

АНОТАЦІЯ

Рубан В.О. Розробка енергозберігаючої технології обробки металу на установці «ківш-піч» при використанні графітованого порожнистого електрода. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії PhD за спеціальністю 136 – «Металургія». – Український державний університет науки і технологій. Дніпро, 2023.

Дисертаційну роботу присвячено розробці енергозберігаючої технології нагріву металу при використанні графітованого порожнистого електрода під час позапічної обробки сталі на підприємствах України та світу, що забезпечить покращення техніко-економічних показників роботи установки «ківш-піч» (УКП).

В роботі проведено аналітичний огляд технологій позапічної обробки сталі на установці «ківш-піч», за результатами якого було визначено об'єкт та предмет дослідження. Показано, що застосування графітованих порожнистих електродів (ГПЕ) у порівнянні зі звичайними графітованими електродами (ГЕ) на установці «ківш-піч» має позитивний вплив на показники роботи агрегату. Однак визначено певний брак даних в науковій літературі, щодо впливу подачі газу каналом ГПЕ на: формування реакційної зони під електродом на установці «ківш-піч»; зміну градієнту температур порожнистого електрода; теплову роботу УКП в цілому.

Спираючись на проведений аналіз літературних джерел, розроблено методику експерименту та створено лабораторну установку для проведення фізичного моделювання на холодній моделі. Задачею моделювання є визначення впливу вдування газу каналом ГПЕ на зміну геометричних параметрів лунки сформованої в піделеєктродній зоні під дією електричної дуги, а також вивчення поведінки металеві ванни і шлакового покриву. Розраховані значення геометричних параметрів лунки утвореної під дією

електродугового розряду в піделектродній зоні установки «ківш-піч» за базовим режимом роботи агрегату (без подачі газу). Зокрема, площа криволінійної поверхні лунки дорівнює $0,19\text{--}0,21\text{ м}^2$ при висоті шлакового покриву $100\text{--}200\text{ мм}$.

За результатами проведеного фізичного моделювання процесу вдування газу каналом порожнистого електрода отримані дані геометричних параметрів утвореної лунки в металевій ванні на установці «ківш-піч». Так, для досліджуваного діапазону витрат газу $3\text{--}20\text{ м}^3/\text{год}$ при висоті шлакового покриву $100\text{--}200\text{ мм}$ площа лунки складала $0,19\text{--}0,46\text{ м}^2$, при цьому глибина лунки становила від 4 см до $16,5\text{ см}$ відповідно. Визначені раціональні витрати газу, що подається каналом графітованого порожнистого електрода. Встановлено, що надмірне збільшення інтенсивності подачі газу призводить до значного зростання глибини лунки металу, що може призвести до процесу її «захливання» металевою ванною. Також відмічено, що шлаковий покрив, який зосереджено навколо електрода, буде розриватися відкриваючи лунку, через що зростуть втрати теплоти в атмосферу агрегату. Відповідно для шлакового покриву 100 мм витрати газу складають $3\text{--}6\text{ м}^3/\text{год}$, а для шлаку з висотою 200 мм – $6\text{--}10\text{ м}^3/\text{год}$ ці витрати унеможливають процес «захливання» лунки і прорив шлакового шару. Визначено площу лунки, яка формується за цих витрат газу. Зокрема, для шлаку висотою 100 мм і 200 мм площа лунки становила від $0,21$ до $0,23\text{ м}^2$ та від $0,29$ до $0,35\text{ м}^2$ відповідно.

На основі отриманих даних розроблено методику та проведено чисельне моделювання: термодинаміки процесів дисоціації і відновлення оксидів металів в піделектродній зоні за температур горіння дуги; зміни температурного поля в робочій зоні ГПЕ в різні періоди обробки сталі на УКП; теплової роботи графітованого порожнистого електрода за умов подачі газу під час позапічної обробки сталі на УКП.

Отримано дані, щодо зміни енергії Гіббса протікання реакцій дисоціації та відновлення за високих температур в піделектродній зоні під час горіння дуги при подачі порошкоподібних оксидів металів каналом порожнистого

електрода. Визначено діапазон температур, за яких бере початок процес дисоціації та відновлення (при використанні у якості відновника вуглецю) обраних оксидів металів. Так, діапазон температур початку процесу протікання реакцій дисоціації коливається від 4050 °С до 7000 °С, а реакцій відновлення вуглецем від 800 °С до 3000 °С. Визначено зміну енергії Гіббса в процесі протікання реакцій відновлення монооксиду заліза такими відновниками, як вуглець і алюміній. Встановлено, що вуглець використовувати доцільніше за температур горіння дуги 3000–7000 °С, оскільки зміна енергії Гіббса у цьому випадку складає від –270 до –690 кДж/моль Ме. У той час як при відновленні монооксиду заліза алюмінієм у зоні горіння дуги ΔG° сягає значень від –130 до –75 кДж/моль Ме.

Виконано аналіз процесу нагріву графітованого порожнистого електрода при обробці сталі на установці «ківш-піч». Отримані дані температурного поля електрода при подачі електроенергії і в періодах без електронавантаження. Розраховані значення Джоулевої теплоти, що виділяється в процесі роботи електрода в періоди нагріву металу на установці «ківш-піч», які склали 1,11–1,15 МВт/м³. Виконаний розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі конвекцією для внутрішньої і зовнішньої поверхні ГПЕ, значення якого відповідно склали 1,60 і 1,80 та 5–17 Вт/(м² °С). Отримані значення температурного градієнту електрода в високотемпературній зоні, які для першого періоду нагріву досягали 8,29 °С/мм, а третього до 6,57 °С/мм. Встановлено, що в періоди його охолодження (другий і четвертий періоди) градієнт температур суттєво знижується і становить від епіцентру тора: до внутрішньої поверхні 0,38 °С/мм; до зовнішньої поверхні 3,61 °С/мм; і вертикальній площині до торця електрода 1,47 °С/мм. Визначені напрямки покращення теплової роботи установки і зниження ресурсовитрат при позапічній обробці сталі. Подача газу каналом ГПЕ зменшує його температуру, завдяки чому зменшується питомий опір, що в свою чергу покращує умови горіння дуги. Також імовірно уповільнення процесу окислення електрода шляхом його екранування інертним газом в зоні високих температур.

Отримані дані щодо впливу подачі газу через порожнистий електрод на параметри формування високотемпературних областей ГПЕ. Визначено, що в періоди експлуатації електрода з подачею струму відзначаються істотні значення градієнту температур, які зосередженні в торцевій частині. Показано, що подача нейтрального газу через графітований порожнистий електрод з витратами 3 м³/год зміщує високотемпературну зону до периферії, що сприяє більш рівномірному розповсюдженню температури його об'ємом. В періоди експлуатації без подачі струму спостерігається утворення локально перегрітої зони, що має форму сплющеного уздовж осі тора, яка сформувалася в результаті акумуляції тепла попереднього періоду.

Виконаний аналіз ефективності передачі теплоти від електродугового розряду, сформованого в піделектродній зоні, до металевій ванні на установці «ківш-піч» при використанні звичайного електрода і порожнистого. Встановлено частину теплоти, яка передається випромінюванням і конвекцією. Так, при висоті шлаку 100–200 мм та витратах газу 3–10 м³/год випромінюванням передається від 86,99% до 92,97%, а конвекцією – 7,03–13,01%. Визначено що, для висоти шлакового покриву 100 мм при використанні звичайного електрода частина корисної теплоти отриманої металом складає 81,17%, шлаком – 18,83%, а при використанні порожнистого електрода кількість теплоти що передається металу на 1,83% більше. Для випадку з висотою шлакового покриву 200 мм кількість теплоти що передається металу збільшується на 7,25% у порівнянні зі звичайним ГЕ. Визначено вплив параметрів реакційної зони, що формується під ГПЕ з подачею газу, на передачу теплоти від електричної дуги до металевій ванні, так розрахункові максимальні значення приросту температури металу склали 0,6°C/хв.

Результати дослідження свідчать про ефективність використання графітованих порожнистих електродів. За рахунок збільшення площі контакту дуги з металом покращуються умови передачі теплоти, що позитивно впливає на зниження витрат енергоресурсів при позапічній обробці сталі на УКП. Таким

чином, використання ГПЕ з вдуванням нейтральних газів та можливістю інжекції порошкоподібних матеріалів може виявитися важливим кроком у напрямку розвитку енергозберігаючих технологій нагріву металу під час позапічної обробки в ковші.

Ключові слова: установка «ківш-піч», графітований порожнистий електрод, фізичне моделювання, чисельне моделювання, 3D модель, геометричні параметри лунки, термодинаміка, градієнт температур, теплопередача, густина теплового потоку.

ABSTRACT

Ruban V.O. Development of an energy-saving technology of liquid metal processing in a "ladle-furnace" using a graphitized hollow electrode. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy PhD on specialty 136 – "Metallurgy". – Ukrainian State University of Science and Technology. Dnipro, 2023.

The dissertation focuses on creating an energy-efficient technology for heating metal by means of a graphitized hollow electrode during out-of-furnace steel processing at Ukrainian and international enterprises, which will improve the technical and economic performance of the ladle-furnace (LF).

The work presents an analytical overview of out-of-furnace steel treatment methods in the LF, which helped to establish the research focus. It is shown that the use of Graphitised Hollow Electrodes (GHE) in the LF has a positive effect on its performance compared to conventional graphitized electrodes (GE). There is a lack of information in the scientific literature regarding the impact of gas supply through the GHE channel on three main factors: the creation of a reaction zone beneath the electrode in the LF, alterations in the temperature gradient of the HE, and the overall thermal performance of the LF.

Based on the analysis of literary sources, an experimental methodology was

developed and a laboratory facility was created for physical modeling on a “water” model. The goal of modeling was to determine the impact of gas injection through the GHE channel on the change in the geometric parameters of the cavity formed in the sub-electrode zone under the action of an electric arc, as well as to study the behavior of the metal bath and the slag layer. Calculated values of the geometric parameters of the cavity formed under the action of the electric arc discharge in the sub-electrode zone of the LF under the basic operating mode of the unit (without gas supply). In particular, the area of the curved surface of the cavity is 0.19–0.21 m² with a slag layer thickness of 100–200 mm.

According to the results of the physical modeling of the gas blowing through the channel of the GHE, the data of the geometric parameters of the formed cavity in the LF bath were obtained. Thus, for the studied range of gas consumption of 3–20 m³/h with a slag layer thickness of 100–200 mm, the area of the cavity was 0.19–0.46 m², while the depth of the cavity was from 4 cm to 16.5 cm, respectively. The rational consumption of the gas supplied through the GHE channel is determined. It was established that an excessive increase in the intensity of gas supply leads to a significant increase in the depth of the metal cavity, which can lead to the process of its "clogging" with a metal bath. It was also noted that the slag layer, which is concentrated around the electrode, will break open opening the cavity, causing increase of heat loss to the LF atmosphere. Accordingly, for a slag layer of 100 mm, the gas consumption is 3–6 m³/h, and for slag of a thickness of 200 mm is 6–10 m³/h, these costs make the process of "clogging" of the cavity and breaking of the slag layer impossible. The area of the cavity, which is formed with these gas flows, is determined. In particular, for slag thickness of 100 mm and 200 mm, the area of the cavity was from 0.21 to 0.23 m² and from 0.29 to 0.35 m², respectively.

On the basis of the obtained data, a methodology was developed and numerical modeling was carried out: thermodynamics of the processes of dissociation and reduction of metal oxides in the sub-electrode zone at arc temperatures; changes in the temperature field in the working area of the GHE in different periods of steel processing at the LF; thermal performance of a GHE with

the gas supply during the out-of-furnace processing of steel at the LF.

Data were obtained on the change in the Gibbs energy for the reactions of the dissociation and reduction at high temperatures in the sub-electrode zone during arc burning when powdered metal oxides are supplied through the GHE channel. The range of temperatures at which the process of dissociation and reduction (when a carbon used as reducer) of selected metal oxides begins is determined. Thus, the temperature range of the beginning of the process of dissociation reactions varies from 4050 °C to 7000 °C, and the carbon reduction reactions from 800 °C to 3000 °C. The change in Gibbs energy in the course of iron monoxide reduction reactions with reducing agents such as carbon and aluminum was determined. It was established that it is more appropriate to use carbon at arc combustion temperatures of 3000–7000 °C, since the change in Gibbs energy in this case is from –270 to –690 kJ/mol metal. While in the reduction of iron monoxide with aluminum in the arc burning zone, ΔG° reaches values from –130 to –75 kJ/mol metal .

An analysis of the process of the GHE heating during steel processing in the LF was performed. The obtained data of the temperature field of the electrode during the supply of electricity and in periods without an electrical supply. The calculated values of the Joule heat released during the operation of the electrode during periods of metal heating in the LF, which amounted to 1.11–1.15 MW/m³. The coefficients of heat transfer by convection were calculated for the inner and outer surface of the GHE, the values of which were 1.60 and 1.80 and 5–17 W/(m²·°C), respectively. The obtained values of the temperature gradient of the electrode in the high-temperature zone reached 8.29 °C/mm for the first heating period, and up to 6.57 °C/mm for the third. It was established that during the periods of its cooling (the second and fourth periods), the temperature gradient significantly decreases and is from the epicenter of the torus: to the inner surface of 0.38 °C/mm; to the outer surface 3.61 °C/mm; and the vertical plane to the end of the electrode 1.47 °C/mm. The directions for improving the LF thermal performance and reducing resource consumption during out-of-furnace processing of steel have been determined. Gas supply through the GHE channel reduces its temperature, due to which the specific

resistance decreases, which in turn improves the arc burning conditions. It is also possible to slow down the oxidation process of the electrode by shielding it with an inert gas in the high temperature zone.

Obtained data on the influence of gas supply through a GHE on the parameters of the formation of its high-temperature regions. It was determined that during the periods of operation of the electrode with current supply, significant values of the temperature gradient are noted, which are concentrated in the end part. It is shown that the supply of neutral gas through a GHE with a flow rate of 3 m³/h shifts the high-temperature zone to the periphery, which contributes to a more even distribution of temperature throughout its volume. During periods of operation without current supply, the formation of a locally overheated zone, which has the shape of a flattened along the axis of the torus, is observed, which was formed as a result of the accumulation of heat in the previous period.

The analysis of the efficiency of heat transfer from the electric arc discharge formed in the sub-electrode zone to the metal bath in the LF when using a conventional electrode and a hollow one was performed. Part of the heat transferred by radiation and convection is determined. Thus, with a slag thickness of 100–200 mm and gas consumption of 3–10 m³/h, 86.99% to 92.97% is transmitted by radiation, and 7.03–13.01% by convection. It was determined that, for the thickness of the slag layer of 100 mm, when using a conventional electrode, a part of useful heat received by the metal is 81.17%, by slag - 18.83%, and when using the GHE, the value of heat transferred to the metal is 1.83% more. For the case with a slag layer thickness of 200 mm, the amount of heat transferred to the metal increases by 7.25% compared to the conventional GE. The influence of the parameters of the reaction zone, which is formed under the GHE with gas supply, on the transfer of heat from the electric arc to the metal bath was determined, so the calculated maximum values of the metal temperature increase were 0.6°C/min.

The results of the study testify to the effectiveness of the GHE use. Due to the increase in the contact area of the arc with the metal, the conditions of heat transfer are improved, which has a positive effect on the reduction of energy consumption

during out-of-furnace steel processing at the LF. Thus, the use of GPE with the injection of neutral gases and the possibility of injecting powdered materials can be an important step in the direction of the development of energy-saving technologies for heating metal during out-of-furnace processing in a ladle.

Key words: ladle-furnace, graphitized hollow electrode, physical modeling, numerical modeling, 3D model, geometric parameters of the cavity, thermodynamics, temperature gradient, heat transfer, heat flow density

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЇ ЗДОБУВАЧА

Публікації в зарубіжних фахових виданнях або виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних

1. Ruban, V. Determining changes in the temperature field of a graphitized hollow electrode during metal processing periods in ladle-furnace / V. Ruban, O. Stoianov, K. Niziaiev, Y. Synehin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – №2. – P. 109–115. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.230002>
2. Ruban, V. Investigating cavity formation in an electric arc zone during out-of-furnace processing of steel / V. Ruban, O. Stoianov, K. Niziaiev, Y. Synehin, S. Zhuravlova, K. Malii // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – № 4/1. – P. 134–142. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.284884>

Публікації у наукових фахових виданнях України

3. Рубан, В.О. Термодинаміка процесів дисоціації та відновлення оксидів металів в зоні горіння дуги при обробці на установці «ківш-піч» / В.О. Рубан, О.М. Стоянов // Теорія і практика металургії. – 2022. – №5. – С. 57 – 62. doi: <https://doi.org/10.34185/tpm.5.2022.08>
4. Рубан, В.О. Аналітичні дослідження технології рафінування і легування металу на установці «ківш-піч» / В.О. Рубан, О.М. Стоянов // Теорія

і практика металургії. – 2022. – №6. – С. 19–24. doi:
<https://doi.org/10.34185/tpm.6.2022.04>

5. Ruban, V.O. The investigation of the thermal performance of the graphitized hollow electrode in the «ladle-furnace» with the supply of neutral gas / V.O. Ruban, O.M. Stoianov // Metal and casting of Ukraine. – 2023 – №2 – P. 18–26. Doi: <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.02.018>

Патенти

6. Пат. На корисну модель. Україна. МКИ В22D 41/015 С21С 7/0 . Спосіб обробки рідкого металу в агрегаті ківш-піч / Рубан В.О., Стоянов О.М., Нізяєв К.Г., Синегін Є.В. – № 147183; Заявл. 28.09.2020; Опубл. 21.04.2021. Бюл. № 16. – 3 с.

Публікації, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Рубан, В.О. Холодне моделювання гідродинаміки ковшової ванни / В.О. Рубан, О.М. Стоянов, К.Г. Нізяєв, Є.В. Синегін // Литво. Металургія-2019: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя, 21-23 травня 2019 р.– Запоріжжя, 2019. – С. 332-333.

8. Рубан, В.О. Моделювання гідродинамічних процесів при продувці в ковші через донні дуттьові пристрої / В.О. Рубан // Наука і металургія: Всеукраїнська науково-технічна конференція. Дніпро, 9-10 жовтня 2019 р. – Дніпро, 2019. – С. 10-11.

9. Stoianov O. Simulation of hydrodynamic processes during argon bottom blowing in teeming ladle / O. Stoianov, V. Ruban, I. Mamuzić // 14th International Symposium of Croatian Metallurgical Society «Materials and Metallurgy» (SHMD 2020), Šibenik, June 21-26, 2020. P. 433.

10. Низяев, К.Г. К вопросу об использовании кальция для внепечной обработки железоуглеродистых расплавов / К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов, N. Raymakers, Е.В. Синегин, Л.С. Молчанов, В.О. Рубан // Литво. Металургія-

2020: Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя, 8-10 вересня 2020 р.– Запоріжжя, 2020. – С. 268-270.

11. Рубан, В.О. Моделювання продувки металу на установці «ківш-піч» та її вплив на відсоток видалених неметалевих включень / В.О. Рубан, О.М. Стоянов, К.Г. Нізяєв, Є.В. Синегін // Литво. Металургія-2020: Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя, 8-10 вересня 2020 р.– Запоріжжя, 2020. – С. 291-293.

12. Стоянов, А.Н. Определение влияния химического состава искусственных рафинирующих смесей на их физико-химические свойства / А.Н. Стоянов, К.Г. Низяев, Е.В. Синегин, Л.С. Молчанов, В.О. Рубан // Литво. Металургія-2020: Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя, 8-10 вересня 2020 р.– Запоріжжя, 2020. – С. 305-308.

13. Рубан В.А. Температурные поля в графитированных полах электродах установки «ковш-печь» / В.А. Рубан, А.Н. Стоянов, Е.В. Синегин // II Всеукраїнська конференція молодих вчених «Молодь і наука. Практика інноваційного пошуку» (17 грудня 2020 р., м. Дніпро): Дніпро, 2020. – С. 137-141.

14. Рубан, В.О. Вплив оголення дзеркала металу на витрати тепла при різних режимах продувки на установці «ківш-піч» / В.О. Рубан, О.М. Стоянов, Я.А. Кириленко, Є.В. Синегін // Литво. Металургія-2021: Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя, 18-20 травня 2021 р.– Запоріжжя, 2021. – С. 345-348.

15. Рубан В.О. Огляд технологій рафінування і легування металу за допомогою порожнистого електроду / В.О. Рубан, О.М. Стоянов, Є.В. Синегін // Литво. Металургія-2021: Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя, 18-20 травня 2021 р.– Запоріжжя, 2021. – С. 349-351.

16. Стоянов, О.М. О возможности применения азота в ковшевой металлургии / О.М. Стоянов, С.Б. Бойченко, К.Г. Нізяєв, Є.В. Синегін, В.О. Рубан // Литво. Металургія-2021: Матеріали Х Міжнародної науково-

практичної конференції. Запоріжжя, 18-20 травня 2021 р.– Запоріжжя, 2021. – С. 390-392.

17. Стоянов, О.М. Анализ и расчеты температурно-скоростного режима разлива хромистых сталей / О.М. Стоянов, К.Г. Нізяєв, Є.В. Синегін, В.О. Рубан // Литво. Металургія-2021: Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя, 18-20 травня 2021 р.– Запоріжжя, 2021. – С. 392-395.

18. Рубан В.О. Аналіз утворення локально перегрітих зон графітованого порожнистого електрода при позапічній обробці сталі / В.О. Рубан, О.М. Стоянов, Є.В. Синегін // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Наука і металургія»: Збірник наукових праць, 24 червня 2021 р. – Дніпро: Інститут металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, 2021. – С. 14-15. DOI 10.52150/2522-9117-2021-conferens

19. Ruban V. Simulation of steel blowing processes in LF through hollow electrodes / V. Ruban, O. Stoianov, K. Niziaiev, Y. Synehin // 15th International Symposium of Croatian Metallurgical Society «Materials and Metallurgy» (SHMD 2022), Zagreb, March 22-23, 2022. P. 564.

20. Рубан, В.О. Дослідження температурного поля графітованого порожнистого електрода при обробці сталі на установці «ківш-піч» / В.О. Рубан, О.М. Стоянов, Є.В. Синегін, С.Б. Бойченко // Литво. Металургія. 2022: Матеріали ХІ Міжнародної науково-практичної конференції (04-06 жовтня 2022 р., м. Харків-м. Київ) Харків, НТУ «ХП». – 271 стор.

21. Рубан, В.О. Моделювання продувки сталі графітованим порожнистим електродом на установці «ківш-піч» / В.О. Рубан, О.М. Стоянов, N. Raumakers, Є.В. Синегін // Литво. Металургія. 2022: Матеріали ХІ Міжнародної науково-практичної конференції (04-06 жовтня 2022 р., м. Харків-м. Київ) Харків, НТУ «ХП». – 271 стор.

22. Ruban V.O. Analysis of the thermal performance of a graphitized hollow electrode / V.O. Ruban, O.M. Stoianov, Y.V. Synehin, I. Mamuzić // 16th

International Symposium of Croatian Metallurgical Society «Materials and Metallurgy» (SHMD 2023), Zagreb, April 20-21, 2023. P. 321.

Методичні вказівки

23. Методичні вказівки до виконання практичних завдань та семінарських занять з дисципліни «Моделі сталеплавильних систем» для здобувачів третього освітнього рівня, ступеню вищої освіти доктор філософії, що навчаються за ОНП «Металургія», спеціальність 136 – Металургія / Укл.: О.М. Стоянов, Є.В. Синегін, В.О. Рубан – Дніпро: НМетАУ, 2021. – 8 с.