

TEKNIKA FANLARI / TECHNICAL SCIENCE

УДК 66.011: 502.174.3: 620.97(075.8)

CFD-АНАЛИЗ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ ДЛЯ СВЕТОПРОЁМА БЛОКА  
СОЛНЕЧНОГО ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Ахмадов Хушдил Санъатович - докторант (PhD),  
ORCID: 0000-0003-1572-088X, E-mail: [xushdil.ahmadov@gmail.uz](mailto:xushdil.ahmadov@gmail.uz)

Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан,  
г. Ташкент, Узбекистан

*Аннотация.* Из-за высокой температуры солнечных термохимических реакторов, вырабатывающих водород, стекло, воспринимающее концентрированный световой поток, деформируется. Поэтому необходимо бутылочное охлаждение, что приводит к модернизации конструкции реактора.

Блок светового проема солнечного термохимического реактора имеет металлический корпус и светопроводящее стекло. Металлический корпус выполнен в виде полого цилиндра с двумя отверстиями сбоку для циркуляции воды. По обеим сторонам корпуса расположены светопропускающие окна с герметичными прокладками, закрепленные крышками, снабженными отверстиями для болтового соединения с корпусом.

По результатам исследований оптимизирован водный контур охлаждения блока для различных температурных диапазонов радиантного блока солнечного термохимического реактора. Это исследование было смоделировано в COMSOL Multiphysics.

При скорости поступающей воды для охлаждения блока светового проема солнечного термохимического реактора 1 м/с и входном отверстии 4-4,5 мм количество выходящей каждую секунду воды близко к 1 молю, и мы можем снабжать водой двухстадийный термохимический цикл, направляя эту нагретую воду непосредственно в реактор.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, солнечный реактор, блок светового проема, тепловой поток, термохимический реактор, прозрачное стекло, эффективность преобразования.

UDC 66.011: 502.174.3: 620.97(075.8)

CFD ANALYSIS OF COOLING WATER FOR LIGHT-TRANSMITTING BLOCK OF A  
SOLAR THERMOCHEMICAL REACTOR

Ahmadov, Khushdil Sanatovich - Doctoral student (PhD),  
ORCID: 0000-0003-1572-088X E-mail: [xushdil.ahmadov@gmail.uz](mailto:xushdil.ahmadov@gmail.uz)

Physical-Technical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
Tashkent city, Uzbekistan

**Abstract.** Due to the high temperature of solar thermochemical reactors that produce hydrogen, the glass that receives the concentrated light flux is deformed. Therefore, it is necessary to cool the bottle, which leads to the modernization of the reactor design.

The light-transmitting unit of the solar thermochemical reactor has a metal body and a light-transmitting glass. The metal body is made in the form of a hollow cylinder with two holes on the side for water circulation. On both sides of the housing there are light-transmitting windows with sealed gaskets, secured by covers equipped with holes for bolted connections to the housing.

*Based on the results of the research, the cooling water cycle for the block was optimized for different temperature ranges of the radiant unit of the solar thermochemical reactor. This study was simulated in COMSOL Multiphysics.*

*With the speed of incoming water to cool the light aperture block of the solar thermochemical reactor being 1 m/s and the inlet opening being 4-4.5 mm, the amount of water coming out every second is close to 1 mole, and we can supply water to the two-stage thermochemical cycle by sending this heated water directly to reactor.*

**Keywords:** solar energy, solar reactor, light-transmitting unit, heat flow, thermochemical reactor, transparent glass, conversion efficiency.

UO‘K 66.011: 502.174.3: 620.97(075.8)

## QUYOSH TERMOKIMYOVIY REAKTORI NUR O‘TQAZUVCHI BLOKINING SOVITISH SUVI UCHUN CFD TAHLIL

**Ahmadov Xushdil San‘atovich** –doktorant (PhD),  
ORCID: 0000-0003-1572-088X E-mail: [xushdil.ahmadov@gmail.uz](mailto:xushdil.ahmadov@gmail.uz)

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Fizika-texnika instituti, Toshkent sh., O‘zbekiston

**Annotatsiya.** *Vodorod ishlab chiqaradigan quyosh termokimyoviy reaktorlarining yuqori harorati tufayli konsentrlangan yorug‘lik oqimini qabul qiluvchi shisha deformatsiyalanadi. Shuning uchun shishani sovitish kerak, bu esa reaktor dizaynini modernizatsiya qilishga olib keladi.*

*Quyosh termokimyoviy reaktorining nur o‘tqazuvchi blokida metall korpus va yorug‘lik o‘tkazuvchi oyna mavjud. Metall korpusda suvni aylanishi uchun yon tomonida ikkita teshikka ega bo‘lgan ichi bo‘sh silindr shaklida qilingan. Korpusning ikkala tomonida korpusga murvatli ulanishlar uchun teshiklar bilan jihozlangan qopqoqlar bilan mahkamlangan, muhrlangan qistirmalari bo‘lgan yorug‘lik o‘tkazuvchi oynalar mavjud.*

*Tadqiqot natijalari asosida quyosh termokimyoviy reaktorining nur o‘tqazuvchi blokining har xil harorat diapazonlari uchun blokga sovitish suvi sikli optimallashtirildi. Ushbu tadqiqot COMSOL Multiphysics dasturida simulyatsiya qilingan.*

*Quyosh termokimyoviy reaktorining nur o‘tqazuvchi blokini sovitish uchun suvning tezligi 1 m/s va kirish teshigi 4-4,5 mm bo‘lgan holda, har soniyada chiqadigan suv miqdori 1 molga yaqin bo‘ladi. Bu qizdirilgan suvni to‘g‘ridan-to‘g‘ri reaktorga yuborish orqali suvni ikki bosqichli termokimyoviy reaksiya uchun ishlata olamiz.*

**Kalit so‘zlar:** *quyosh energiyasi, quyosh reaktori, nur o‘tqazuvchi blok, issiqlik oqimi, termokimyoviy reaktor, shaffof shisha, konversiya samaradorligi.*

### Введение

Водород является универсальным источником энергии и в будущем может стать переходным энергоресурсом при полном переходе от традиционных источников энергии к возобновляемым источникам энергии и замене углеводородов в качестве источников энергии [1-2]. Солнечная энергия может удовлетворить энергетические потребности всего мира, используя несколько процентов незаселенных территорий [3,4]. В то же время производство водорода с использованием концентрированной солнечной энергии является одним из перспективных методов. В Узбекистане, в Китае, в Японии, в Швейцарии, во Франции, разработаны концепции солнечных термохимических реакторов, в которых получены определенные результаты [5-10].

Известен реактор [11], который использует солнечное тепло, где для термического разложения необходимо концентрированное солнечное излучение. Изобретатели Тацуя

Кодама, Ниигата (Япония); Кодзи Мацубара, Ниигата (Япония); Нобуюки Гокон разработали модель приемника солнечного света (приемника или приемника тепла) компании Niigata (JP).

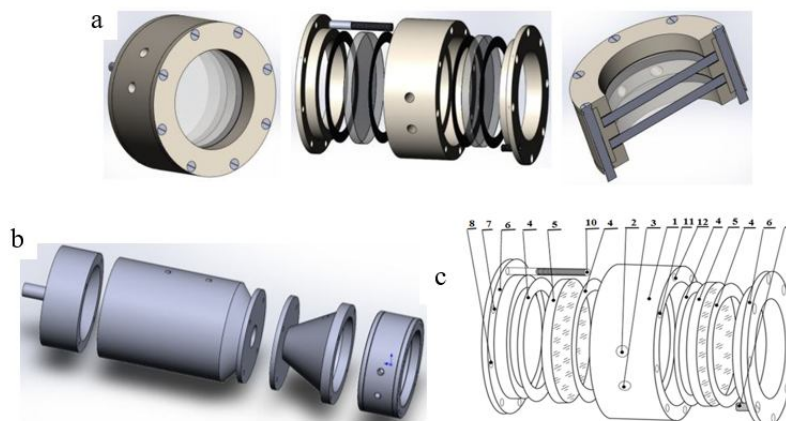
Известна работа [9], где говорится о том, что на сегодняшний день разработаны много солнечных реакторов и ихние светопропускающие части изготовлены из кварцевого стекла или стекла различной формы. В этой работе анализируются реакторы, в котором светопропускающее стекло реактора ведет к деформации при высоких температурах, где термохимическая реакция происходит при высоких температурах, т.е. от 700 К до 2300 К. Естественно, эта температура влияет на светопропускающее стекло, и стекло необходимо охлаждать.

Известна работа [12], где рассмотрены оптические характеристики кварцевого стекла и его оптическая эффективность. В работе учитываются светопропускание, коэффициенты поглощения и отражения кварцевого стекла, а также закон Стефана-Больцмана. Здесь материал реактора соприкасается с металлом и светоизлучающим кварцевым стеклом, градиент температуры направляется через металл к стеклу, что нагревает стекло и с большей вероятностью ведет к ее деформации.

### Методы и материалы

Задачей блока светового проема является усовершенствование конструкции охлаждающего устройства для реактора, где имеется возможность контролирования температуры и охлаждения светопропускающего стекла блока светового проема реактора, не допуская её перегрева с уменьшением конвективных теплопотерь, а также использование недорогого обычного стекла используемого в блоке светового проема реактора.

Поставленная задача решается тем, что в предлагаемом блоке светового проема в светоприёмной части блока реактора устанавливаются два светопропускающих стекла, где для недопускания её перегрева от солнечного излучения внесена система охлаждения водой между ними, где также снижаются конвективные теплопотери, и обеспечивается стабильность прохождения реакции в реакторе [13].



**Рис 1. Общий и схематик вид блок светового проема солнечного термохимического реактора**

Блок светового проема солнечного термохимического реактора состоит из следующих основных частей: на рис.1(а) приводится детальный общий вид охлаждающего устройства, т.е. блок светового проема реактора. Устройство состоит из дискообразного металлического корпуса 1 на котором имеются два отверстия 2 и 3 через которые осуществляется процесс циркуляции охлаждающего агента. На корпус с двух сторон поочередно прокладываются герметизирующие прокладки 4 и стекла 5 и с двух сторон закрываются крышками 6, которые имеют четыре отверстия 7 и четыре отверстия 8 для коротких болтов 9 и длинных болтов 10 соответственно. С помощью четырех коротких болтов 9 крышки 6 с двух сторон крепятся к дискообразному

металлическому корпусу 1 (см. рис.1(c)), затем с помощью четырех длинных болтов 10 собранный блок светового проема т.е. охлаждающее устройство в целом крепится к самому реактору. На дискообразном металлическом корпусе 1 тоже имеются четыре резьбовых отверстия 11 для крепления короткими болтами, а также четыре сквозных отверстия 12 для прохода длинных болтов к корпусу реактора (см. рис. 1,(b)) [14]. Реактор, показанный на рис. 1(b), разработаны, и его теплофизические параметры, которые можно найти в следующей статье [8].

### Результаты и обсуждение

Солнечный термохимический реактор, представленный выше на рис. 1(b), был спроектирован по [8], а его блочная часть, то есть блок светового проема спроектирована в соответствии с его размерами. Размеры блока светового проема солнечного термохимического реактора представлены на рис. 2. Результаты были получены с использованием компьютерных программ COMSOL Multiphysics и эти результаты сравниваются с расчётными и экспериментальными результатами.

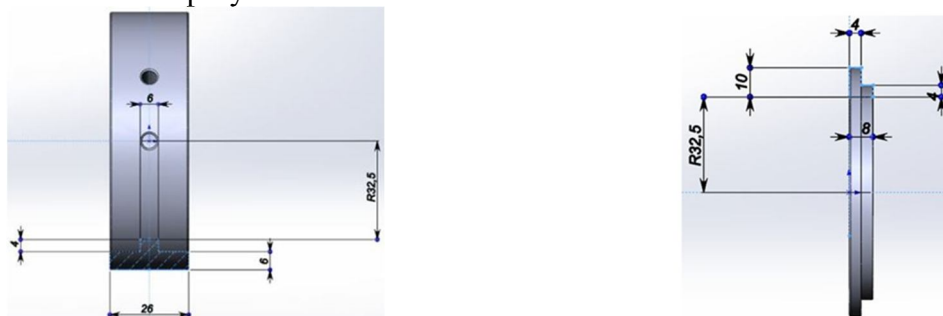
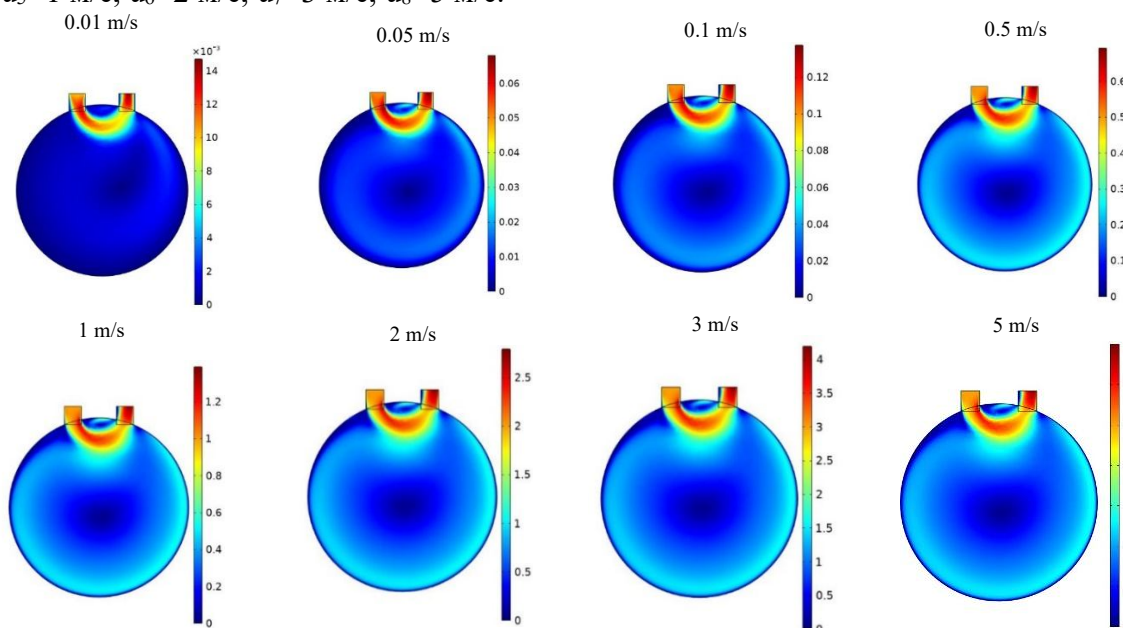
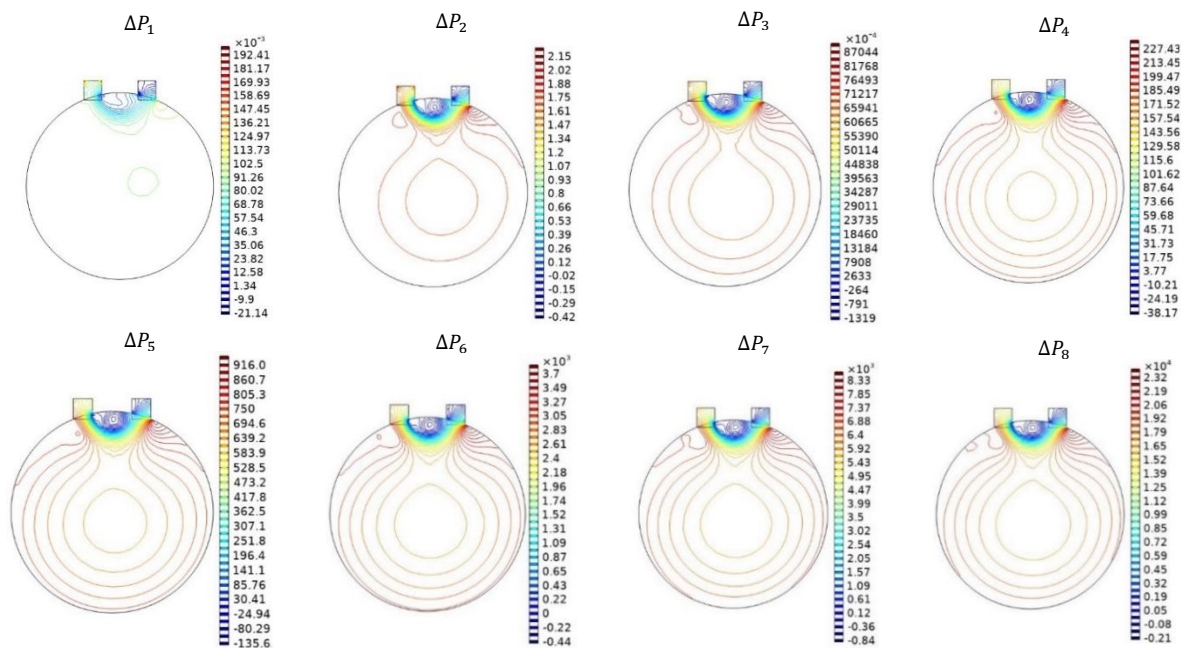


Рис 2. Размеры корпуса и крышки блока светового проема солнечного термохимического реактора, (мм)

Физические процессы, происходящие в блоке светового проема солнечного термохимического реактора, исследовались в 2D и 3D моделях в COMSOL Multiphysics. Была разработана 2D модель и полученные результаты представлены на рис. 3, соответственно скорость потока воды на входе в блок составляет  $u_1=0,01$  м/с,  $u_2=0,05$  м/с,  $u_3=0,1$  м/с,  $u_4=0,5$  м/с,  $u_5=1$  м/с,  $u_6=2$  м/с,  $u_7=3$  м/с,  $u_8=5$  м/с.

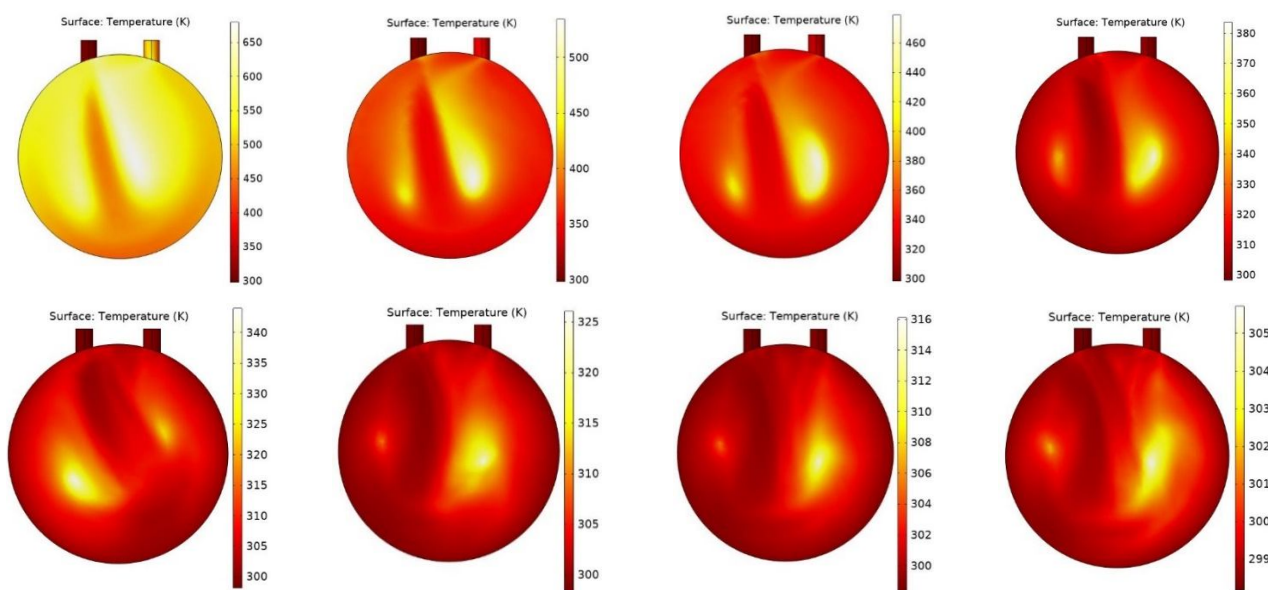




**Рис 3. Скорость движения воды и удельное давление воды в блоке светового проема солнечного термохимического реактора**

На рис. 3 мы видим удельное давление воды внутри блока пропорционально скорости:  $\Delta P_1$  для  $u_1$ ,  $\Delta P_2$  для  $u_2$  и так далее. В этом случае при скорости поступления воды в блок 2 м/с создается давление  $\Delta P_6=3700$  Па, а при скорости 5 м/с видно, что удельное давление, создаваемое водой, достигает 23000 Па. В этом случае можно сделать вывод, что удельное давление воды увеличивается при скорости входа воды выше 1 м/с и может оказывать негативное влияние на светопропускающее стекло.

Этого вывода недостаточно, так как при скорости воды, поступающей в блок 1 м/с, с учетом высокой теплоты солнечного излучения и высокого коэффициента концентрации концентратора температура может повышаться, и эта температура может быть высоким для стекла, пропускающего свет. На основании этого для каждой набегающей скорости была разработана 3D-модель и проверена температура (рис. 4).



**Рис. 4. Температура воды при разных скоростях на входе ( $u_1=0,01$  м/с,  $u_2=0,05$  м/с,  $u_3=0,1$  м/с,  $u_4=0,5$  м/с,  $u_5=1$  м/с,  $u_6=2$  м/с,  $u_7=3$  м/с,  $u_8=5$  м/с соответственно).**

Как показано на рис. 3, необходимо предотвратить закипание воды в процессе охлаждения светоизлучающего стекла блока, что приведет к повышению давления или деформации обычного прозрачного стекла. На рис. 4 температура достигала 650 К при скорости на входе воды  $u_1$ , 500 К при  $u_2$  и 460 К при  $u_3$ . При скорости выше  $u_4$  вода не закипает, а к оптимальному условию она приближается при скорости подачи воды около 1 м/с, так как при большей скорости давление воды может увеличиваться и негативно влиять на стекло, а при скорости ниже этой скорости температура увеличивается (рис. 4).

### Выводы

С учетом вышеизложенных результатов, теплофизические процессы, происходящие внутри блока светового проема солнечного термохимического реактора в программе Comsol Multiphysics, при граничных условиях  $I_0=800$  Вт/м<sup>2</sup>,  $C=150$ ,  $T_0=298.15$  К, вода на входе показал, что скорость  $u=1$  м/с. Выходящую из блока воду желательно использовать для термохимического процесса в реакторе. Если скорость выше 1 м/с, давление может увеличиться и повредить светопропускающее стекло. При скорости поступающей воды для охлаждения блока светового проема солнечного термохимического реактора 1 м/с и входном отверстии 4-4,5 мм количество выходящей каждую секунду воды близко к 1 молу, и мы можем снабжать водой двухстадийный термохимический цикл, направляя эту нагретую воду непосредственно в реактор. В результате вода нагревается и требует меньше энергии для ее нагрева. Если принять скорость набегающей воды как 1,0 м/с, то создается температура, которую нужно достичь. При охлаждении металла и светопропускающего стекла температура достигала 340 К. Разница давлений существенно изменилась  $\Delta P=1$ кПа. В этом случае среднее объемное давление равно 700 Па. Полупрозрачное стекло выдерживает такое давление, учитывая параметры пропускающего стекла, температура достаточная. Это также может быть решением для вышеуказанных граничных условий. Блочная система вместе с водой представляет собой прозрачную среду и пропускает в реактор почти 80% падающего концентрированного солнечного света. Если необходимо контролировать теплоту во время реакции, это делается путем изменения скорости потока воды.

### Литература

- [1] Steinfeld, A., 2005. Solar thermochemical production of hydrogen: a review. *Sol. Energy* 78, 603–615.
- [2] Romero, M., Steinfeld, A., 2012. Concentrating solar thermal power and thermochemical fuels. *Energy Environ. Sci.* 5, 9234–9245.
- [3] Graves, C., Ebbesen, S.D., Mogensen, M., Lackner, K.S., 2011. Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O with renewable or nuclear energy. *Renew. Sust. Energy Rev.* 15, 1–23.
- [4] Pedro J. Megía, Arturo J. Vizcaíno, José A. Calles, and Alicia Carrero // Hydrogen Production Technologies: From Fossil Fuels toward Renewable Sources. A Mini Review // *Energy Fuels* 2021, 35, 16403–16415
- [5] A.A.Abdurakhmanov, A.Sh.Khodzhaev, M.A.Mamatkosimov, and Zh.Z.Akhadov. Development of Autonomous Solar Hydrogen Power Plant of Capacity to 5 kW. *Applied Solar Energy*, 2009, Vol. 45, No. 2, pp. 96–98.
- [6] Tianzeng Ma, Jian Cong, Zheshao Chang, Qiangqiang Zhang, Jasurjon S. Akhatov, Mingkai Fu, Xin Li // Heat transfer and solar absorption analysis of multiscale CeO<sub>2</sub> reduction for rapid H<sub>2</sub> production prediction // *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 47, Issue 51, 16 June 2022, Pages 21681-21689.
- [7] Jian Cong, Tianzeng Ma, Zheshao Chang, Jasurjon S. Akhatov, Mingkai Fu, Xin Li // Coupling of the water-splitting mechanism and doping-mixture method to design a novel Cr-perovskite

- for rapid and efficient solar thermochemical H<sub>2</sub> production // *Inorg. Chem. Front.*, 2022,9, 5714-5724.
- [8] Jasurjon S.Akhatov , Khushdil S.Akhmadov. Extraction of hydrogen from water using CeO<sub>2</sub> in a solar reactor using a concentrated flux of solar radiation. *Applied Solar Energy*, 2022, Vol. 58, No. 6, pp. 889–894.
- [9] E. Koepf, I.Alxneit, C.Wieckert, A.Meier. A review of high temperature solar driven reactor technology: 25 years of experience in research and development at the Paul Scherrer Institute. *Applied Energy* 188 (2017) 620–651.
- [10] Robert C.Pullar, Rui M.Novais, Ana P.F.Caetano, Maria Alexandra Barreiros, Stéphane Abanades and Fernando A.Costa Oliveira. A Review of Solar Thermochemical CO<sub>2</sub> Splitting Using Ceria-Based Ceramics with Designed Morphologies and Microstructures. *Front. Chem.*, 04 September 2019. *Sec. Chemical and Process Engineering Volume 7 – 2019*. doi.org/10.3389/fchem.2019.00601.
- [11] Tatsuya Kodama, Niigata (JP); Koji Matsubara, Niigata (JP); Nobuyuki Gokon, Niigata (JP). Concentrated solar heat receiver, reactor and heater. Patent US010260014B2 Apr. 16, 2019.
- [12] Selvan Bellan, Tatsuya Kodama, Hyun Seok CHO, and Jin-Soo Kim. Hydrogen production by solar fluidized bed reactor using ceria: Euler-Lagrange modelling of gas-solid flow to optimize the internally circulating fluidized bed. *Journal of Thermal Science and Technology*, Vol.17, No.2 (2022).
- [13] Jian Cong, Tianzeng Ma, Zheshao Chang, Qiangqiang Zhang, Jasurjon S. Akhatov, Mingkai Fu, Xin Li // Neural network and experimental thermodynamics study of YCrO<sub>3-δ</sub> for efficient solar thermochemical hydrogen production // *Renewable Energy*. Volume 213, September 2023, Pages 1-10.
- [14] Akhatov J.S., Samiyev K.A., Khalimov A.S., Akhmadov Kh.S., Rashidov K.Y., Light-transmitting block of a solar-thermochemical reactor. № FAP 02072, 2022.