

Тепловые процессы в технике. 2024. Т. 16. № 10. С. 455–461
Thermal processes in engineering, 2024, vol. 16, no. 10, pp. 455–461

Научная статья
УДК 683.878.2
URL: <https://tptmai.ru/publications.php?ID=184114>
EDN: <https://www.elibrary.ru/IRZRSW>

Расчет энергоэффективности газовых горелок бытового применения с интенсификатором теплоотдачи из разных металлических материалов

Н.С. Баданов 

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,
Казань, Российская Федерация
N.S.Badanov@yandex.ru 

Аннотация. Статья посвящена современным исследованиям в сфере газогорелочных устройств бытового применения. Проведены некоторые данные по ценам за природный газ в странах Европы. Исследования включали эксперименты со штатной газовой горелкой бытовой плиты «Gefest 1200 – С6», а также с модернизированной, содержащей интенсификатор теплоотдачи в канале подвода газовой смеси. За пример рабочего участка была выбрана конструктивная схема по патенту РФ на полезную модель № 129600, при этом интенсификатором теплоотдачи служила резьба на поверхности металлического стержня. Проведен расчет энергоэффективности газовых горелок, в результате которого стало очевидным, что применение интенсификатора теплоотдачи в виде стального стержня с резьбой, размещенного в газоподводящем канале в виде диффузора, позволяет увеличить энергоэффективность, также установлено, что медный стержень лучше, чем стальной, т.к. повышается уровень энергоэффективности и экономичности сжигания природного газа. Построены соответствующие графики по энергоэффективности всех рассмотренных газовых горелок. Обнаружена область нахождения энергоэффективности новых газовых горелок, стержень и интенсификатор теплоотдачи которых могут быть выполнены из других металлических материалов.

Ключевые слова: газовая горелка, интенсификатор теплоотдачи, природный газ, энергоэффективность, пресная вода

Для цитирования. Баданов Н.С. Расчет энергоэффективности газовых горелок бытового применения с интенсификатором теплоотдачи из разных металлических материалов // Тепловые процессы в технике. 2024. Т. 16. № 10. С. 455–461. URL: <https://tptmai.ru/publications.php?ID=184114>

Original article

Energy efficiency calculation of gas burners for domestic stoves with a heat transfer intensifier made of different metal materials

N.S. Badanov✉

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russian Federation
N.S.Badanov@yandex.ru✉

Abstract. The paper is dedicated to contemporary scientific investigations in the field of gas burners, primarily focusing on their application in domestic settings. A concise analysis of recent scientific literature has been conducted, revealing that several studies have explored gas burners equipped with heat transfer intensifiers within the gas-supply channel.

This year, a new series of experiments was successfully carried out using gas burners from a domestic stove model, specifically the “Gefest 1200”. The experiments involved the use of both a standard gas burner and an improved version. The upgraded design of the gas burner featured a specialized metal rod with a threaded surface, which was installed on the burner's lid and positioned inside the gas-supply channel, designed in the form of a diffuser.

The experimental study demonstrated that the threaded metal rod significantly enhances heat transfer and improves energy efficiency. Various types of metal rods were tested, including shorter rods made of stainless steel and longer rods made of pure copper. The findings clearly indicate that copper rods outperform steel rods in terms of heat output and energy efficiency. Furthermore, the results highlighted that the length of the rod plays a crucial role in the economical consumption of natural gas, as longer rods required less natural gas to achieve the desired results.

The energy efficiency levels were calculated based on several parameters, including the volume of heated fresh water, the volume of burnt natural gas, the masses of the vessel and the water inside, the specific heats of water and metals, the thermal conductivities of the metal materials, the lower heat of combustion of the gas, and the temperature difference required to reach the boiling point.

At the conclusion of the research, new scientific graphs were developed to illustrate the impact of rod length and thermal conductivity on energy efficiency. Additionally, a potential area of improvement was identified, focusing on the use of heat intensifiers such as threaded surfaces on heated rods. This discovery is expected to contribute to a deeper understanding of the subject and inspire engineers and scientists to design and develop more energy-efficient gas burners in the future.

The findings of this study hold significant promise for advancing the design of domestic gas burners, potentially leading to more sustainable and cost-effective solutions for households. By optimizing the use of heat transfer intensifiers, such as threaded metal rods, future research could further enhance the performance and energy efficiency of gas burners, contributing to both environmental conservation and economic savings.

Keywords: gas burner, heat transfer intensifier, natural gas, energy efficiency, fresh water

For citation. Badanov N.S. Energy efficiency calculation of gas burners for domestic stoves with a heat transfer intensifier made of different metal materials. *Thermal processes in engineering*. 2024, vol. 16, no. 10, pp. 455–461. (In Russ.). URL: <https://tptmai.ru/publications.php?ID=184114>

Введение

Известно, что в разных странах мира каждый день применяется большое множество газогорелочных устройств, как в промышленно-

ствует ряд проблем, которые необходимо решать. Например, проблема низкого уровня энергоэффективности из-за больших тепловых потерь. Также не прекращается рост цен на жидкие и газообразные горючие.

К примеру, в некоторых странах Европы в 2024 г. произошел значительный рост цен на природный газ по сравнению с 2023 г. (за 1 куб.м): Литва – на 96 % (с 76 до 149 рублей), Германия – на 40 % (с 83 до 117 рублей), Австрия – на 38 % (с 109 до 151 рубля). Эти факты заставляют искать новые конструктивные решения повышения экономичности и энергоэффективности газовых горелок.

Цель работы: расчет энергоэффективности газовых горелок, содержащих интенсификатор теплоотдачи в канале подвода газозвдушной смеси.

Конструктивные схемы газовых горелок бытовых плит с интенсификатором теплоотдачи

В 2013 году был получен патент на полезную модель «Горелка газовая» [1], общий вид которой представлен на рис. 1, где: 1 – канал подачи газа; 2 – корпус; 3 – камера смешения; 4 – головка; 5 – зазор; 6 – запальные отверстия; 7 – крышка; 8 – стержень; 9 – интенсификатор теплопередачи. Представленная газовая горелка функционирует следующим образом (рис. 1). В процессе работы по каналу 1 подается природный газ (или смесь природного газа и первичного воздуха), затем в камере смешения 3 он смешивается с воздухом, воспламеняется, и через запальные отверстия 6 языки пламени выходят за пределы головки 4 и камеры смешения 3. При сгорании топлива (в данном случае газа) выделяется тепло: часть тепла передается нагреваемому объекту, например, сосуду с водой, другая часть тепла теряется в окружающую среду, оставшаяся энергия идет на поддержание самого пламени. В этом случае для снижения теплопотерь предлагается часть тепла аккумулировать с помощью системы: крышка 7, соединенная стержнем 8 с интенсификатором теплопередачи 9, который целесообразно изготавливать из металлов или металлических сплавов с высоким коэффициентом теплопроводности. Таким образом, при горении часть тепла поглощается материалом крышки 7, передается по стержню 8 интенсификатору теплопередачи 9. Ненагретый газ (или газовая смесь), проходя по каналу подачи газа 1, частично нагревается, происходит внутренняя регенерация тепла с интенсификацией теплопередачи. Стержень с интенсификатором теплоотдачи 9 может быть выполнен, к примеру,

в виде трубки с искусственной шероховатостью, шнекового завихрителя, цилиндра с продольными ребрами, пористой металлической вставки, скрученной металлической проволоки, устройства, закручивающего поток, развитой поверхности с выемками (лунками) и выступами и т.п. [2–4].

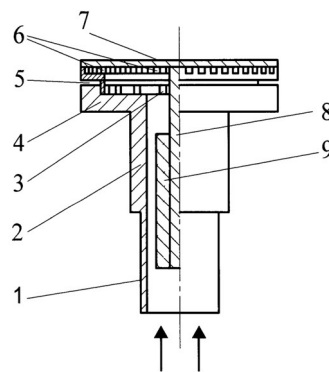


Рис. 1. Газовая горелка (патент РФ на полезную модель № 129600)

На базе конструктивной схемы газовой горелки (рис. 1) впоследствии был проведен ряд научных исследований [5].

В 2024 г. проведены новые эксперименты с горелкой бытовой газовой плиты марки «Gefest 1200 – С6», в которой внутри газоподводящего канала в виде диффузора 10 размещался металлический стержень с интенсификатором теплоотдачи (ИТ) 9 в виде резьбы, при этом применялись стержни, изготовленные из стали и из меди. В схеме также применялась уплотнительная шайба 13. Подача природного газа осуществлялась через форсунку 11 (рис. 2).

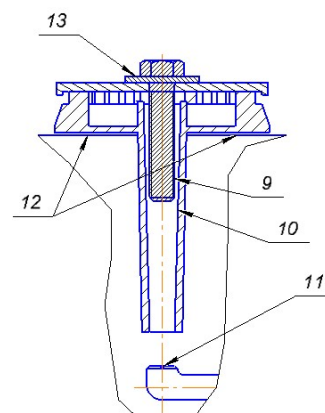


Рис. 2. Газовая горелка с диффузором и интенсификатором теплоотдачи, где 9 – интенсификатор теплоотдачи, 10 – канал подачи газа в виде диффузора, 11 – форсунка подачи газа, 12 – корпус бытовой газовой плиты, 13 – уплотнительная шайба

На рис. 3 представлены геометрические параметры горелки с металлическими стержнями разной длины с ИТ в виде резьбы.

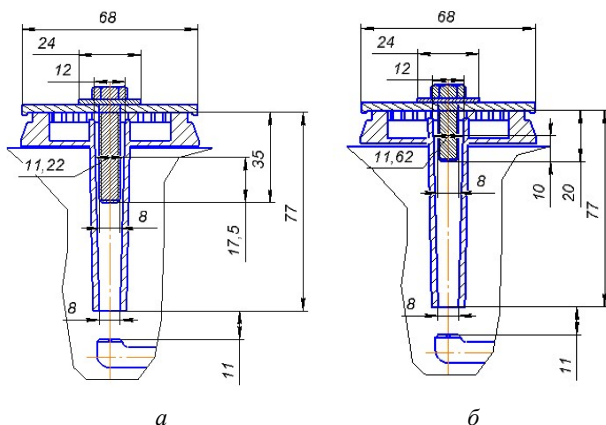


Рис. 3. Схема газовой горелки со стержнем длиной L и с ИТ: $a - L = 35$ мм; $b - L = 20$ мм

Основное оборудование для проведения экспериментальных исследований

В ходе экспериментов использовалось следующее оборудование:

Газовая плита «Gefest 1200 – С6» с газовой варочной панелью, механическими поворотными переключателями подачи газа и механическим электроподжигом.

Ртутный термометр ТЛ - 2 № 3 исп. 1 с диапазоном измерений от 0 до 150 °С, цена деления – 1 градус.

Газовый счетчик СГК-4 (г. Владимир) – камерный бытовой счетчик газа, предназначенный для учета расхода неагрессивного и неоднородного газообразного топлива в квартирах и индивидуальных домах. Номинальная пропускная способность – 4 м³/ч. Пределы допускаемой относительной погрешности счетчика при номинальной температуре измеряемого газа (20 ± 3) °С в условиях эксплуатации составляет ±5 %.

Для измерения температур стержня и крышки во время исследования использовался инфракрасный термометр FLUKE 568: диапазон измерения температуры от –40 до 800 °С, погрешность ±1 °С, источник питания – две батарейки типа АА. (см. рис. 4), а также цифровые термометры Mastech MS6500 с диапазоном измерений от –50 до 750 °С, погрешностью ±1 °С, источник питания – 12-вольтовая батарейка (см. рис. 5).



Рис. 4. Инфракрасный термометр FLUKE 568



Рис. 5. Термометр Mastech MS6500 цифрового типа

Методика проведения экспериментальных исследований с разработанной газовой горелкой для бытовых плит

Эксперименты проводились на бытовой газовой плите «Gefest 1200 – С6» с газовой горелкой, в которой крышка была заклепана с металлическим стержнем. В первой серии экспериментов использовался стальной стержень, длиной $L = 20$ мм и $L = 35$ мм соответственно, ИТ являлась резьба, нанесенная на поверхности стержня. Во второй серии экспериментов стержень был выполнен из меди с теми же геометрическими параметрами и резьбой. В ходе экспериментов обеспечивалась одинаковая максимально возможная подача бытового природного газа на горение, а в качестве потребителя тепла использовался ненакрытый крышкой сосуд с водой, которая доводилась до кипения, т.е. до 100 °С при нормальном атмосферном давлении. Начальная температура воды, которая использовалась в экспериментах, была, в среднем, около 20 °С, температура в помещении, где проходили эксперименты составляла (20–22) °С. При закипании воды и достижении отметки 100 °С на шкале термометра подача газа прекращалась (температура воды замерялась в центре объема). Объем

сгоревшего природного газа замерялся газовым счетчиком. Время замерялось при помощи смартфона и приложения «секундомер». С целью избежания возможных ошибок при применении газовой горелки (например, из-за резкого изменения давления в трубопроводе подачи газа) каждый эксперимент проводился попарно, т.е. сначала применялась стандартная газовая горелка (без интенсификатора теплоотдачи), а затем, после остывания плиты, – новая горелка с интенсификатором теплоотдачи.

Параметры крышки–рассекателя: диаметр 68 мм, толщина 3 мм. Параметры стального стержня с ИТ: длина 20 и 35 мм, средний диаметр 9,026 мм (по ГОСТ), шаг резьбы 1,5 мм. Параметры газового канала: максимальная длина 70 мм, средний диаметр – 11 мм. Газопроводящий канал конструктивно представлял собой диффузор (см. рис. 2). Также в ходе экспериментальных исследований при помощи термопар замерялась температура в разных точках на поверхности канала подачи газовой смеси, стержня с интенсификатором теплоотдачи, крышки (см. рис. 6).

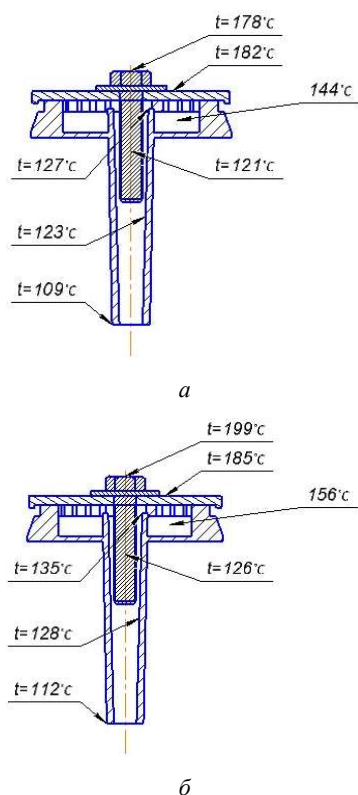


Рис. 6. Распределение температур в газовой горелке бытовой плиты с ИТ на поверхности: а – стального стержня; б – медного стержня

Энергоэффективность газогорелочных устройств бытового применения

Энергетическую эффективность газовой горелки вычисляют по формуле [6]:

$$EE_{gas\ burner} = \frac{E_{theoretic}}{E_{gas\ burner}} \times 100 \%, \quad (1)$$

где $EE_{gas\ burner}$ – энергетическую эффективность газовой горелки, %, округленная до десятых; $E_{theoretic}$ – минимальное количество теплоты потребленного газа, МДж, определенное теоретическим путем, округленное до десятых; $E_{gas\ burner}$ – количество теплоты потребленного газа, МДж, округленное до десятых.

В данной работе проведен теоретический расчет энергоэффективности газовых горелок, в том числе горелок, разработанных по патенту Российской Федерации на полезную модель № 129600.

Значение $E_{gas\ burner}$ рассчитывалось по формуле:

$$E_{gas\ burner} = Q_H \times V_G, \quad (2)$$

где Q_H – низшая теплота сгорания газообразного топлива (природного газа), МДж/м³; V_G – объем сожженного газообразного топлива (природного газа), м³.

Значение $E_{theoretic}$ рассчитывалось с учетом массы воды m_B [кг], удельной массовой теплоемкости воды C_B [МДж/(кг×К)], массы металлического сосуда m_{Me} [кг] и его удельной массовой теплоемкости C_{pMe} [МДж/(кг×К)]:

$$E_{theoretic} = (C_{pB} \times m_B + C_{pMe} \times m_{Me}) \Delta T. \quad (3)$$

Для расчетов энергоэффективности горелок были приняты значения: $Q_H = 34,26$ МДж/м³ – для природного газа; $C_{pB} = 4,2 \times 10^{-3}$ МДж/(кг×К) – для пресной воды; $C_{pMe} = 0,5 \times 10^{-3}$ МДж/(кг×К) – для нержавеющей стали; $m_{Me} = 0,9$ кг – масса стальной кастрюли. ΔT – было взято из экспериментов (например, $\Delta T = T_K - T_{fH}$, где T_K – температура кипения пресной воды, К; T_{fH} – начальная температура пресной воды, К) [7, 8].

Энергоэффективность газогорелочных устройств с интенсификатором теплоотдачи из разных металлических материалов

На основе формул (1)–(3) проведен расчет энергоэффективности газовых горелок. Средние значения уровня энергоэффективности представлены на рис. 7, рис. 8.

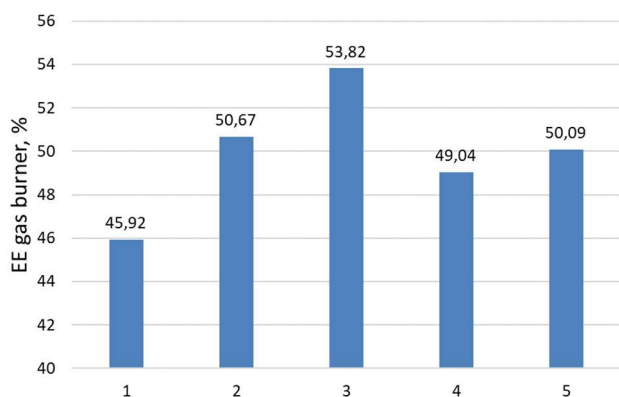


Рис. 7. Энергоэффективность газовых горелок бытовой плиты «Gefest 1200 – С6» при доведении до кипения 3-х литров воды (с учетом массы металлического сосуда), где: 1 – базовая горелка; 2 – газовая горелка с ИТ из стали, $L = 35$ мм; 3 – газовая горелка с ИТ из меди, $L = 35$ мм; 4 – газовая горелка с ИТ из стали, $L = 20$ мм; 5 – газовая горелка с ИТ из меди, $L = 20$ мм

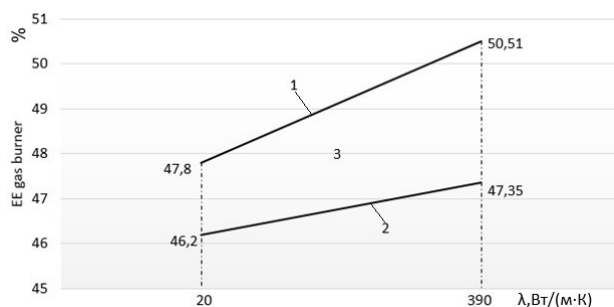


Рис. 8. Энергоэффективность газовых горелок бытовой плиты «Gefest 1200 – С6» при доведении до кипения 3-х литров воды (с учетом массы металлического сосуда) в зависимости от теплопроводности металлического стержня, где: 1 – линия $EE_{\text{gas burner}}$ для длинных стержней с $L = 35$ мм и с ИТ, 2 – линия $EE_{\text{gas burner}}$ для коротких стержней с $L = 20$ мм и с ИТ, 3 – область значений других возможных $EE_{\text{gas burner}}$ при применении стержней с ИТ (длиной от 20 мм до 35 мм и теплопроводностью от 20 до 390 Вт/(м·К))

Выводы

Таким образом, выполнен анализ цен на природный газ в 2023–2024 гг., который показал, что наибольшая стоимость газа в Европе составляет 210 руб./куб.м.

Сделан обзор научно-технической литературы и найден патент, где предложена конструктивная схема газовой горелки с интенсификатором теплоотдачи в канале подвода природного газа.

Проведены новые экспериментальные исследования с модернизированной газовой горелкой бытовой плиты «Gefest 1200 – С6», содержащей стержень (сталь, медь, разной длины) с интен-

сификатором теплоотдачи в виде резьбы, установленный в газоподводящем канале в форме диффузора.

Результаты исследования показали, что наиболее энергоэффективной, с результатом в 53,82 %, оказалась газовая горелка, содержащая длинный медный стержень с резьбой, а наименее энергоэффективной газовой горелкой является базовая горелка бытовой плиты «Gefest 1200 – С6» без стержня и без ИТ (рис. 7).

Намечены дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования с целью обобщения результатов и вывода новых формул теплообмена с учетом теплофизических параметров газовых сред [9, 10].

Список источников

- Алтуний К.В. Газовая горелка. Патент RU 129600 U1. Бюл. №18, 27.06.2013.
- Тененев В.А., Губерт А.В., Михайлов Ю.О. и др. Исследование процессов в газовых горелках для бытовых плит // Физическая химия и мезоскопия. 2010. Т. 10. № 1. С. 45–53.
- Лиманский С.С., Темников А.А. Патентный обзор газовых горелок бытовых кухонных плит // Science Time. 2016 № 6 (30). С. 189–192.
- Вершинин Н.Н., Трусков В.А., Селиванов Е.П. и др. Инновационные технологии в конструировании газовых двухрядных инжекционных горелок с единичными смесителями // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2010 Т. 2. С. 65–67.
- Altunin K.V. Gas burner with improved economical efficiency. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. Vol. 90. № 2. pp. 480–483.
- ГОСТ 33859-2016. Энергетическая эффективность. Жарочные шкафы, варочные панели и воздухоочистители бытовые и аналогичного применения. Проектирование с учетом воздействия на окружающую среду (Межгосударственный стандарт). М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.
- Сорока Б.С., Горупа В.В. Экологические характеристики современных систем бытового использования топлива. Часть 1. // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2020 Т. 63. № 5. С. 340–454. DOI: 10.21122/1029-7448-2020-63-4-340-354
- Сорока Б.С., Горупа В.В. Экологические характеристики современных систем бытового использования топлива. Часть 2. // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2020 Т. 63. № 5. С. 450–461. DOI: 10.21122/1029-7448-2020-63-5-450-461
- Аметистов Е.В., Григорьев В.А., Емцев Б.Т. и др. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник. М.: Энергоиздат. 1982. 512 с.

10. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: ООО Старс. 2006. 720 с.

References

1. Altunin KV. *Gas burner*. Patent RU 129600 U1, 27.06.2013. (In Russ.).
2. Tenenev VA, Gubert AV, Mikhailov YuO et al. Study of processes in gas burners for household stoves. *Physical Chemistry and Mesoscopy*. 2010;10(1):45–53. (In Russ.).
3. Limanskii SS, Temnikov AA. Patent review of gas burners for household kitchen stoves. *Science Time*. 2016; 6:189–192. (In Russ.).
4. Vershinin NN, Trusov VA, Selivanov EP et al. Innovative technologies in the design of gas double-row injection burners with single mixers. *Proceedings of the international symposium «Reliability and quality»*. 2010;2:65–67. (In Russ.).
5. Altunin KV. Gas burner with improved economical efficiency. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2017;90(2):480–483.
6. Energy efficiency. Ovens, hobs and air purifiers for household and similar use. Design taking into account the impact on the environment. Interstate standard 33859-2016. Moscow: Standartinform; 2019. 20 p. (In Russ.).
7. Soroka BS, Gorupa VV. Environmental characteristics of modern household fuel use systems. Part 1. // *Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS*. 2020;63(5):340–354. DOI: 10.21122/1029-7448-2020-63-4-340-354 (In Russ.).
8. Soroka BS, Gorupa VV. Environmental characteristics of modern household fuel use systems. Part 2. // *Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS*. 2020;63(5):450–461. DOI: 10.21122/1029-7448-2020-63-5-450-461 (In Russ.).
9. Ametistov EV, Grigor'ev VA, Emtsev BT. et al. *Heat and mass transfer. Heat engineering experiment: reference book*. Moscow: Energoizdat; 1982. 512 p.
10. Vargaftik NB. *Handbook of thermophysical properties of gases and liquids*. Moscow: OOO Stars; 2006. 720 p.