

9. Официальный сайт компании «Спецпереработчик» [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые дан. Режим доступа: <http://www.4istigorod.ru/>.
10. Официальный сайт компании «Рецикл» [Электронный ресурс]: Электрон. текстовые дан. Режим доступа: <http://www.pkrecycle.ru/index.html>.



УДК 691

DOI 10.1555/2409-3203-2018-0-14-165-173

АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ

Веде Петр Юрьевич

специалист лаборатории радиационного контроля кафедры «Проектирование
зданий и экспертизы недвижимости»

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Россия, г. Красноярск

Киселкин Егор Валерьевич

студент кафедры «Строительные конструкции и управляемые системы»

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Россия, г. Красноярск

Аннотация: В работе рассмотрено аккумулирование тепловой энергии в ограждающих конструкциях. Возможность аккумулирования тепловой энергии основана на использовании физического или химического процесса, связанного с поглощением и выделением теплоты. Аккумулирование может происходить за счет теплоемкости материалов ограждающих конструкций. Предложен метод оценки эффективности конструкции как аккумулятора теплоты. Одним из перспективных методов сохранения тепловой энергии является применение материалов с изменяющимся фазовым состоянием (PCM – Phase Change Material). Проведен обзор отечественных и зарубежных исследований данных материалов. Применение PCM в качестве аккумулятора теплоты может быть эффективно. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение характеристик материалов, температур плавления и нуклеации, теплопроводности и других параметров, а также на определение оптимальных конструктивных решений и методов интеграции.

Ключевые слова: строительные материалы, ограждающие конструкции, аккумулирование тепловой энергии, PCM.

THERMAL ENERGY STORAGE IN THE ENVELOPE OF BUILDINGS

Vede Petr

Specialist of the Laboratory of Radiation Control of the Department "Designing Buildings and
Expertise of Real Estate"

Siberian Federal University

Russia, Krasnoyarsk

Kiselkin Egor

student of the department "Building structures and managed systems"
Siberian Federal University
Russia, Krasnoyarsk

Abstract: The paper considers the accumulation of thermal energy in envelope of building. The possibility of accumulating thermal energy is based on the use of a physical or chemical processes that associated with absorption and release of heat. Thermal storage can occur because of heat capacity of the materials of the enclosing structures. A method of estimating the efficiency of construction as a heat accumulator is proposed. One of the promising methods of conserving thermal energy is using of phase change material (PCM). The review of domestic and foreign research of these material is conducted. The use of PCM as a heat battery can be effective. Further studies can be aimed at studying the characteristics, melting and nucleation temperatures, thermal conductivity and other parameters. Also determining optimal design solutions and integration methods is proposed.

Keywords: construction materials, envelope of buildings, thermal storage, PCM.

Введение

История строительства жилых зданий показывает, что человек всегда пытался найти решения, благодаря которым внутренние тепловые условия соответствовали бы тем, к которым человек мог быть лучше всего приспособлен, в зависимости от климатических условий и доступных материалов. Однако, в современной архитектуре, зачастую условия комфорта в большей степени сохраняются механическим нагреванием и системами охлаждения, что ведет за собой большие расходы энергии. Сегодня с точки зрения экологии, сокращения выбросов, данная тема становится особенно актуальна.

Теплоемкость - одно из решений, предлагающих проектировщикам возможность управлять тепловыми энергетическими потоками здания с положительным эффектом на внутренние условия во время летних и зимних периодов.

Аккумуляция тепловой энергии в строительных конструкциях

Аккумуляция тепловой энергии представляет собой сохранение избыточного тепла в ограждающих конструкциях, материалах с высокой теплоемкостью, которое передается воздуху помещения в более позднее время, стабилизируя, внутреннюю температуру и уменьшая потребность в нагревании.

Возможность аккумуляции тепловой энергии основана на использовании физического или химического процесса, связанного с поглощением и выделением теплоты. К основным способам аккумуляции относятся: накопление-выделение внутренней энергии при нагревании/охлаждении твердых или жидких тел; фазовые переходы с поглощением-выделением скрытой теплоты; процесс сорбции-десорбции или обратимая химическая реакция, протекающая с выделением-поглощением теплоты [1].

Возможность сохранять тепловую энергию в ограждающих конструкциях увеличивает тепловой комфорт в помещении. Накопление тепла в материале с высокой теплоемкостью (таком как бетон и кирпич) позволяет отдавать его в более позднее время дня, так возможно стабилизировать внутреннюю температуру и уменьшить потребности в нагревании и охлаждении.

Уменьшение нагрузки отопления и охлаждения, используя теплоемкие конструкции, значительно уменьшает затраты и экологические воздействия горения ископаемого топлива.

Летом, нагревание происходит за счет солнечного излучения. Тепло в течение дня может накапливаться в массивных материалах и прогрессивно выпущено внутрь в ночное

время. В результате пиковая нагрузка охлаждения ниже, и изменения температуры остаются в пределах диапазона комфорта в течение большего времени в течение дня.

Зимой, из-за той же самой причины, аккумулированное тепло отдается в комнату в течение вечерних часов, нагревая воздух помещения, и избегая перегрева во время периодов высокого солнечного излучения днем. С другой стороны, нагревание здания с большой теплоемкостью занимает больше времени.

Следовательно, количество тепла, сохраненного в ограждающих конструкциях, влияет на внутреннюю температуру помещений, уменьшая пиковые нагрузки нагрева и/или охлаждения и сдвигая их во времени [2], что положительно сказывается на комфорте пребывания человека в помещении и расходе ресурсов на поддержание внутреннего климата помещений.

Понятие «теплоёмкость» появилось в XVIII веке. Тогда это выражение применялось в двух совершенно различных значениях. Одни использовали его для обозначения полного количества так называемого теплорода, «содержащегося» в теле, другие, и таких было большинство, применяли его в современном смысле для обозначения количества теплоты, необходимой, чтобы нагреть или охладить тело на один. От этого понятия легко перейти к понятию удельной теплоемкости, т. е. теплоемкости единицы массы тела. [3]

Сейчас хорошо известно, что теплоемкость – это физическая величина, определяемая как количество теплоты, которое необходимо подвести к телу в данном процессе, чтобы его температура возросла на один Кельвин.

Таким образом теплоемкость материала является «мерой инертности» в нестационарных условиях теплопередачи, ей определяется насколько быстро нагреваются или охлаждаются ограждающие конструкции.

Это явление было хорошо известно с древних времен, что можно проследить в истории систем отопления жилищ [4]. Опыт показывал, что чем массивней конструкция, тем дольше она хранит тепло. Широко известная русская печь могла оставаться теплой долгое время за счет своей массивности, а толщина стен кирпичных домов знати до появления эффективных утеплителей достигали одного метра.

Методология

В настоящее время в Российской Федерации тепловая защита зданий нормируется сводом правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [5]. Согласно нормам теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

- а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);
- б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);
- в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции — это физическая величина, характеризующая усредненную по площади плотность потока теплоты через фрагмент теплозащитной оболочки здания в стационарных условиях теплопередачи, численно равная отношению разности температур по разные стороны фрагмента к усредненной по площади плотности потока теплоты через фрагмент.

Расчеты сопротивления теплопередаче, согласно нормам, производятся в стационарном режиме. Однако, для расчета температурных полей в нестационарном режиме необходимо вводить значения удельной теплоемкости и плотности, которые влияют на характер изменения температуры материала [6].

Для определения температурных полей в ограждающей конструкции, то есть условно в неограниченной пластине, в любой момент времени, допустив, что температура

среды изменяется по гармоническому закону (1), необходимо решить задачу на тепловые волны.

$$T_c = T_m \cos\left(\frac{2\pi \cdot \tau}{P}\right) + T_0, \quad (1)$$

где T_m – амплитуда колебания температуры среды, К; P – период колебаний температуры, с; τ – время, с.

Решением такой задачи является уравнение [6]:

$$T(x, \tau) = A_0 \cdot \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot P}}\right) \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{P} \cdot \tau - \left(x \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot P}} + M\right)\right], \quad (2)$$

где x – координата, м; a – температуропроводность, м²/с;

Температуропроводность определяется по формуле:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot C}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); C – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³.

Величина A_0 , есть амплитуда колебаний температуры ограничивающей поверхности (рис. 1):

$$A_0 = \left(1 + \frac{2}{H} \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot P}} + \frac{2\pi}{H^2 a P}\right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

где $H = \alpha \lambda$; α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К).

Величина M , представляет собой смещение по фазе колебания температуры среды (рис. 1)

$$M = \arctg \frac{1}{1 + H \sqrt{a P / \pi}}. \quad (5)$$

По параметрам A_0 и M можно оценивать насколько эффективной является ограждающая конструкция в качестве аккумулятора теплоты.

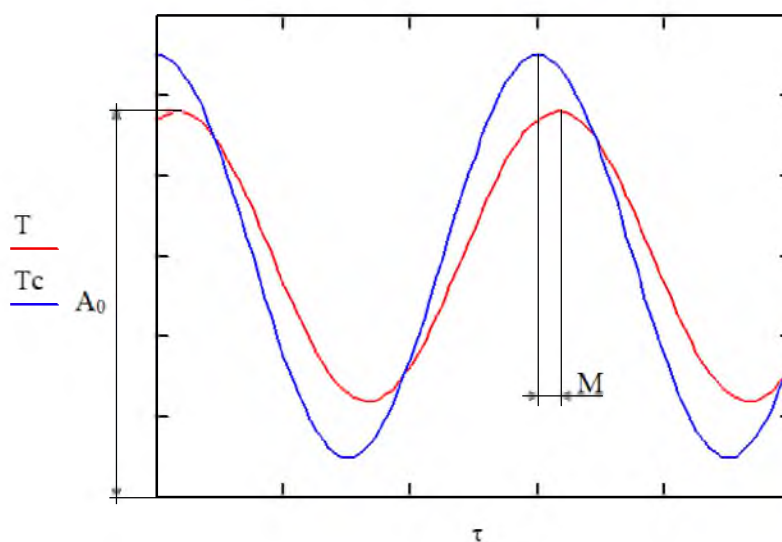


Рисунок 1 – Эффект запаздывания и затухания пиков.

Таблица 1 – характеристики некоторых материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Объемная теплоемкость, кДж/(м ³ ·К)	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Вода	1000	4,19	4186	0,466
Сталь	7850	0,482	3784	50
Железобетон	2500	0,84	2100	1,69
Стекло	2500	0,84	2100	407

Сосна, ель	500	2,3	1150	0,09 - 0,18
Кирпичная кладка	1800	0,88	1584	0,56
Плиты минераловатные из каменного волокна	180	0,84	151	0,038
Плиты из пенополистирола	11	1,34	14,7	0,041

Как видно из таблицы 1, легкие утеплители имеют низкую объемную теплоемкость. Самая высокая объемная теплоемкость у воды.

Авторами [7] рассмотрен метод повышения теплоемкости бетонов путем введения в состав энергоэффективного заполнителя в виде инкапсулированной воды и водных растворов солей с различным объемным содержанием. Путем теоретических расчетов установлено, что изменяя объемную долю теплоемкого заполнителя от 10 до 90 %, можно значительно увеличить теплоемкость бетонов с 990 до 3500 Дж/(кг·К) при одновременном снижении плотности с 2260 до 1130 кг/м³ и теплопроводности с 1,36 до 0,64 Вт/(м·К).

Материалы с фазовым переходом

Несмотря на вышесказанное, отказываться от легких эффективных утеплителей в пользу массивных каменных конструкций большой толщины не разумно.

Существуют альтернативные методы повышения теплоемкости конструкций. Одним из перспективных методов сохранения тепловой энергии является применение материалов с изменяющимся фазовым состоянием (PCM – Phase Change Material). Однако до масштабного практического применения этой технологии необходимо решить многочисленные проблемы на этапе исследований и разработок. Данная технология может изучаться в разных аспектах, таких как местоположение материала в конструкции и методы интеграции, конструктивные решения, характеристики самого материала и его совокупность с уже имеющимися материалами, а также эффективность применения данных технологий в конкретных случаях.

Хранение тепловой энергии обеспечивает поддержание постоянной температуры при изменении фазового состояния материала. Материалы с изменяющимся фазовым состоянием считаются многообещающими материалами и обладают широким спектром аспектов нагрева и охлаждения. Колебания температуры воздуха и сдвига в пиковых значениях могут быть уменьшены с помощью PCM.

Обзор исследований PCM

В течение последних 15-20 лет было исследовано использование PCM для систем отопления и охлаждения для зданий. Существует большое количество PCM, которые плавятся и затвердевают при широком диапазоне температур, что делает их привлекательными в ряде применений. Авторы [8] обобщают исследование и анализ доступных систем хранения тепловой энергии, включающих PCM для использования в различных помещениях, приводят развернутую классификацию материалов и их физических свойств, методы применения.



Рисунок 2 – классификация PCM [8].

В работах [9,2] представлен обзор интеграции различных PCM в ограждающие конструкции. Обсуждаются соображения о структуре ограждающей конструкции и PCM, измерениях теплофизических свойств и различных экспериментальных и численных исследованиях, касающихся интеграции.

Рассмотренные в [9] PCM имеют хороший потенциал для снижения охлаждающих нагрузок за счет увеличения емкости аккумулятора. Как бы то ни было, эту емкость можно увеличить с увеличением теплопроводности PCM интегрированного в конструкцию. С практической точки зрения, необходима более систематическая оценка различных PCM, интегрированных в структуру здания, в частности, в реальных условиях использования.

Авторы [10] провели экспериментальное исследование интеграции PCM в структуру ограждающих конструкций. Объектом исследования являлось небольшое помещение, при строительстве которого в бетон был включен микроинкапсулированный PCM. Второе сооружение с такими же характеристиками и ориентацией, но построенная со стандартным бетоном, была расположена рядом с первой в качестве эталона. Исследователи получили значимые результаты, так как внутри объектов наблюдались температурные различия до 4°C между, а пиковые значения были сдвинуты на более поздние часы.

Исследование [11] дает полезные данные об использовании PCM в жилых помещениях, и результаты, помогающие архитекторам и инженерам решать, когда и где использовать PCM в зданиях с целью сбережения энергии и как следствие экологизации. Авторы приводят моделирование теплофизических процессов в здании с интегрированными PCM. Результаты показывают, что PCM оказывает значительное влияние на смягчение перегрева в жилых зданиях. Влияние на снижение перегрева зависит от преобладающих погодных условий.

Российскими исследователями [1] проанализированы достижения в области создания новых строительных материалов, в состав которых включено вещество с

фазовым переходом, позволяющее аккумулировать тепловую энергию за счет поглощения и отдачи теплоты и тем самым значительно улучшить микроклимат помещения.

Известный химический концерн BASF разработал и наладил промышленное производство нового материала Micronal PCM. Micronal PCM представляет собой микрокапсулы из полимеров, внутри которых находится PCM, имеющий температуру плавления близкую к комнатной, например, парафин.

Micronal PCM компании BASF представляет собой скрытый микроинкапсулированный накопитель тепла, который действует по следующему принципу: микроскопически малые полимерные капсулы, внутри которых находится вещество, содержащее чистый воск, так называемые материалы с изменяющимся фазовым состоянием, вводятся в сухую гипсовую штукатурку во время ее изготовления. Если температура в помещении превышает температуру перехода 26°C , заданную при изготовлении, воск внутри капсул плавится и поглощает излишки тепла. С другой стороны, если температура снижается, воск затвердевает, и капсулы отдают тепло обратно. Разница между дневной и ночной температурой обеспечивает попеременную последовательность плавления и отверждения. Таким образом, Micronal PCM помогает поглощать дневную пиковую температуру [12].

В отечественных исследованиях [13,14] авторами рассмотрены возможности и перспективы применения в строительстве и создания новых микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом, обладающих улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками.

Авторы [15] установили, что добавка Micronal PCM производства компании снижает прочность гипсовых составов на сжатие и изгиб.

В работе [16] приведены исследования по вакуумированию различных строительных материалов с целью снижения их теплопроводности и установлено, что низкий вакуум практически не влияет на характеристики Micronal PCM.

Недостатком PCM инкапсулированных в меламинформальдегидные смолы, в другие типичные полимерные и поликонденсационные материалы является их горючесть и способность при термодеструкции или старении выделять токсичные продукты, что типично для достаточно широкого спектра полимерных материалов [13].

Заключение

Теплоемкость ограждающих конструкций выступает как аккумулятор теплоты, чем уменьшает пиковые значения температур и смещают их во времени. Однако, отказываться от легких эффективных утеплителей в пользу массивных каменных конструкций с высокой теплоемкостью не целесообразно. Альтернативой теплоемкости может выступать скрытая теплота материалов с изменяющимся фазовым состоянием с температурой фазового перехода близкой к комнатной или ниже.

Анализ исследований отечественных и зарубежных авторов показал, что интеграция PCM в ограждающие конструкции положительно влияет на температурные показатели помещений, может быть эффективна с точки зрения энергосбережения. Одним из наиболее распространенных материалов данного вида является Micronal PCM производства BASF.

Для применения PCM необходимы многочисленные исследования. У этих материалов несмотря на преимущества существуют и недостатки, которые не позволяют их практическое применение: химическая неустойчивость, разделение фазы, коррозия, горючесть и т. д.

Чтобы гарантировать эффективность применения PCM, необходимо учесть климатические характеристики, подобрать материал с соответствующей температурой плавления и нуклеации, теплопроводностью и другими параметрами, определить оптимальные конструктивные решения и методы интеграции. Необходимо подробно изучить характеристики данных материалов.

Библиографический список

1. Е.А. Казарова, В.Т. Перцев, С.М. Усачев: Возможность применения веществ с фазовым переходом для различных строительных материалов // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. №7. Изд. Воронежский государственный технический университет (Воронеж), 2013
2. Nicola Rinaldi. Thermal Mass, Night Cooling and Hollow Core Ventilation System as Energy Saving Strategies in Buildings. Master Thesis. KTH – Стокгольм, Швеция, 2009 // <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:423877/FULLTEXT01.pdf> (24.05.2018)
3. Энергетика: история, настоящее и будущее: В 4-х т. Т. 2: Познание и опыт - путь к современной энергетике. К. : Издательский дом «АДЕФ-Украина», 2006. 350 с.
4. С. А Чистович. 100 лет теплофикации и централизованному теплоснабжению в России // Сборник статей под ред. В.Г.Семенова. М.: изд. «Новости теплоснабжения» 2003
5. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003
6. А.В. Лыков. Теория теплопроводности // «Высшая школа» М. 1967. 599с.
7. Назиров Р.А, Волков А.Н. Теоретический расчет теплофизических свойств цементных бетонов с использованием теплоемкого заполнителя // Вестник ТГАСУ № 2, 2014
8. Atul Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi Review on thermal energy storage with phase change materials and applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 2009.
9. F. Kuznik, D. David, K. Johannes, J.-J. Roux. A review on phase change materials integrated in building walls. Renewable and Sustainable Energy Reviews, // Elsevier, 2011.
10. C. Castellón M. Medrano, PhD J. Roca, PhD M. Nogués, PhD, A. Castell L.F. Cabeza, PhD Use of Microencapsulated Phase Change Materials in Building Applications // <http://www.solaripedia.com/files/991.pdf> (24.05.2018)
11. Marine Auzéby, Shen Wei, Chris Underwood, Jess Tindall, Chao Chen, Haoshu Ling and Richard Buswell. Effectiveness of Using Phase Change Materials on Reducing Summer Overheating Issues in UK Residential Buildings with Identification of Influential Factors // Energies, Volume 9, Issue 8 (August 2016)
12. Плотников В.В., Никишина А.В. Ограждающие конструкции с управляемыми и изменяющимися свойствами для интеллектуальных зданий // «Инновации в строительстве-2017»: материалы международной научно-практической конференции (Брянск, 20-22 нояб. 2017 г. Т.2/ Брян. гос. инженер.-технол. ун-т; Брянск, 2017. – 337 с.
13. Рёсснер Ф., Рудаков О.Б., Альбинская Ю.С., Иванова Е.А., Перцев В.Т. Применение микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом в строительстве // Науч. Вестник Воронежского ГАСУ. Серия: Физикохимические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. - Воронеж, 2012. - № 1. - С. 64-70.
14. Перцев В.Т., Рудаков О.Б., Иванова Е.А., Альбинская Ю.С. Микрокапсулированные материалы с фазовым переходом в строительстве. // Материалы XIII междунар. науч.-технич. конф. «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии». - Тула, 27 – 29 июня 2012 г. - С. 57-58.

15. Новиков Н.С, Жжонных А.М. Влияние материала с изменяющимся фазовым состоянием на прочность гипсовых образцов. // Вестник Науки и Творчества. 2016. № 1 (1). С. 90-92.

16. Назиров Р.А, Новиков Н.С, Жжонных А.М. Исследование влияния низкого вакуума на теплопроводность различных строительных материалов. // Science Time. 2016. № 1 (25). С. 349-356.



УДК 621.321

DOI 10.1555/2409-3203-2018-0-14-173-180

СОВРЕМЕННЫЕ LED-ФИТОИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ТЕПЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Долгих Павел Павлович

к.т.н., доцент кафедры агроинженерии
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ Ачинский филиал
Россия, г. Ачинск

Хусенов Гулмирзо Наврузович

аспирант кафедры системозенергетики
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ
Россия, г. Красноярск

Аннотация: В работе подчеркивается необходимость применения облучателей для управления продукционным процессом в тепличных технологиях. Произведена классификация облучательных установок по способу применения. Рассмотрены четыре схемы облучения на базе LED-фитоизлучателей: высотная досветка, стеллажная технология, боковая досветка, решения для закрытых объемов. Установлено, что компании производители облучателей предлагают на выбор «рецепты досветки» - различные комбинации спектра, интенсивности, времени досветки, равномерности и способов размещения. Это позволяет управлять специфичными параметрами растения, такими как компактность, интенсивность окраски, ветвление, стимуляция цветения. Благодаря таким характеристикам светодиодные производственные модули фирмы Philips нашли широкое применение в фитотронах, вегетационных шкафах и камерах, климатических камерах. Анализ информации по материалам изобретений и полезных моделей позволил установить, что научная и инженерная мысль движется в сторону создания систем облучения, адаптирующихся под физиологию растений, за счет регулирования характеристик облучателей.

Ключевые слова: Теплицы, технологии облучения, LED-фитоизлучатели, светодиодные модули, управляемое растениеводство, урожайность, качество растений.

MODERN LED-PHYTOPHYSIS FOR GREENHOUSE TECHNOLOGIES

Pavel P. Dolgikh

Ph.D, Associate Professor of the department of agroengineering
Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University
Russia, the city of Achinsk

Gulmirzo N. Khusenov