. задача выбора многокритериальна.

В "Системе" можно выделить ограничения, оказывающие влияние на ее функционирование и, соответственно, на принятые критерии эффективности. В каждом конкретном случае ограничения устанавливаются на основе изучения фактических условий функционирования системы.

Основными элементами "Системы" являются энергопотребители, в том числе строительные машины

и оборудование, оборудование и устройства для создания требуемых параметров микроклимата, технические средства, предназначенные для автоматизации процессов управления.

Для анализа энергопотребления в строительном производстве принято, что расход ТЭР в общем случае складывается из производственных затрат и потерь [2]. К первой группе относятся затраты, связанные с выполнением работы по заданию, и затраты, связанные с выполнением непредвиденных работ. В подгруппе затрат энергоресурсов, связанных с выполнением работ по заданию, выделяются затраты при работе энергопотребляющих устройств под полной и неполной нагрузками и при работе вхолостую. Ко второй группе относится расход энергоресурсов, связанный с различного рода потерями. В этой группе выделены следующие подгруппы потерь, связанных:

- с технологией и организацией строительства;
- с выполнением случайной и лишней работы;
- с нарушением трудовой дисциплины.

Снижения расхода ТЭР можно добиться за счет уменьшения каждой из этих составляющих путем реализации соответствующих энергосберегающих мероприятий. Оптимизация "Системы" по критерию минимума расхода энергоресурсов может осуществляться как путем воздействия на ее элементы, так и путем совершенствования самой системы. При этом большое значение приобретают связи между элементами системы, в том числе значительное влияние могут оказать синергетические связи, придающие системе свойства эмерджентности [3].

Детальный анализ энергопотребления в строительном производстве позволил выявить составляющие расхода ТЭР, которые были объединены по признаку их функционального назначения в отдельные группы (рис. 1), в том числе [4–7]:

- группа Э₁ — расход энергоресурсов на транспортные нужды;
- группа Э₂ — расход энергоресурсов на технологические нужды;
- группа Э₃ — расход энергоресурсов на создание требуемых параметров микроклимата и комфортных условий пребывания людей в помещениях;

— группа Э₄ — расход энергоресурсов на соблюдение мер по технике безопасности, охране труда и окружающей среды;

— группа Э₅ — расход энергоресурсов на автоматизацию процессов управления;

— группа Э₆ — расход энергоресурсов на бытовые нужды;

— группа Э_м — расход энергоресурсов на прочие нужды.

В каждой группе выделены отдельные подгруппы расхода ТЭР, а в каждой подгруппе определены значимые факторы, влияющие на расход энергоресурсов [8–12]. Так, в группе Э₂ можно выделить следующие подгруппы:

Э₂₁ — расход энергоресурсов на выполнение земляных работ. Земляные работы характеризуются значительной стоимостью и трудоемкостью. В промышленном строительстве они составляют около 15 % стоимости и 18 %–20 % трудоемкости общего объема работ. Механизация строительства, переход от ручного труда к машинному свидетельствуют о высокой энергоемкости земляных работ в процессе строительства [13]. В большинстве случаев расход энергоресурсов при выполнении земляных работ в зимнее время резко возрастает. Однако иногда отрицательные температуры наружного воздуха могут и положительно сказаться на расходе ТЭР, например, при необходимости выполнения усиления грунтов и водопонижения уровня грунтовых вод;

Э₂₂ — расход энергоресурсов на выполнение строительно-монтажных работ. Монтаж строительных конструкций является ведущим технологическим процессом в строительном производстве, который включает расход энергоресурсов, связанный с [8–12]:

— работой грузоподъемных и грузопассажирских машин и механизмов для подачи материалов и конструкций к месту их использования и установки в проектное положение, перемещения рабочих к месту производства работ и т. д.;

— работой машин и оборудования для приготовления, транспортирования, укладки и уплотнения товарных смесей;

— работой ручных машин, электро- и газосварочного оборудования, механизированного инструмента, необходимой для соблюдения технологии производства строительно-монтажных работ и сокращения сроков их выполнения;

— работой соответствующего оборудования для обеспечения требуемых параметров микроклимата в помещениях или заданном объеме, включающей: оттаивание и сушку материалов, изделий и конструкций, твердение вяжущих, адгезию, высыхание и т. д. Этот вид затрат обуславливается требованиями принятой технологии выполнения работ в конкретных производственных условиях и их величина может колебаться в определенных пределах;

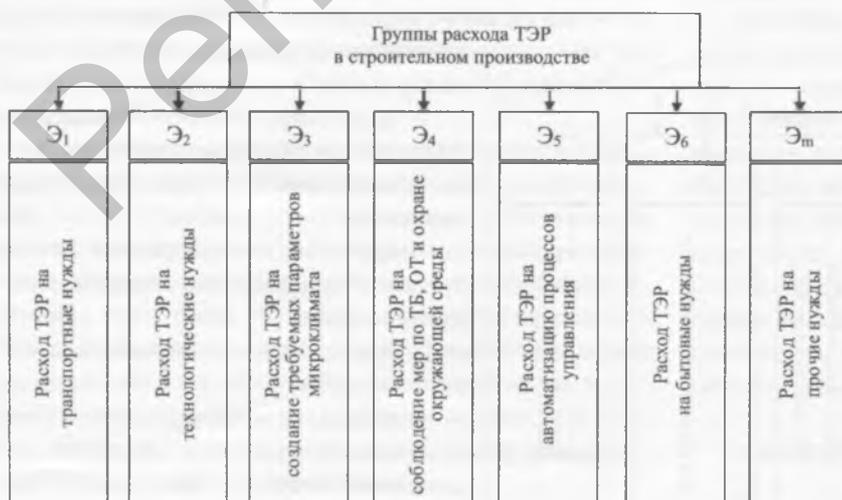


Рис. 1. Группы расхода ТЭР в строительном производстве

\mathcal{E}_{23} — расход энергоресурсов при выполнении отделочных и других работ. Отделочные работы являются одним из завершающих этапов строительства. Трудоемкость их составляет около 30 % общих трудовых затрат, а стоимость достигает 20 % общей стоимости строительства. Это обусловлено высокой энергоемкостью отделочных работ, связанной с [8–12]:

- работой различных машин и механизированного инструмента с целью увеличения механизации ручного труда. К основным потребителям энергоресурсов в данной подгруппе можно отнести машины для штукатурных работ (штукатурные станции, насосы, агрегаты и пр.), малярных работ (передвижные шпательные и окрасочные агрегаты, краскопульты и пр.), машины для устройства полов (виброрейки, машины для заглаживания полов, мозаично-шлифовальные и строгальные машины и пр.), машины для выполнения гидроизоляционных работ (передвижные станции, посредством которых механизуется разгрузка мастичных материалов и их разжижение с последующей подачей и нанесением на поверхность распыливанием, горелки для разогрева покровного мастичного слоя до температуры плавления и пр.);

\mathcal{E}_{24} — расход энергоресурсов при вводе в эксплуатацию объекта строительства и наладке технологического оборудования;

\mathcal{E}_{2n} — расход энергоресурсов на прочие технологические нужды.

В подгруппах этой группы были выделены следующие факторы, влияющие на величину расхода энергоресурсов.

В подгруппе \mathcal{E}_{21} [8–12]:

- объем выполняемых работ;
- принятая технология и организация выполнения работ;
- комплект используемых машин и механизмов;
- условия транспортировки и складирования разрабатываемого грунта;
- физико-механические свойства разрабатываемого грунта;
- степень подготовки грунта, разрабатываемого в холодное время года;
- температура воздуха окружающей среды;
- сменность выполнения работ;

- оптимальные температурно-влажностные параметры среды протекания технологических процессов;
- время года и фактические параметры воздушной среды;

- типы и производительность устройств и оборудования, обеспечивающих заданные параметры микроклимата;
- прочие факторы.

В подгруппе \mathcal{E}_{22} [8–12]:

- принятая технология монтажа строительных конструкций;

- организация строительной площадки;
- тип используемых грузоподъемных машин и механизмов;

- общая масса грузов и масса груза, подаваемого за один подъем;

- уровень организации труда работающих с грузоподъемными и транспортными механизмами и машинами;

- тип используемых строповочных и такелажных приспособлений;

- прочие факторы.

В подгруппе \mathcal{E}_{23} [8–12]:

- тип и производительность машин, механизмов и пр.;

- коэффициент использования мощности;

- возникновение технологических перерывов;

- холостая работа машин, механизмов и пр.;

- техническое состояние машин и механизмов, влияющее на величину расхода энергоресурсов;

- принятая технология и организация выполнения работ;

- прочие факторы.

Одним из перспективных направлений снижения энергоемкости строительного производства является разработка соответствующих организационно-технологических решений, которые должны учитывать все факторы, влияющие на величину расхода ТЭР [1, 2, 14]. С этой целью были выявлены, проанализированы и выделены в отдельные группы энергосберегающие организационно-технологические мероприятия, направленные на снижение расхода ТЭР в строительном производстве (рис. 2):

- группа M_1 — мероприятия, реализуемые при выборе объемно-планировочных и конструктивных схем объектов строительства;

- группа M_2 — мероприятия, реализуемые при календарном планировании строительства объектов;

- группа M_3 — мероприятия, реализуемые в процессе организационно-технологической подготовки строительства;

- группа M_4 — мероприятия, реализуемые в процессе производства строительных работ;

- группа M_5 — инновационные мероприятия;

- группа M_m — прочие мероприятия.

В каждой группе были выделены отдельные подгруппы мероприятий. Так, в группе M_3 выделены следующие подгруппы:

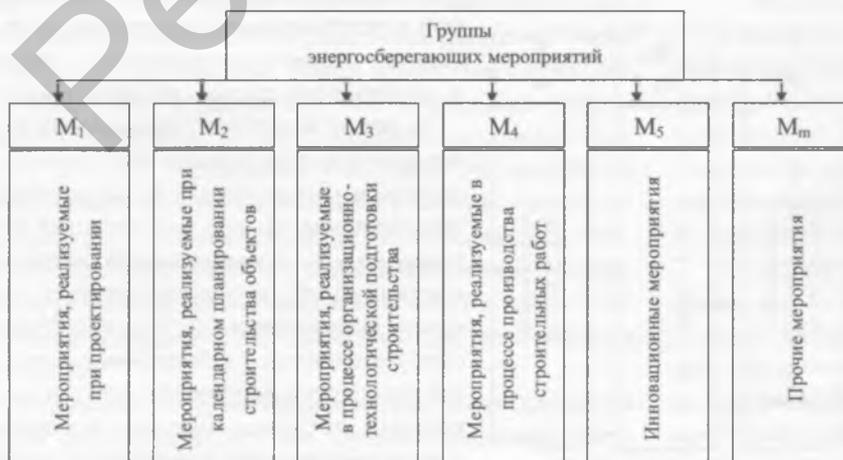


Рис. 2. Группы энергосберегающих мероприятий в строительном производстве

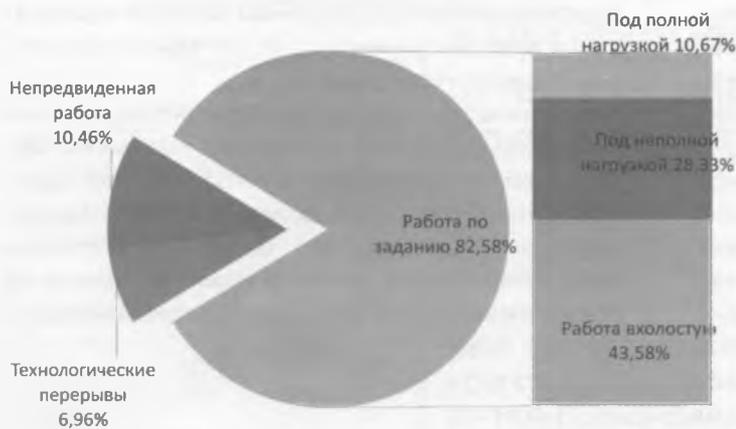
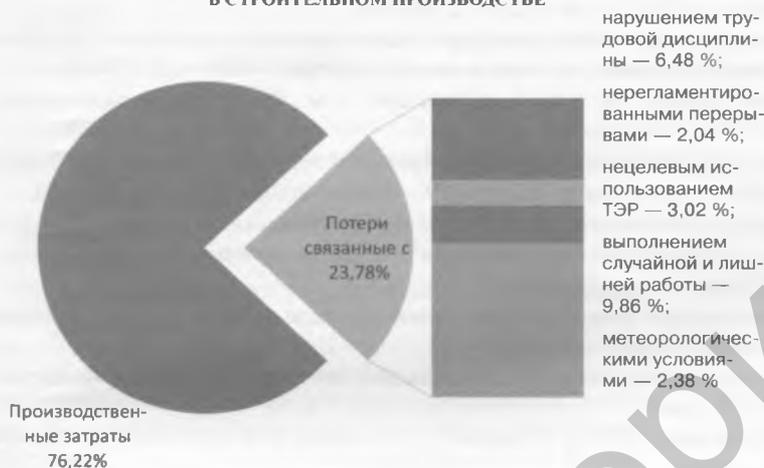
СТРУКТУРА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ ТЭР
В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕСТРУКТУРА ПОТЕРЬ (НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ) ТЭР
В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рис. 3. Структура расхода ТЭР в строительном производстве

M_{31} — разработка строительного генплана с учетом минимального расхода ТЭР на освещение, теплоснабжение, водоснабжение и пр.;

M_{32} — выбор эффективных, с точки зрения расхода ТЭР, временных зданий и сооружений, складских помещений, электро- и теплогенерирующих устройств и пр.;

M_{33} — учет при разработке ПОС и ППР мероприятий подгрупп M_1 и M_2 . Эти мероприятия позволяют использовать возможности, предусмотренные объемно-планировочными и конструктивными решениями объектов строительства, а также технические решения по системам отопления, вентиляции, кондиционирования, позволяющие создавать требуемые параметры микроклимата в заданном пространстве.

Комплекс взаимосвязанных мероприятий подгрупп M_{21} , M_{22} и M_{33} дает возможность не только в целом по организации, но и на отдельных объектах проводить оптимизацию расхода энергоресурсов по критерию минимизации энергозатрат путем изменения начала и сроков выполнения отдельных видов работ. Например, устройство монолитных фундаментов под технологическое оборудование можно выполнить как в процессе работ нулевого цикла, так и после. В этих условиях оптимальным будет вариант, при котором земляные и монолитные бетонные работы предусматривается выполнять в теплое время года;

M_{34} — выбор оптимально-энергоёмких типов машин и механизмов, с рациональным потреблением ТЭР;

M_{35} — выбор технологии производства работ на альтернативной основе с учетом критерия величины расхода энергоресурсов. Один и тот же вид работ может быть выполнен с использованием различных технологий, с различными инструментами, механизмами и приспособлениями. Практически каждая организация для большинства видов строительных работ имеет ряд альтернативных технологий. Оптимизация выбора по критерию величины расхода ТЭР может быть выполнена как на основе экспертных методов (логических рассуждений), так и с использованием методов математического программирования;

M_{3n} — прочие мероприятия, реализуемые в процессе организационно-технологической подготовки строительства.

Необходимо отметить, что не все энергосберегающие мероприятия могут подходить и быть эффективными для различных объектов строительства, в связи с отличительными условиями строительства каждого объекта. В данном случае можно лишь говорить о сопоставимых условиях строительства. Поэтому выбор энергосберегающих организационно-технологических мероприятий в каждом отдельном случае требует детальной проработки, должен иметь индивидуальный подход и основываться на анализе расхода ТЭР на всех этапах производства строительных работ.

Анализ эффективности энергопотребления можно проводить на основе разработанной методики выявления потерь и количественной

оценки нерационального расхода ТЭР — фотографии расхода энергоресурсов (далее — ФРЭ) [2]. Результаты ФРЭ могут быть основой при формировании энергосберегающих организационно-технологических мероприятий, которые в первую очередь должны быть направлены на устранение выявленных потерь и сокращение нерационального расхода энергоресурсов. На основе фотографии расхода ТЭР можно проанализировать текущий расход, сравнить его с нормируемым и скорректировать норму расхода энергоресурсов.

Практический опыт исследования энергопотребления, анализ результатов ФРЭ показывают, что согласно принятой структуре расхода ТЭР в строительном производстве преобладает группа производственных затрат, в которой наиболее весомыми являются затраты энергоресурсов при работе по заданию, в том числе при работе вхолостую и под неполной нагрузкой (рис. 3). Относительно велика доля затрат, приходящихся на непредвиденную работу и технологические перерывы. В группе потерь энергоресурсов преобладают потери, связанные с выполнением случайной и лишней работы, нарушением трудовой дисциплины, нецелевым использованием ТЭР и пр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1 Работа по энергосбережению в строительном производстве должна проводиться планомерно, учитывая

специфические условия объекта строительства, основываясь на реальных данных о расходе ТЭР в процессе производства строительных работ. Для повышения энергоэффективности строительного производства необходимо внимательно подходить к нормированию расхода ТЭР и соблюдению установленных норм.

2. Нерациональный расход ТЭР в строительном производстве связан прежде всего с повышенным расходом энергоресурсов при использовании мощной энергоемкой строительной техники, когда ее полезная мощность используется не эффективно. Напри-

мер, нередко случаи, когда для поднятия маловесных грузов используется монтажный кран большой грузоподъемности. Аналогичная ситуация наблюдается и при транспортировке строительных материалов, изделий и конструкций.

3. Применение тех или иных организационно-технологических мероприятий для каждого отдельного объекта требует тщательного анализа и должно удовлетворять поставленной цели и критериям эффективности строительства. Выбор эффективных энергосберегающих решений можно выполнять на основе решения различных оптимизационных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лозовский, А. А. Формирование энергосберегающих технологических и организационных решений в строительстве / А. А. Лозовский, Г. В. Земляков // *Строительная наука и техника*. — 2007. — № 4(13). — С. 98–103.
2. Лозовский, А. А. Методика формирования энергосберегающих технологических и организационных мероприятий в строительных организациях / А. А. Лозовский, Г. В. Земляков // *Строительная наука и техника*. — 2008. — № 6. — С. 101–105.
3. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь: под ред. А. А. Гусакова. — М.: Фонд "Новое тысячелетие", 1999. — 432 с.
4. Баранов, С. П. Анализ затрат энергоресурсов при производстве строительного-монтажных работ / С. П. Баранов, Г. В. Земляков, А. А. Лозовский // *Материалы 2-й Междунар. научно-технич. конф.:* в 2 т., БНТУ. — Минск, 2004. — Т. 1. — С. 465–469.
5. Земляков, Г. В. Исследование затрат энергоресурсов в строительстве / Г. В. Земляков, А. А. Лозовский // *Сб. научн. тр. Междунар. конф., посвящ. 70-летию кафедры "Технология строительного производства" и 85-летию Белорус. нац. технич. ун-та.:* в 2 т., Минск, 25–26 октября 2004 г. — Минск: БНТУ, 2004. — Т. 1. — С. 105–107.
6. Лозовский, А. Формирование мероприятий, обеспечивающих снижение затрат энергоресурсов в строительстве / А. Лозовский, Г. Земляков // *Архитектура и строительство*. — 2006. — № 5. — С. 110–111.
7. Лозовский, А. А. Взаимосвязь затрат энергоресурсов в строительстве / А. А. Лозовский // *Материалы 2-й Междунар. научно-технич. конф.:* в 2 т., БНТУ. — Минск, 2004. — Т. 1. — С. 470–473.
7. Строительные машины: учебник для вузов по специальности ПГС / Д. П. Волков, Н. И. Алешин, В. Я. Крикун, О. Е. Рысков; под ред. Д. П. Волкова. — М.: Высшая школа, 1998. — 319 с.
8. *Vaukatalog: Baumaschinen*. — Berlin: Bauinformation, 1975. — 51 p.: Bild.
9. Атаев, С. С. Технология строительного производства: учебник для вузов по специальности "Промышленное и гражданское строительство" / С. С. Атаев [и др.]. — М.: Стройиздат, 1984. — 560 с.
10. Атаев, С. С. Технология, механизация и автоматизация строительства: учебник для вузов по специальности "Экономика и управление в строительстве" / С. С. Атаев [и др.]; под ред. С. С. Атаева. — М.: Высшая школа, 1990. — 592 с.
11. Бадьин, Г. М. Справочник строителя-ремонтника / Г. М. Бадьин, В. А. Заренков, В. К. Иноземцев. — М.: АСВ, 2000. — 542 с.
12. Механизация и автоматизация в строительстве / Учебно-методическое объединение высших учебных заведений Республики Беларусь по образованию в области строительства и архитектуры; редкол.: А. В. Вавилов [и др.]. — Минск: БНТУ, 2003. — 11 с.
13. Земляков, Г. Мероприятия по снижению затрат энергоресурсов в строительстве / Г. Земляков, А. Лозовский // *Архитектура и строительство*. — 2005. — № 4. — С. 109, 110.

Статья поступила в редакцию 05.10.2010.