

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
НПО «ФИЗИКА-СОЛНЦЕ»



ACADEMY OF SCIENCES OF UZBEKISTAN
SCIENTIFIC ASSOCIATION "PHYSICS-SUN"

ТРУДЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ



PROCEEDINGS
OF INTERNATIONAL CONFERENCE
FUNDAMENTAL AND APPLIED
PROBLEMS OF PHYSICS

СЕКЦИЯ-III:
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И
ГЕЛИОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ИХ ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

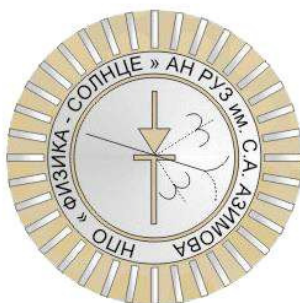
Ташкент-2017 г.

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
НПО «ФИЗИКА-СОЛНЦЕ»

ACADEMY OF SCIENCES OF UZBEKISTAN
SCIENTIFIC ASSOCIATION "PHYSICS-SUN"

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ**

**FUNDAMENTAL AND APPLIED
PROBLEMS OF PHYSICS**



**ТРУДЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**PROCEEDINGS
OF INTERNATIONAL CONFERENCE**

**СЕКЦИЯ-III:
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И
ГЕЛИОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ИХ ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ**

13 - 14 июня

Ташкент-2017 г.

**АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
НПО «ФИЗИКА-СОЛНЦЕ»**

Программный комитет

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. Лутпуллаев С.Л.–проф, председатель | 12. Саидов М.С. – академикАН РУз |
| 2. Юлдашев Б.С. – академик, през. АН РУз | 13. Тураев Н.Ю. – академикАН РУз |
| 3. Ашуров М.Х. – академикАН РУз | 14. Мирзаев С.З. – д.ф.-м.н. |
| 4. Гуламов К.Г.- академикАН РУз | 15. Бахрамов С.А.– профессор |
| 5. Захидов Р.А. – академикАН РУз | 16. Атабаев И.Г. – д.ф.-м.н. |
| 6. Мамадалимов А.Т. – академикАН РУз | 17. Авезов Р.Р. – профессор |
| 7. Мукимов К.М. – академикАН РУз | 18. Абдурахманов А. – профессор |
| 8. Муминов Р.А. – академикАН РУз | 19. Гулямова Д.Ж. – профессор |
| 9. Муминов Т.М. – академикАН РУз | 20. Ашуров Х.Б. – д.ф.-м.н. |
| 10. Мусаханов М.М. – академикАН РУз | 21. Ташметов М. – д.ф.-м.н. |
| 11. Расулев У.Х. – академик АН РУз | 22. Садыков И. – д.х.н. |

Организационный комитет

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. Лутпуллаев С.Л., Проф., пред.конф., ФТИ | 11. Баизаков Б.Б., зав.лаб., ФТИ |
| 2. Ахатов Ж.С., зам.пред.конф., ФТИ | 12. Цой Э., с.н.с., ФТИ |
| 3. Атабаев И.Г., зам.пред.конф., ИМ | 13. Авезова Н.Р., зам. дир. МИСЭ |
| 4. Матчанов Н.А., дир. МИСЭ | 14. Абдурахманов А.А., зав.лаб., ИМ |
| 5. Саидханов Н.Ш., учен.секр., ФТИ | 15. Сулейманов С.Х., зав.лаб., ИМ |
| 6. Саидов А.С., зав.лаб., ФТИ | 16. Файзиев Ш., зав.лаб., ИМ |
| 7. Олимов К., зав.лаб., ФТИ | 17. Усмонов Ш., с.н.с., ФТИ |
| 8. Разыков Т.М., зав.лаб., ФТИ | 18. Кабулов Р., с.н.с., ФТИ |
| 9. Каримов А.В., зав.лаб., ФТИ | 19. Собиров Х., с.н.с., ФТИ |
| 10. Турсунов М.Н., зав.лаб., ФТИ | 20. Жураев Э.Т., секр.конф., ФТИ |

Партнеры:

- NUS-CBIS: National University of Singapore, Center for BioImaging Science. Singapore
- Научно-технический центр "ТАТА", Саров, Россия
- MITI: Бранденбургский Институт по поддержке развития технологий и инноваций, Германия
- Институт Материаловедение НПО "Физика-Солнце" Академии наук Республики Узбекистан
- ООО "Solar Energy Product", Ташкент, Узбекистан

Partners:

- NUS-CBIS: National University of Singapore Center for BioImaging Science. Singapore
- Scientific-Technical Center "TATA", Sarov, Russia
- MITI: Märkishes Institut für Technologie- und Innovationsförderung , Germany
- Institute of Materials Science, SA "Physics-Sun" Academy of Sciences of Uzbekistan
- "Solar Energy Product" Co. Ltd., Tashkent, Uzbekistan

ВВЕДЕНИЕ

Научно-техническая революция, вызванная бурным ростом фундаментальных и прикладных наук, прежде всего наук о природе, открыла широчайшие возможности перед человечеством. Она породила также ряд новых проблем, решение которых вряд ли будет возможно без дальнейшего развития всех отраслей науки. Очевидно, что фундаментальная и прикладная физика и в дальнейшем будет оказывать значительно влияние на развитие человеческой цивилизации.

Физика является наукой, изучающей наиболее простые, общие законы природы и сыграла основную роль в развитии современной техники и технологии, передовых отраслей экономики, промышленности, производства.

Физика в Узбекистане, как и в научных центрах других стран мира, имеет прочную и принципиальную основу. Достижения наших ученых в этой области нашли и находят международное признание, отражены в многочисленных публикациях, как в отечественных, так и в зарубежных журналах, проводятся совместные исследования с зарубежными научными центрами. На основе научных разработок осваивается и осуществляется выпуск новых видов наукоемкой продукции в республике.

В целях подведения итогов научно-исследовательской деятельности, критического осмысления результатов фундаментальных и прикладных исследований, определения приоритетов на ближайшие годы в Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце» АН РУз традиционно проводится конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». В этом году конференция проводится в международном формате, что даст возможность ученым Узбекистана, работающим в различных направлениях физической науки, не только обсудить результаты своей научно-исследовательской деятельности в более широкой и, мы надеемся, в более критичной международной аудитории, но и сопоставить их с тенденциями мировой науки, а также воспользоваться международной экспертизой при планировании будущих фундаментальных и прикладных исследований и разработок.

Редакционная коллегия

INTRODUCTION

The scientific and technological revolution caused by rapid growth of fundamental and applied researches, first of all in natural sciences opens wide opportunities for the development. It also creates a number of new problems which solution will be hardly possible without further development of all branches of science. It is obvious that development of researches in fundamental and applied physics will impact considerably the development of a human civilization.

The physics is the science studying the simplest and general laws of the nature and it had played the significant role in the development of the modern techniques and technologies, all branches of economy, industry and the production.

The physics in Uzbekistan, as well as in scientific centers of other countries of the world, has a strong basis. Achievements of our scientists have found the international recognition, and they are reflected in numerous publications in international scientific journals. We are collaborating with many international scientific centers. We believe that scientific results will be reflected in development of new types of the knowledge-intensive production in our republic.

The conference "Fundamental and applied problems of physics" is traditionally organized by Physical-technical institute of Scientific Association "Physics-Sun" of Academy of Sciences of Uzbekistan to summarize the newest results of scientific researches in Uzbekistan in the field of physics and to define the most promising directions of their development. Now our conference has an international format and we believe that participation of our colleague from different scientific centers and countries not only intensifies our future collaborations but also bring more courage to discussion on the conference.

Editorial board

Ti:SAPPHIRE AS A FREQUENCY CONVERTER FOR SOLAR PUMPED Nd:YAG LASERS

Sh. Payziyev¹, Kh. Makhmudov¹, Yasser A. Abdel-Hadi²

*1-Institute of Ion-plasma and Laser technologies of Uzbekistan Academy of Sciences,
Tashkent 100125, Uzbekistan, Durmon yuli st. 33*

e-mail: payziyev_sh@mail.ru,

*2-National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG),
Helwan 11421, Cairo, Egypt*

Abstract

The possibility of more than two-fold increase of Nd:YAG solar pumped lasers pumping efficiency with the use of Ti:Sapphire as a solar spectrum frequency-down-shifting element is shown by the simulation calculation method.

Key words: Ti:Sapphire, solar pumped laser, frequency converter

1. Introduction

One of the ways in which the solar pumped lasers efficiency may be improved by better exploitation of the solar spectrum is the use of frequency-down-shifting, where one high energy photon is converted to a low-energy-photon. This mechanism can introduce a new approach in the field of solar-pumped laser through decreasing the threshold power and accordingly increasing the efficiency of the solar laser which is still lying in the range of few percents.

Since the first solar pumped laser was reported by Yung [1] in 1966 it have been realized a number of solar-pumped laser systems [2 - 16]. However the maximum recorded efficiency for Nd:YAG from sunlight to laser is 4.3% [16], which is still low and not enough for wide spreading of solar-pumped lasers commercially.

The idea of frequency down-shifting that we are going to consider in this work is to use additional media helping to decrease the frequency of unabsorbed high energy photons of solar spectrum shifting it to the range well-matching with absorption bands of active medium. In other words, we propose a new approach based on the increase of absorption in Nd:YAG via external frequency conversion of large amount of unabsorbed solar photons and returning them back to the Nd:YAG with minimal losses. It is well-known that the Nd:YAG absorption spectrum sharing in the laser pumped by the sun is about 0.15. This means that the whole solar radiation spectrum is not sharing in the laser process. Moreover, the rest part of the solar radiation can cause some undesirable effects such as thermal effects in the crystal and cavity which affect the whole efficiency of the solar laser system.

In present work we consider the possibility of increase in absorption efficiency of Nd:YAG using Ti:Sapphire as an external frequency converter.

2. Description

The considered scheme is depicted in fig. 1. It consists of two parts. The main part representing water cooled active medium made of composite YAG/Nd:YAG ceramic or diffusion bonded crystalline material surrounded with metallic tube internal surface of which is silver coated and the plug-in part which is the parabolic frequency converter of solar spectrum with separate water cooling; Lateral surface of active medium is polished to provide total internal reflection and right-hand end is HR coated to reflect lasing wavelength at 1064nm and transmit wavelengths below 900nm. The parabolic shape of frequency converter in plug-in part was due to necessity of forming a flux with angular aperture limited by total internal reflection angle from frequency down-shifted photons to minimize transmission losses. Outward parabolic surface of frequency converter is also silver coated.

Performance analyses have been conducted by simulation method. Simulation calculations for considered scheme of solar laser were carried out using Monte-Carlo and ray-tracing methods [17]. The multi-reflection, refraction and absorption processes were modeled in three-dimensional coordinates. The main difference of simulation model from that used in our preceding works was inclusion of emission process in frequency converter in arbitrary direction within 4π solid angle after absorption process. Time delay between absorption and emission processes is assumed to be zero because it is not important in CW mode of operation of a laser. In simulation calculations in addition to the absorption spectrum of active medium and solar spectrum the absorption and emission spectra of frequency converter are used as well.

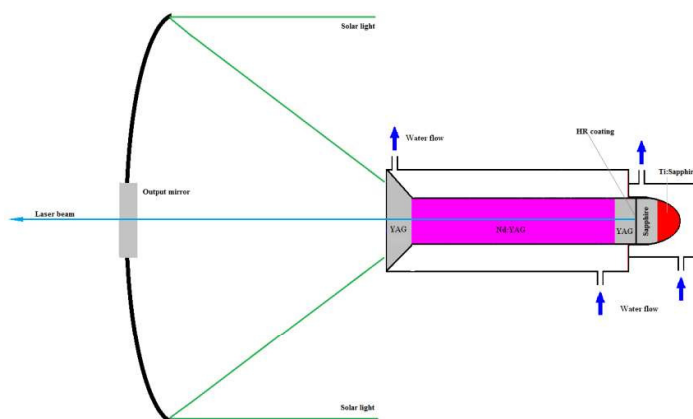


Fig. 1. Schematic of laser head with frequency converter

To qualitative analyses and for comparisons different spectra are presented in figure 2. As it is evidently seen from these figure there is an excellent match of the emission spectrum of Ti:Sapphire and the absorption bands of Nd:YAG on the one hand and relatively lesser overlap between absorption spectra of both Ti:Sapphire and Nd:YAG on the other hand. We note that overlap between absorption spectra of active and sensitizing ions is one of the disadvantages of co-doped materials. However the scheme proposed in this work is free of such lacks due to that the frequency converter transforms only the part of solar spectrum unabsorbed in Nd:YAG active medium.

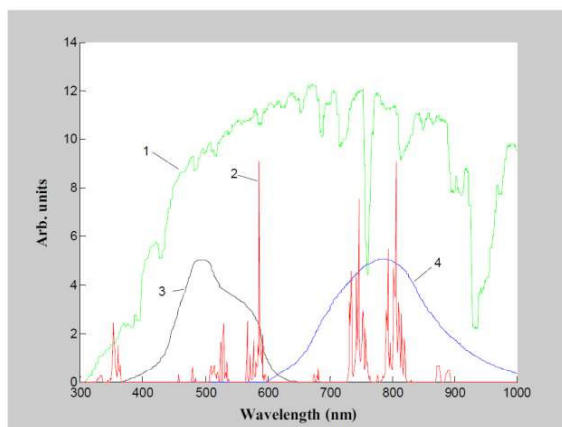


Fig.2. 1- standard solar spectrum, 2- Nd:YAG absorption spectrum, 3,4- Ti:Sapphire absorption and emission spectra respectively

Quantitative analyses of carried out simulation results (figure 3) have confirmed this assumption, showing the possibility of more than five-fold increase of solar-to-laser power efficiency of Nd:YAG laser with external Ti:Sapphire frequency converter for typical solar insolation of $800\text{W}/\text{m}^2$ at the Earth surface (around 700W in the figure). Calculations have been carried out for parabolic concentrator with a diameter of 1m and the standard parameters of Nd:YAG sizes of $10 \times 50\text{mm}$ and titanium concentration of 0.5% for Ti:Sapphire. The reflection coefficient of silver coated outward parabolic surface of a frequency converter is assumed to be 97% . The loss at the interfaces between laser active medium and frequency converter can be reduced to less than 5% (in one direction) in principle using index matching optical gels and therefore is assumed to be 10% . As the pumping source the parabolic dish concentrator with a diameter of 1m and focal length of 0.5m is considered. Simulation calculations have been done to determine the main figure of merit, the overall pumping efficiency which is equal to maximal slope efficiency that would be attained if the extraction efficiency were unity. Thus the result we have obtained was 0.21 for the Nd:YAG + Ti:Sapphire versus pumping efficiency of 0.14 for Nd:YAG alone.

On the base of these results using expression for the four-level laser the dependencies of output laser power on the incidence solar power are calculated for the output mirror reflectance of 95% . Some results are plotted in figure 3 for comparisons. Note that 1000W in figure 3 of solar power can not be col-

lected at the focal plane of the concentrator with a diameter of 1m on the Earth surface but it can be collected in Space since solar radiation intensity is about $1350\text{W}/\text{m}^2$. Also, as we can see from the figure 3, a significant increase of the output laser power in the case of adding the Ti:Sapphire than using the Nd:YAG only. For example for 700 W of input solar power, about 20 W of output laser power can be obtained using Nd:YAG only, while about 60 W of the output laser power can be obtained using a combination Nd:YAG and Ti:Sapphire. Also, a significant reduction of the threshold pumping power is noticed in the case of using the mentioned combination. From the figure, the threshold pumping power for the Nd:YAG alone is more than 500 W, while it is about 350 W in the case of using that combination.

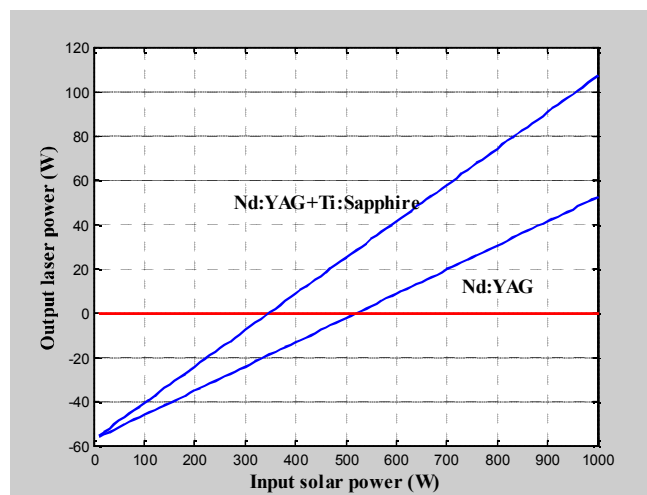


Fig. 3. Output laser power vs. input solar power for parabolic concentrator with a diameter of 1 m.

3. Conclusion

The use of Ti:Sapphire as a frequency converter of large amount of unabsorbed solar photons is proposed. The pumping efficiency of 21% has been obtained which is equal to maximal slope efficiency that would be attained if the extraction efficiency were unity. Main advantages of used scheme would be the reduced thermal load on the active medium, less rigid requirements for thermal properties (thermally induced birefringence, lens effect) of frequency converter and also possibility of independent control of temperature in active medium and frequency converter when needed.

REFERENCES

- [1] C.G. Young, "A Sun-Pumped cw One-Watt Laser", *Applied Optics*, Vol. 5, No. 6, pp 993-997, (1966) [2] M. Weksler and J. Schwartz, "Solar-Pumped Solid-State Lasers", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 24, No. 6, pp. 1222 - 1228, (1988) [3] R. M. J. Benmair, J. Kagan, Y. Kalisky, Y. Noter, M. Oron, Y. Shimony, and A. Yogevev, "Solar-Pumped Er, Tm, Ho:YAG Laser", *Optics Letters*, Vol. 15, No. 1, pp. 36–38, (1990) [4] Kyong H. Kim, Demtius D. Venable, and Lamarr A. Brown, "Thermal Effects on Cavity Stability of Chromium- and Neodymium-doped Gadolinium Scandium Gallium Garnet Laser under Solar-Simulator Pumping" *Journal of Applied Physics*, Vol. 69, No. 5, pp. 2841–2848, (1991) [5] I.H. Hwang and J. H. Lee, "Efficiency and Threshold Pump Intensity of CW Solar-Pumped Solid-State Lasers", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 27, No. 9, pp.2129–2134, (1991) [6] U. Brauch, J. Muckennschnabel, H. Opower, and W. Wittwer, "Solar-pumped Solid State Lasers for Space to Space Power Transmission", *Space Power, Resources, Manufacturing and Development*, Vol. 10, No. 3-4, pp. 285-294, (1991) [7] U. Brauch, J. Muckennschnabel, G. A. Thomson, H. Bernstein, A. Yogevev, A. Reich, and M. Oron, "Influence of Operating Temperature on the Power, Divergence, and Stress-Induced Birefringence in Solar-Pumped Solid State Lasers", *Optical Engineering*, Vol.31, No. 5, pp. 1072-1078, (1992) [8] N. Naftali, I. Pe'er, and A. Yogevev, "Power Transmission Using Solar Pumped Laser", *SPIE*, Vol. 3139, pp. 259 – 265, (1997) [9] M. Lando, Y. Shimony, R. M. J Benmair, D. Abramovich, V. Krupkin and A. Yogevev, "Visible Solar-Pumped Lasers", *Optical Materials*, Vol. 13, Issue 1, pp. 111 –115, (1999) [10] M. Lando, Y. Shimony, Y. Noter, R. M. J. Benmair and A. Yogevev, "Passive Q Switching of A Solar-Pumped Nd:YAG Laser", *Applied Optics*, Vol. 39, No. 12, (2000) [11] M. Lando, J. Kagan, B. Linyekin, V. Dobrusin, "A solar-pumped Nd:YAG laser in the high collection efficiency regime", *Optics Communications*, 222, pp. 371-381, (2003) [12] T. Funatsu, T.Yabe, T. Ohkubo, S. Uchida, K. Yoshida, B. Bagheri, T. Oishi, K. Daito, M. Ishioka, Y. Nakayama, N. Yasunaga, K. Kido, M. Nakatsuka, M. Yoshida, S. Motokoshi, Y. Sato, C. Baasandash, K. Kato, T. Yanagidani, and Y. Okamoto. Study of Solar Pumped Laser for

Fossil-fuel-free Energy Cycle Using Magnesium. Rev. Laser Eng. **36**, 1153 (2008) [13] D. Liang and R. Pereira, "A Simple Approach for Enhancing the Output Performance of Solar- Pumped Solid-State Lasers", International Journal of Optics, Volume 2009, Article ID 730165, 8 pages, doi:10.1155/2009/730165 [14] D. Liang, J. Almeida, D Garcia. Comparative study of Cr:Nd:YAG and Nd:YAG solar laser performances. Proc. of SPIE Vol. 8785, 87859Y (2013) [15] D. Liang, J. Almeida, E. Guillot. Side-pumped continuous-wave Cr:Nd:YAG ceramic solar laser, Applied Physics B, Volume 111, Issue 2, pp 305-311, (2013) [16] T.H. Dinh, T. Ohkubo, T. Yabe, H. Kuboyama, 120 watt continuous wave solar-pumped laser with a liquid light-guide lens and an Nd:YAG rod, Opt. Lett. **37**, 2670-2672 (2012) [17] Sh Payziyev, Kh Makhmudov, A new approach in solar-to-laser power conversion based on the use of external solar spectrum frequency converters, J. Renewable and Sustainable Energy **8** (1) (2016).

ОПТИМАЛЬНЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ УЗЛОВ СОЛНЕЧНЫХ ЛАЗЕРОВ НА ПАРАБОЛИЧЕСКИХ КОНЦЕНТРАТОРАХ

С.А.Бахрамов, Ш.И.Клычев, Ф.Ф. Шаймов

Ташкентский Государственный Технический Университет имени И.А.Каримова. Инженерно-физический факультет.

Ташкент, 100095, Узбекистан, fayzullo.sh@mail.ru. (ул. Университетская, 2)

Аннотация.

Проведено численные эксперименты по определению зависимостей эффективности накачки солнечных лазеров от угла раскрытия параболического концентратора, размеров вторичного концентратора и длины активного элемента. В модели для проведения расчетов поглощенной мощности, распределения инверсия населенности и по определению эффективности накачки использовался статистический метод Монте-Карло и метод прослеживания лучей. Показано, что эффективность накачки солнечного лазера на параболических концентраторах зависит от параметров и геометрических форм системы.

Ключевые слова: эффективность накачки, угол раскрытия, метод Монте-Карло и слежения лучей.

Введение

Известно, что в настоящее время исследование солнечных лазеров на малогабаритных параболических концентраторах привлекает многих исследователей, так как преобразование солнечной энергии в энергию лазерного излучения является актуальной и представляет большой интерес не только дополнительной возможностью для эффективного использования экологически чистой энергии, но и является серьезной альтернативой. Лазеры с солнечной накачкой в последние годы приобрели постоянно увеличивающийся интерес. По сравнению с лазерами с электрической накачкой, лазеры с солнечной накачкой проще и надежнее вследствие полного исключения необходимости использования электрической энергии и дополнительного оборудования. Данная технология имеет огромный потенциал для многих приложений, например, высокотемпературная обработка материалов, лазерная коммуникация в свободном пространстве, беспроводная передаче энергии в землю из космоса, получение топливных материалов и так далее [1-10]. На сегодняшний день предложено много схем для солнечных лазеров [11-17]. Особый интерес представляет собой лазеры на малогабаритных параболических концентраторах. Это связано с их компактностью, удобностью эксплуатации, широкой распространенности малогабаритных концентраторов и т.д. В таких схемах солнечных лазеров для увеличения эффективности накачки и обеспечения однородности накачки используются вторичные концентраторы в разных формах. Известно, что в лазерных схемах геометрия и размеры составных частей и оптимальные соотношения между ними существенно влияют на значения эффективности накачки. При разработке солнечных лазеров на малогабаритных концентраторах необходимо учесть размеры, формы вторичных концентраторов и параметры концентраторов, например, угол раскрытия, степень концентрации и т.д. Как известно, такие данные в настоящее время практически отсутствуют. Поэтому поиск оптимальных вариантов лазерных схем с геометрическими особенностями на малогабаритных концентраторах, разработка программного обеспечения позволяющая определить оптимальных вариантов являются актуальной задачей.

Настоящая работа посвящена исследованию зависимостей эффективности накачки от параметров лазерной системы и на основании результатов этих исследований определению оптимальных соотношений между различными параметрами узлов солнечных лазеров на параболических концентраторах.