

## ВОЗМОЖНОСТИ ИНДУСТРИИ 4.0 ДЛЯ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЗОДЧЕСТВА

**Аннотация.** В статье рассматривается актуальная проблема создания инструмента для инженерных работ, связанных с зодчеством.

Показана сложность задач, которые стоят перед современным градостроительством. Основная задача архитектуры заключается в создании комфортной среды обитания для социума. Помимо удовлетворения потребностей снабжения, теплом, водой электричеством, светом, вентиляцией, архитектура должна учитывать проблемы энергоэффективности и энергосбережения, безопасности, эстетики, национальные особенности. Решить эти комплексные задачи можно только на основе цифровизации и компьютеризации, которую предоставляет Индустрия 4.0. Привлекать к процессу нейросети и искусственный интеллект на данном этапе рано. Эти технологии требуют длительного дорогостоящего обучения, прежде чем им можно будет доверить творческие архитектурные задачи. Решение всех проблем следует поручить дизайнеру, но необходимо вооружить его эффективным инструментом. Таким инструментом может быть создание комплексных многоуровневых систем автоматизированного проектирования (САПР). В этом направлении существуют заделы в виде программных средств, способных на данном этапе решать инженерные задачи. Для создания САПР их необходимо объединять в комплексы и размещать на разных уровнях принятия решений. В статье приведен обзор наиболее популярных программ для архитектуры и градостроительства, которые могут быть положены в основу для комплексных САПР.

Отмечается, что зодчество, как комплексная техническая система развивается по объективным законам. Этот процесс можно ускорить, если эти законы осознать и осуществлять деятельность в соответствии с ними. В этом случае эффективные САПР для зодчества могут появиться в ближайшее десятилетие.

Цель статьи – обозначить мировую тенденцию развития современной архитектуры в направлении создания комплексных систем автоматизированного проектирования

**Ключевые слова:** зодчество, архитектура, градостроение, искусственный интеллект, САПР, интеллектуальное здание, энергоэффективное здание

## THE POSSIBILITIES OF INDUSTRY 4.0 FOR THE DEVELOPMENT OF MODERN ARCHITECTURE

**Annotation.** *The article discusses the actual problem of creating a tool for engineering work related to architecture.*

*The complexity of the tasks facing modern urban planning is shown. The main task of architecture is to create a comfortable living environment for society. In addition to meeting the needs of supply, heat, water, electricity, heating, ventilation, architecture must take into account the problems of energy efficiency and energy conservation, safety, aesthetics, and national peculiarities. These complex tasks can be solved only on the basis of digitalization and computerization provided by Industry 4.0. It is too early to involve neural networks and artificial intelligence in the process at this stage. These technologies require lengthy, expensive training before they can be entrusted with creative architectural tasks. Solving all problems should be entrusted to the designer, but it is necessary to equip him with an effective tool. Such a tool can be the creation of complex multi-level CAD systems. There are groundwork in this area in the form of software tools capable of solving engineering problems at this stage. To create CAD systems, they must be combined into complexes and placed at different levels of decision-making. The article provides an overview of the most popular programs for architecture and urban planning, which can be used as the basis for complex CAD systems.*

*It is noted that architecture, as a complex technical system, develops according to objective laws. This process can be accelerated if these laws are understood and activities are carried out in accordance with them. In this case, effective CAD systems for architecture may appear in the next decade.*

*The purpose of the article is to identify the global trend in the development of modern architecture towards the creation of integrated computer-aided design systems.*

**Keywords:** *architecture, urban planning, artificial intelligence, CAD, intelligent building, energy efficient building*

### Введение

Зодчество — это искусство и наука строить, проектировать здания и сооружения, а также их комплексы, которые создают пространственную среду для жизни и деятельности человека. Это древнейший вид человеческой активности. Он возник

там и тогда, когда человек выделился из природы и начал ее преобразовывать под свои развивающиеся потребности. Если в начале человек ставил перед собой только задачи выживания, то по мере развития социума на первый план стали выходить потребности не просто физического комфорта, но и вопросы энергосбережения и энергоэффективности, эстетики, соблюдения культурных традиций.

Зодчество – это техническая система, созданная человечеством, но развивается она по объективным законам [1]. Поскольку они объективны, эти законы необходимо познать и в своей архитектурной деятельности следовать им. Диалектика развития идет через борьбу и разрешение противоречий. На этот процесс накладываются специфика климатической зоны, уровень развития экономики, политические течения, культурные особенности и многие другие факторы. Руководитель в лице главного архитектора и главных инженеров проектов не в состоянии охватить, осмыслить и разрешить все противоречия. В этой ситуации на помощь могут прийти современные компьютерные технологии. Представителями этих технологий могут быть системы автоматизированного проектирования (САПР), нейронные сети (НС), искусственный интеллект (ИИ). Мы живем в эпоху Индустрии 4.0, когда цифровизация и компьютеризация проникли во все сферы, было бы странным, если бы этот процесс не затронул архитектуру.

Как было отмечено, в градостроительстве человечество прошло эпоху простого выживания и постепенно переходит в эпоху создания комфортной среды с удовлетворением физических, эстетических, культурных и национальных потребностей. С физическими, эстетическими и культурными потребностями в общем все понятно. Несколько замечаний о национальных потребностях. Гипотетически можно представить, что достаточно развитая нация, такая, как Китай, начала бы управлять архитектурными процессами в Российской Федерации. При всех продвинутых китайских технологиях, вряд ли этот процесс создал бы комфортную среду для россиян, которые имеют свои глубокие исторические корни и национальные особенности. Все вышесказанное отражает сложность даже не идеального, а хотя бы оптимального решения проблем архитектурного зодчества.

Ещё одна особенность в архитектурном строительстве в отличие от других видов человеческой деятельности. Допущенные ошибки очень трудно исправляются и стоят очень дорого [2-4]. В неверно спроектированном сооружении очень сложно что-то подправить: изменить месторасположение, ориентацию, внешний дизайн, внутреннее содержание технических систем с точки зрения энергоэффективности. Как правило от ошибочного проекта приходится полностью отказываться и возводить новое сооружение с учетом допущенных ошибок [5-7]. Эта проблема может быть решена, используя возможности Индустрии 4.0 [8-10].

### **Разработка систем автоматизированного проектирования для градостроения – перспективное направление современного зодчества**

Вопросы архитектуры в строительной индустрии сложны и многообразны. Давайте ограничим их достаточно узкой областью – созданием малых и средних поселений для территории Российской Федерации. Термин «для территории Российской Федерации» имеет достаточно глубокий смысл, который, как раз, учитывает национальные особенности. Если на обширной территории Российской Федерации создавать голландские, немецкие, французские, итальянские и другого рода поселения, то это в конце концов может выразиться в вырождении нации, с понятными политическими и экономическими последствиями.

Речь не идет о проектировании изб из тесаного сруба и примитивном внутреннем дизайне. Российское и русское зодчество имеет свои замечательные традиции и их надо учитывать [11-13].

До применения в полной мере возможностей НС и ИИ в архитектуре общество еще не доросло, хотя движется в этом направлении. Использование ИИ в архитектуре вообще может оказаться проблематичным, так как ИИ необходимо обучать, и обучать, в том числе, на большом количестве ошибочных проектов, что может оказаться очень дорогим удовольствием. На данном этапе вполне возможно использовать более низкий, но достаточно эффективный уровень. Это использование САПР.

САПР – это программная среда, предназначенная для разработки объектов архитектуры, а также оформления конструкторской и технологической документации к этим объектам. В этой среде есть возможность выполнять инженерные

расчеты, графические работы и решать задачи технологической подготовки производства.

САПР имеет свои закономерности развития. На первом этапе разрабатываются программные средства для проектирования отдельных систем. Например, системы электро-, водо- тепло обеспечения, водоотведения, вентиляции и кондиционирования, пожаробезопасности, безопасности от проникновения и т.п., входящее в промышленное или гражданское здание. Одновременно разрабатываются системы внешнего дизайна и внутреннего интерьера. На этапе проектирования здания эти системы объединяются в САПР здания. САПР должна позволять выполнить все необходимые расчеты по обеспечению теплом, водоснабжением и водоотведением, канализацией, электроснабжением. Поскольку развитие данных систем находится в противоречивой зависимости, САПР должна обеспечить их оптимизацию с учетом выбранных показателей качества. Проектирование на данном этапе идет циклами с уточнением и переделами всех противоречащих друг другу систем. Показателями качества должны быть параметры комфортной среды обитания: температура, влажность, освещенность, безаварийность работы обслуживающих систем. Мероприятия по энергоэффективности и энергосбережению не должны нарушать этих дисциплинарных ограничений. Это наиболее сложная часть работы САПР. Она должна учитывать работу специалистов разных профилей в единой программной среде. В этой программной среде должна быть организована строгая иерархия принятия решений.

После проектирования здания результаты разработки передаются на следующий более высокий уровень. На этом этапе решаются вопросы ландшафтного дизайна и компоновки спроектированных зданий на местности с учетом особенностей рельефа, сезонного кадастра ветров, ориентации по сторонам света и других факторов. На этом уровне очень важно соблюсти эстетику внешнего вида поселения, его культурные и национальные особенности, комфортное расположение детских учреждений, школ, магазинов, медицинских и охранных служб. Это сложный этап работы САПР. Нарушение условий комфортного проживания и эстетического восприятия окружающей среды на данном этапе не допустимо. Следует помнить о

сложности и дороговизне исправления допущенных ошибок в архитектуре. На заключительном этапе проектируются системы дорожных коммуникаций и централизованного электро- и водоснабжения, водоотведения, канализации. При возникновении противоречий между системами и уровнями проектирования САПР должна позволять сделать обратный цикл по корректировке ранее принятых решений. Еще раз следует подчеркнуть, что нарушение дисциплинарных ограничений по условиям формирования комфортной среды при работе САПР недопустимо. Это идеальный вариант работы эффективной САПР.

### **Оценка эффективности проектных решений с применением САПР**

Основной опасностью является ограничение по финансовому обеспечению. При отсутствии финансирования одной из сбалансированных систем на любом уровне наступает перекос в работе САПР и возникает риск не достичь параметров комфортной среды обитания.

Вторым фактором отступления от идеального проекта может быть отсутствие требуемых материалов. Замена их на имеющиеся доступные может нарушить баланс других частей САПР.

Ограничением может быть отсутствие необходимых технологий и оборудования для реализации проекта. В условиях частного производства у хозяина бизнеса может не оказаться доступа к этим средствам для реализации проекта.

Практика показывает, что одним из существенных ограничительных факторов являются административные противоречия [1]. К нему можно отнести недостаточный уровень профессионализма при принятии решений, инерционность и консерватизм мышления, жесткая борьба внутри самого бизнеса.

Можно выделить еще ряд ограничительных факторов, которые могут привести от отступления от идеального конечного результата.

В этих условиях необходима методика оценки отступления от идеального конечного результата. Такой методикой может быть метод весовых коэффициентов [14]. Суть его заключается в следующем. На каждом этапе проектирования и на каждом уровне проектирования определяется коэффициент эффективности принятия решений. 1.0 соответствует идеальному конечному результату по принятию

решения. Коэффициент эффективности умножается на весовой коэффициент. Это безразмерный коэффициент, который определяет долю вклада данного решения в общий идеальный показатель комфортного проживания.

Сумма всех определенных заранее весовых коэффициентов должна составлять 1.0. Как формировать количество и величину самих весовых коэффициентов? На данном этапе это придется делать на основе субъективной оценки экспертами. В перспективе можно воспользоваться услугами нейронных сетей и искусственного интеллекта.

Такой подход содержит достаточно весомую долю субъективизма, но он позволяет исходя из сложившихся условий оценить достижение идеального конечного результата. Если общий коэффициент идеальности будет меньше 50 %, стоит ли приступать к реализации проекта? Будут потрачены значительные средства на его реализацию без перспективы достижения желаемого результата по созданию комфортной среды обитания.

### **Обзор современных программных средств для градостроительства**

Сделаем краткий обзор современных программ, специализированных в области проектно-строительных работ.

**Autodesk Architectural Desktop**- программа, ориентированная, на профессиональных архитекторов и специалистов в области промышленного и гражданского строительства. Мощные специализированные функции продукта сэкономят время и улучшат управление проектами. При этом поддерживаются традиционные приемы и способы построения объектов. Гибкость в работе, возможность проектирования различных сооружений вплоть до мельчайших деталей и привычная среда AutoCAD наилучшим образом подходят для решения различных архитектурных задач.

Дальнейшим развитием Autodesk Architectural Desktop является программа **Autodesk Building Systems**, предназначенная для проектирования внутренних инженерных сетей. Обладая всеми средствами AutoCAD и Autodesk Architectural Desktop, она является мощным инструментом, включающим

собственные модули для проектирования вентиляции и отопления, электрических сетей, водопровода и канализации

**Autodesk Architectural Studio**- инструмент концептуального проектирования и мультимедийной обработки проектных данных. Этот программный продукт предназначен для архитекторов и других профессионалов в сфере строительства, дизайна и архитектуры.

**Autodesk Revit Structure** содержит специализированные функции для проектирования и расчета строительных конструкций. В основе продукта лежит технология информационного моделирования зданий (BIM). Благодаря преимуществам этой технологии Revit Structure повышает уровень координации специалистов, помогает выпускать более качественную документацию, сокращает количество ошибок и позволяет наладить более активное взаимодействие между проектировщиками конструкций и архитекторами.

**ArchiCAD** - программное обеспечение компании Graphisoft является на данный момент одной из лучших систем архитектурно-строительного проектирования и разработки документации по технологии BIM.

**APM Civil Engineering** — CAD/CAE система автоматизированного проектирования строительных объектов гражданского и промышленного назначения. Эта система в полном объеме учитывает требования государственных стандартов и строительных норм и правил, относящиеся как к оформлению конструкторской документации, так и к расчетным алгоритмам. Современные фасады — это настоящие HighTech- конструкции.

**Bentley STAAD.Pro** — это программный комплекс, легко интегрируемый в любые САПР, используемый для анализа и проектирования строительных конструкций методом конечных элементов. STAAD.PRO включает современный пользовательский интерфейс, средства анализа и визуализации, а также средства адаптации результатов к требованиям международных и российских норм проектирования объектов гражданского и промышленного назначения.

**Bocad-3D** — мощная пространственная CAD-система проектирования стальных и деревянных конструкций.

**BricsCad Pro** — выбор для архитекторов, инженеров, конструкторов и для всех, кто создаёт или использует чертежи САПР. Система автоматизированного проектирования **BtoCAD** разработана специально для инженеров, конструкторов и всех специалистов, работающих с CAD-приложениями.

**MagiCAD** — это программное средство для проектирования систем инженерного обеспечения: вентиляции, кондиционирования, отопления, водоснабжения и водоотведения, теплоснабжения, электрических и слаботочных систем. Уникальность MagiCAD — это совмещение удобного чертежного инструмента и мощного расчетного ядра. MagiCAD - универсальное средство и подходит всем: чертежникам, проектировщикам, строителям и консультантам.

Перечень специализированных программ в области архитектуры и градостроительства можно кратно увеличивать. В этот список не попали программы ландшафтного дизайна, строительства внешних снабжающих коммуникаций, дорожного хозяйства.

Как видно, существующие программные средства являются мощным инженерным инструментом для решения градостроительных задач, но в полноценными САПР их признать пока нельзя, так как комплексную задачу создания среды комфортного обитания они решить не могут. Данные программные комплексы могут составить только основу, фундамент будущих САПР зодчества.

Вероятно, это следующий объективный этап развития современного зодчества [15-17]. Учитывая темпы развития Индустрии 4.0, законченные комплексные САПР для архитектуры, решающей основную задачу по созданию комфортной среды обитания, появятся в ближайшее десятилетие [18-20].

### **Основные выводы**

Зодчество, как комплексная система, сочетающая в себе технику, науку, культуру, искусство и национальные особенности развивается по объективным законам. Специалисты, посвятившие свою деятельность этой сфере, должны осознать эти законы и действовать в соответствии с ними. Это тем более важно, что допущенные ошибки на любом уровне исправить очень сложно и дорого. Современное развитие индустриального общества (Индустрия 4.0) на данном этапе дает

архитекторам возможность решить стоящие перед ними комплексные задачи [21-23]. Одним из путей развития современного зодчества является создание сложных САПР, состоящих из низшего, среднего и высокого уровня, способных создать идеальный с точки зрения комфортного обитания проект и объективно оценить возможность его реализации. Со временем эта задача будет решена. Если современные архитекторы будут следовать объективным законам развития зодчества, результат будет получен в ближайшее десятилетие.

### Литература

1. Электронная книга "Введение в ТРИЗ. Основные понятия и подходы" (официальное издание фонда Г.С. Альтшуллера), <https://altshuller.ru/> (дата обращения 15.10.2025)
2. Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-Прес.203. – 200 с.
3. Gandzha, S., Belonozhko, A. Development of Electrical Energy Storage Device Using Direct-Acting Fuel Cells Based on Methanol. Proceedings - 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon. 2018. – pp. 248-252.
4. Sergey Gandzha. **Dilshod Aminov**, Bakhtiyor Kosimov, Rustam Nimatov, Azamdzhon Davlatov and Azamjon Mahmudov. Development of a concept of an energy-efficient house for an environmentally friendly settlement in the South Ural. International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE – 2019). Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 18 December 2019 St. Petersburg, Russia. DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914011009>
5. Богуславский Л. Д. Экономическая эффективность оптимизации уровня теплозащиты зданий. – М.: Стройиздат. 1981. – 102 с.
6. Бродач М. М. Изопериметрическая оптимизация солнечной энергоактивности зданий. – Гелиотехника 2, Ташкент. 1990. – С. 26-31.
7. Бродач М. М. Энергетический паспорт зданий – АВОК, 1993, № 1/2 – С.101.
8. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий. // АВОК. 2004. – № 2. – С. 52.

9. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Многоэтажное энергоэффективное жилое здание в Нью-Йорке. // АВОК. 2003. – № 4. – С. 38.
10. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Оптимизация тепловой эффективности зданий // Сборник докладов восьмой научно–практической конференции (академические чтения) «Стены и фасады. Актуальные проблемы теплофизики». – М.: НИИСФ, 2003. – С. 191-196.
11. Васильев Г. П. Энергоэффективный жилой дом в Москве. // АВОК. 1999. – № 4. – С. 4.
12. Васильев Г. П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино–2. // АВОК. 2002. – № 4. – С. 10–18.
13. Васильев Г. П., Крундышев Н. С. Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области // АВОК. 2002. – №5.
14. Гранев В. В., Табунщиков Ю. А., Наумов А. Л. Рейтинговая система оценки качества зданий // АВОК. 2010. – №6.
15. Малахов М. А. Проект естественно-механической вентиляции жилого дома в Москве. // АВОК. 2003. – № 3. – 28 с.
16. Малахов М. А. Системы естественно-механической вентиляции в жилых зданиях с теплым чердаком. // АВОК. 2006. – № 7. – 8 с.
17. Молодкин С.А. Принципы формирования архитектуры энергоэффективных высотных зданий. Дис. канд.арх. Москва. 2007.– 142 с.
18. Молчанов, В.М. Теоретические основы проектирования жилых зданий: Учеб пособие. - 2-е изд., перераб. и доп./В.М.Молчанов.- Ростов н/Д: «Феникс». 2003.- 240 с. – (Серия «Учебные пособия»)
19. Новиков, В.А. Архитектурная организация сельской среды: Учеб. Пособие/В. А.Новиков.-М.:Архитектура-С. 2006. – 376 с.
20. Нурмиев, Г.Н. Москва-энергоэффективный город/Г.Н.Нурмиев//Жилищное строительство. 2002. – №4. – С. 26-28.
21. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце. - М.: Стройиздат, 1988. – 207с.
22. Огородников, И.А. Экодом — жилище XXI века//Архитектура и строительство России. 1996. – № 910. – С. 14-15.

23. Огородников, И.А. Экодом в Сибири. Обзор литературы, оригинальные разработки, рекомендации специалистов/ И.А. Огородников, О.Н. Макарова, Е.С. Дубынина. Исар-Сибирь, Новосибирск. 2000. – 89 с.

### Reference

1. E-book "Introduction to TRIZ. Basic concepts and approaches" (the official publication of the G.S. Altshuller Foundation), <https://altshuller.ru/> (accessed 10/15/2025)

2. Yu.A. Tabunshchikov, M.M. Brodach, N.V. Shilkin Energy-efficient buildings. - M.:AVOC-Pres.203. – 200 p.

3. Gandzha, S., Belonozhko, A. Development of Electrical Energy Storage Device Using Direct-Acting Fuel Cells Based on Methanol. Proceedings - 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon. 2018. – pp. 248-252.

4. Sergey Gandzha. Dilshod Aminov, Bakhtiyor Kosimov, Rustam Nimatov, Azamdzhon Davlatov and Azamjon Mahmudov. Development of a concept of an energy-efficient house for an environmentally friendly settlement in the South Ural. International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE – 2019). Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 18 December 2019 St. Petersburg, Russia. DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914011009>

5. Boguslavsky L. D. Economic efficiency of optimizing the level of thermal protection of buildings. Moscow: Stroyizdat. 1981. – 102 p.

6. Brodach M. M. Isoperimetric optimization of solar energy activity in buildings. – Heliotekhnika 2, Tashkent. 1990 – pp. 26-31.

7. Brodach M. M. Energy passport of buildings – AVOK. 1993. – pp.101.

8. Brodach M. M., Shilkin N. V. The use of fuel cells for power supply of buildings. // AVOC. 2004. – No. 2. – pp. 52.

9. Brodach M. M., Shilkin N. V. Multi-storey energy-efficient residential building in New York. // AVOC. 2003. – No. 4. – pp. 38.

10. 1Brodach M. M., Shilkin N. V. Optimization of thermal efficiency of buildings // Collection of reports of the eighth scientific and practical conference (academic

readings) "Walls and facades. Actual problems of thermophysics. Moscow: NIISF. 2003. –pp. 191-196.

11. Vasiliev G. P. Energy-efficient residential building in Moscow. // AVOC. 1999. – No. 4. – pp. 4.

12. Vasiliev G. P. Energy-efficient experimental residential building in the Nikulino–2 microdistrict. // AVOK. 2002. – No. 4. – pp. 10-18.

13. Vasiliev G. P., Krundyshev N. S. Energy-efficient rural school in the Yaroslavl region // AVOK. 2002. – No. 5.

14. Granev V. V., Tabunshchikov Yu.A., Naumov A. L. Rating system for assessing the quality of buildings // AVOK. 2010. – No. 6.

15. Malakhov M. A. The project of natural mechanical ventilation of an apartment building in Moscow. // AVOC. 2003. – No. 3. – 28 p.

16. Malakhov M. A. Systems of natural mechanical ventilation in residential buildings with a warm attic. // AVOK. 2006. – No. 7. – 8 p.

17. Molodkin S.A. Principles of architecture formation of energy-efficient high-rise buildings. Dissertation of the Candidate of Architecture. Moscow, 2007.-142p.ill.

18. Molchanov, V.M. Theoretical foundations of the design of residential buildings: Textbook.- 2nd ed., revised and an addendum / V.M.Molchanov.- Rostov n/A: "Phoenix". 2003. – 240 p. – (Series "Textbooks")

19. Novikov, V.A. Architectural organization of rural environment: Textbook. The manual/V. A.Novikov.-M.:Architecture-S. 2006. – 376 p.

20. Nurmiev, G.N. Moscow-an energy-efficient city/G.N.Nurmiev //Housing construction. 2002. – No. 4. – pp.26-28.

21. Obolensky N.V. Architecture and the sun. Moscow: Stroyizdat. 1988. – 207p.

22. Ogorodnikov, I.A. Eco—house - housing of the XXI century//Architecture and construction of Russia. 1996. – No. 910. – pp. 14-15.

23. Ogorodnikov, I.A. Ecodome in Siberia. Literature review, original developments, recommendations of specialists / I.A. Ogorodnikov, O.N. Makarova, E.S. Dubynina. Isar-Siberia, Novosibirsk. 2000. – 89p.

**Ганджа С.А.**

Профессор кафедры электропривода, мехатроники и электромеханики, Политехнический институт, Южно-Уральский Государственный университет; г. Челябинск, Россия, e-mail: [gandzhasa@susu.ru](mailto:gandzhasa@susu.ru)

**Gandzha S. A.**

Professor of the Department of Electric Drive, Mechatronics, and Electromechanics, Polytechnic Institute, South Ural State University; Chelyabinsk, Russia, e-mail: [gandzhasa@susu.ru](mailto:gandzhasa@susu.ru)