

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATIONS OF ICE CRYSTALLIZATION IN AQUEOUS SOLUTIONS

The article has been received by editorial board 26.08.2016, in the final version – 05.11.2016.

Chegnimonhan Kouamy Victorin, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Teacher in the Department of Thermal Engineering and Energetics, Polytechnic School of the University of Nantes, Laboratory of Thermokinetics BP 50609, 44306 Nantes, France; (LTN) – CNRS UMR 6607, e-mail: victorin.chegnimonhan@univ-nantes.fr

Guidi Tognon Clotilde, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Laboratory Processes and Technology Innovation (LaPIT), University Institute of Technology Lokossa, Lokossa University, BP 133 Lokossa, Benin, e-mail: iut.lokossa@yahoo.fr, guidi65@mail.ru

Toukourou Chakirou Akanho, Ph.D. (Engineering), Master – Assistant, Laboratory of Thermophysical Characterization of Materials and Energy Appropriation (Laboratoire de Caractérisation Thermophysique des Matériaux et d'Appropriation Energétique, LABO – C. T. M. A. E.), Laboratory of Energetics and Applied Mechanics (LEMA), University of Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Benin, e-mail: potemat@yahoo.fr

Josset Christophe, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Teacher in the Department of Thermal Engineering and Energetics, Polytechnic School of the University of Nantes, Laboratory of Thermokinetics BP 50609, 44306 Nantes, France; (LTN) – CNRS UMR 6607, e-mail: christophe.josset@univ-nantes.fr

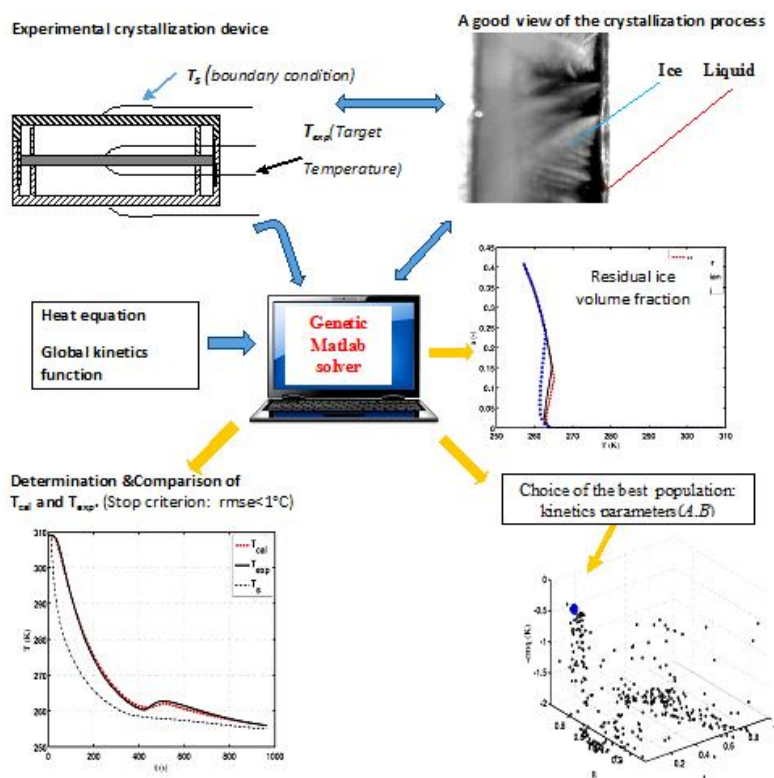
Galimova Larisa V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Laboratory of Refrigerating Machinery Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva, Astrakhan 414025, Russia, Corpus 2, e-mail: galimova_lv@mail.ru

Vianou Antoine, Ph.D. (Engineering), Professor, Laboratory of Thermophysical Characterization of Materials and Energy Appropriation (Laboratoire de Caractérisation Thermophysique des Matériaux et d'Appropriation Energétique, LABO-C. T. M. A. E.), University of Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Benin, 01 BP 2009 Cotonou, Benin, e-mail: avianou@yahoo.fr

The formation of ice slurry from pure water or different aqueous solutions of Mono Propylene Glycol (MPG) immersed in an isothermal cooling bath is studied. The mathematical model is based on the unsteady heat equation coupled with a kinetic description of crystal growth obtained from classical nucleation theory. The kinetics approach takes into account the stochastic behaviour of nucleation and includes molecules diffusion involved in crystal growth. A focus is made on the implementation of the method and its validity. The approach is suitable to describe ice growth in MPG-water binary solutions (weight concentration range w_c % from 0 to 25). A correlation is proposed to address ice kinetics of crystallisation for slurries obtained from MPG solutions.

Keywords: ice slurry, crystallization, secondary refrigerant, sustainable development, energy saving, secondary refrigerant, inverse method, energy storage, ice formation, nucleation, refrigeration, genetic algorithm

Графическая аннотация (Graphical annotation)



УДК 004.92:[532.785+621.54]

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛЬДА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ***Статья поступила в редакцию 26.08.2016, в окончательном варианте – 05.11.2016.*

Шегнимонхан Куати Викторин, кандидат технических наук, доцент, лаборатория термодинамики (LTN) – UMR CNRS 6607, Политехническая школа университета Нанта, BP 50609, 44306 Нант, Франция; лаборатория энергетики и технологических инноваций (LaPIT), IUT Локоса –Бенин, BP 133 Локоса, Бенин, e-mail: victorin.chegnimonhan@univ-nantes.fr

Гуди Тоньон Клотильда, кандидат технических наук, доцент, лаборатория энергетики и технологических инноваций (LaPIT), IUT Локоса – Бенин, Университет институт технологий Локоса, Университет Локоса, BP 133 Локоса, Бенин, e-mail: iut.lokossa@yahoo.fr, guidi65@mail.ru

Тукуру Шакиру Аканно, кандидат технических наук, старший преподаватель, Лаборатория теплофизики для материалов и энергии собственности (LABO – С. Т. М. А. Е.), Университет Абомей, 01 BP 2009 Котону, Бенин; лаборатория энергетики и прикладной механики (LEMA), Университет Абомей Калави (Бенин), 01 BP 2009 Котону, Бенин, e-mail: potemat@yahoo.fr

Жоссет Кристоф, кандидат технических наук, доцент, лаборатория термодинамики (LTN) – UMR CNRS 6607, Политехническая школа университета Нанта, BP 50609, 44306 Нант, Франция, e-mail: christophe.josset@univ-nantes.fr

Галимова Лариса Васильевна, доктор технических наук, профессор - лаборатория холодильного оборудования, Астраханский государственный технический университет, 414025, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: galimova_lv@mail.ru

Виану Антуан, кандидат технических наук, профессор, лаборатория термодинамических характеристик материалов и применения энергетики (LABO – С. Т. М. А. Е.), Университет Абомей Калави, 01 BP 2009 Котону, Бенин, e-mail: avianou@yahoo.fr

В статье изучены процессы кристаллизации льда из чистой воды и различных водных растворов монопропиленгликоля (MPG), погруженных в баню с изотермическим охлаждением. Принятая математическая модель процесса основана на использовании нестационарного уравнения теплопроводности в сочетании с кинетическим описанием роста кристаллов, полученных из классической теории нуклеации. Кинетическое приближение учитывает стохастическое поведение для процессов зарождения кристаллов; включает в себя молекулярную диффузию, вовлеченную в процесс роста кристаллов. Акцент сделан на численной реализации метода. Описанный в статье подход пригоден для описания образования кристаллов льда в бинарных растворах MPG воде (весовой диапазон концентраций масс от 0 до 25 %). Исследована корреляция между кинетикой процессов кристаллизации для шламов, полученных из растворов MPG.

Ключевые слова: лед, кристаллизация, шламовые, вторичный хладагент, устойчивое развитие, энергосбережение, вторичный хладагент, обратный метод, накопление энергии, образование льда, зарождение, холодильная техника, генетический алгоритм

Introduction. In scientific and engineering literature have been widely discussed and proven the advantages of using ice slurry as a secondary coolant for energy saving [14, 20]. In the literature can be found even some original applications in medicine [15]. Yet it's still worth outlining that the main interesting properties of ice slurries and other phase change materials are their high cooling energy storage potential. Moreover usage of ice slurries make it possible the distribution of cold working fluid at an almost constant temperature. When applying these matters in cooling systems, less quantity of fluid is needed, compared with classical secondary refrigerant (cooled water or one-phase aqueous solutions) and are available high thermal and environmental performances.

But the key drawbacks of this technology remain the costs of ice slurry generation and the building of the necessary secondary distribution loop. But these hindrances will be overcome by improving energy storage devices and systems by the means of fundamental research works and technical improvements on the subject. In this context some research works are interested in «phase change materials» (PCMs) slurries modelling in order to improve ice generators and their monitoring, or to produce better quality PCMs and to develop energy efficient distribution loops.

The main goals of this article have been experimental investigation of ice crystallization in aqueous solutions; comparing experimental data with results of numerical (computer) modeling for such processes.