

© О.Р. Кондрат

д-р техн. наук

ІФНТУНГ

А.Д. Гутак

ПрАТ «Природні ресурси»

O.R. Kondrat

D-r of Technical Science

IFNTUOG

A.D. Gutak

PJSC «Natural Resources»

## Енергоефективна модифікація установки низькотемпературної сепарації газу

## Energy efficient modification of a low-temperature gas separation plant

УДК 66.071.62

*Проаналізовано ефективність роботи типових установок низькотемпературної сепарації з використанням дросель-ефекту і подальшою подачею газу побутовим споживачам. Запропоновано модифіковану технологічну схему низькотемпературної сепарації, у якій дросель замінений на вихрову трубу. Отримані результати розрахунків показують значну ефективність такої технології та підтверджують можливість економії енергоресурсів порівняно з типовою схемою.*

**Ключові слова:** низькотемпературна сепарація, дросель-ефект, вихрова труба.

*Проанализирована эффективность работы типовых установок низкотемпературной сепарации с использованием дросель-эффекта и дальнейшей подачей газа бытовым потребителям. Предложена модифицированная технологическая схема низкотемпературной сепарации, в которой дросель заменен на вихревую трубу. Полученные результаты расчетов показывают значительную эффективность такой технологии и подтверждают возможность экономии энергоресурсов по сравнению с типовой схемой.*

**Ключевые слова:** низкотемпературная сепарація, дросель-ефект, вихревая труба.

*The efficiency of operations on a typical low-temperature separation plants using Joule-Thomson effect with further gas supply to household consumers is analyzed. A modified process flow of the low-temperature separation is proposed, where the choke is replaced by a vortex tube. The computation results prove such technology to be very efficient thus confirming the possibility of saving energy resources as compared to a typical process of separation.*

**Key words:** low-temperature separation, Joule-Thomson effect, vortex tube.

Газопостачання населених пунктів і окремих споживачів газу здійснюється за допомогою газорозподільних станцій (ГРС) магістральних газопроводів. Температура газу, що виходить із ГРС, у ході проектування газопроводів регламентується ДБН В.2.5-20-2001 та встановлюється на рівні не нижче мінус 10°C під час подавання в підземні газопроводи. У той же час практика експлуатації ГРС свідчить, що для попередження гідратуутворення на ГРС із продуктивністю до 50–70 тис. м<sup>3</sup>/год доцільно передбачати загальний підігрів газу [1]. Підігрівання повинно забезпечити температуру газу вище температури точки роси на 5–7 °С. Для підігрівання газу залежно від продуктивності ГРС застосовують різні типи підігрівачів і теплообмінних апаратів. Найбільш поширеним є використання теплообмінника, у одному з просторів якого циркулює гарячий теплоносіє. Для нагрівання теплоносія спалюється значна частина природного газу, який міг би бути використаний для продажу, та витрачається електроенергія для здійснення циркуляції теплоносія у системі. Об'єм витрати паливного газу відрізняється на кожній установці підготовки газу та може змінюватися в межах від кількох сотень до кількох тисяч кубічних

Natural gas is supplied to cities and separate consumers through pressure reduction stations (PRS) placed on gas transportation pipelines. Gas temperature at the outlet of PRS is regulated by ДБН В.2.5-20-2001 at the project stage and is fixed at the level not less than minus 10 deg C for underground pipelines. Besides, according to PRS operating data with gas flowrate of 50 – 70 Mscmd it is appropriate to apply gas heating for hydrate forming prevention [1]. Heating process should provide gas temperature 5 – 7 deg C higher than water dew point temperature. For this purpose different types of heaters and heat exchangers are used depending on PRS performance. The most widely used are heat exchangers with hot liquid circulating in one of their sides. To maintain the hot liquid temperature the significant volume of fuel gas is burned that could be sold otherwise. Moreover, electric power is used to circulate this liquid in the system. The volume of fuel gas consumption differs from a processing plant to a processing plant and could change from hundreds to thousands cubic meters per day depending on ambient temperature and the volume of gas that should be heated.

Rather often, pressure reduction stations are placed directly on gas processing plants. In such case the quality

метрів за добу залежно від об'єму газу, який необхідно підігрівати, та кліматичних умов.

Досить часто газорозподільні станції розміщують безпосередньо на установках підготовки газу. Якість підготовки газу у такому випадку повністю залежить від використаної технології сепарації. Оскільки найбільш поширена в Україні низькотемпературна сепарація з використанням дросель-ефекту, то ефективність такої системи повністю залежить від наявного перепаду тиску на дроселі або регуляторі тиску. У ході експлуатації родовищ із часом виникає такий момент, коли перепаду тиску стає недостатньо для якісної підготовки газу за допомогою дроселювання. Унаслідок цього на ГРС потрапляє недостатньо підготовлений газ, що призводить до необхідності більшого підігрівання вихідного потоку з метою уникнення конденсації рідини у газопроводі.

Таким чином, на установках підготовки газу з ГРС можна виділити принаймні два потенційних недоліки:

1) неефективність дроселювання зі зменшенням перепаду тиску на дроселі або регуляторі тиску, що призводить до погіршення якості підготовки газу;

2) спалювання природного газу для підігрівання теплоносія та використання електроенергії для здійснення його циркуляції у системі.

На нашу думку, одним із методів, що дасть можливість усунути такі недоліки, є використання вихрової труби у системі низькотемпературної сепарації замість дроселя або їх поєднання. За допомогою ефекту Ранка, який реалізується у вихрових трубах, вхідний потік газу розділяється на холодний та гарячий. Останній може бути використаний для нагрівання газу на ГРС замість теплоносія, заощаджуючи при цьому паливний газ та електроенергію. Натомість температура холодної частини потоку є нижчою, ніж під час звичайного дроселювання, що підвищує якість підготовки газу до транспортування.

Для усунення або мінімізації розглянутих вище недоліків необхідно удосконалити стандартну систему низькотемпературної сепарації, в якій використовується дросель-ефект. Нова технологія повинна забезпечувати достатнє вилучення вологи та вуглеводневого конденсату з газу, а також забезпечувати необхідний рівень температури газу на виході з ГРС. Такою модифікацією може послужити використання вихрової труби замість дроселя (регулюючого клапана) або разом із ним. За термодинамічною ефективністю вихрова труба займає положення між дроселем і детандером, однак значно перевершує останній за простотою конструкції та надійністю в експлуатації. Крім того, вихрова труба не потребує додаткового обслуговуючого персоналу, а також може працювати за наявності в газі рідини, що категорично заборонено для турбодетандерних агрегатів.

Згідно з проведеними експериментальними та чисельними дослідженнями, описаними у публікаціях [2, 3], вихрова труба може достатньо ефективно працювати при співвідношенні вхідного тиску до вихідного, що більше від 2. Іншими словами,  $\pi = P_{\text{вх}} / P_{\text{вих}} > 2$ . За менших значень цього параметра вихрова труба не забезпечує необхідного рівня температур холодного та гарячого

of gas is fully dependent on separation technology used. As far as the most common gas processing technology in Ukraine is low-temperature separation with Joule-Thomson effect, the efficiency of such system is fully dependent on pressure drop at the choke or pressure regulator. During field development, at some moment arises such situation that the amount of pressure drop becomes not enough to efficiently utilize J-T effect and provide the quality of natural gas according to specs. As a result unprocessed gas flows to PRS that causes the need of higher heating the outlet stream to avoid hydrocarbon condensation in pipeline.

Thus, at least two potential drawbacks on gas processing plants with PRS can be identified:

1) J-T effect becomes not efficient during pressure drop decrease at the throttle or pressure regulator that causes the decrease in gas processing quality;

2) the burning of fuel gas to maintain hot liquid temperature and the consumption of electric power to perform hot liquid circulation in the heating system.

As we think, one of the methods that could help to remove such drawbacks could be the implementation of a vortex tube into low-temperature separation system in place of J-T valve or in combination with it. With Ranque effect that occurs in vortex tubes inlet gas stream is divided into cold and hot ones. The last could be utilized for heating the natural gas at PRS instead of hot liquid while saving fuel gas and electric power. At the same time cold stream temperature is lower than that achievable with J-T effect which enhance the quality of natural gas processing.

To remove or minimize the above-mentioned drawbacks the typical low-temperature separation with J-T effect should be modified. The new technology should provide sufficient removal of water vapor and hydrocarbon condensate from gas and maintain the required level of PRS outlet gas temperature. Vortex tube could be utilized in place of J-T valve or in combination with it in such modification. The thermodynamic efficiency of vortex tube is stated between J-T valve and expander but vortex tube significantly exceeds the last by simplicity of design and reliability. Besides, with vortex tube there is no need for additional service personnel. Also it can operate on natural gas with some content of free liquids that is strictly prohibited for expanders.

According to the results of conducted experimental and numerical investigations published in [2, 3] the vortex tube can efficiently operate at inlet to outlet pressure ratios higher than 2. In other words,  $\pi = P_{\text{in}} / P_{\text{out}} > 2$ . At lower values of this parameter the vortex tube could not provide the required levels of cold and hot streams temperatures for effective utilization in gas processing systems with PRS. On this basis the utilization of vortex tubes is the most optimal case for PRS and low-temperature separation systems with PRS in which natural gas is supplied to transportation pipelines and household consumers at the same time.

The proposed modification of low-temperature separation system can be effectively implemented on one of the plants of Gas Production Division «Poltavagasvydobuvannya». For example, let's consider Kopolivska Temporary Pilot Plant on

потоків для ефективного використання у системах підготовки газу з ГРС. Виходячи з цього, використання вихрової труби є найбільш оптимальним на установках низькотемпературної сепарації, де газ подається не тільки у магістральний газопровід, але й для побутових потреб населення, а також на автоматичних газорозподільних станціях.

Таку модифікацію установки низькотемпературної сепарації може бути ефективно реалізовано на одній із установок ГПУ «Полтавагазвидобування». Для прикладу розглянемо Копилівську ТДПУ, на якій частина газу подається у магістральний газопровід із середньорічним тиском 2,3–3,0 МПа, а інша редукується до тиску 0,8 МПа та, проходячи через додатковий сепаратор, подається в побутовий газопровід, що йде в місто Полтава. Типову технологічну схему таких установок зображено на рис. 1.

У процесі розробки родовища вхідний тиск на установці знижується, що призводить до неефективності використання дроселювання на штуцері ШР-1 (див. рис. 1). З часом тиску та дебіту газу стає недостатньо для одночасної подачі у магістральний та побутовий газопроводи. Тоді установку переводять на постачання газу тільки побутовим споживачам.

Для дотримання умов подачі газу для м. Полтави з Копилівської ТДПУ, тобто з температурою не нижче 0 °С, вихідний потік газу пропускається через теплообмінник Т-2, де підігрівається за допомогою гарячого теплоносія. При цьому для нагрівання теплоносія спалюється природний газ та витрачається електроенергія для здійснення циркуляції у системі. На нашу думку, уникнути таких витрат або мінімізувати їх можна завдяки впровадженню технологічної схеми, описаної у роботі [4] та зображеної на рис. 2.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що в установці для низькотемпературної підготовки природного газу замість дроселя ШР-1 встановлюється вихрова труба VT, яка забезпечує одночасне нагрівання та охолодження газу. Запропонована установка працює так. Пластовий газ із свердловин подається у сепаратор першого ступеня С-1, де відділяють пластову рідину та механічні домішки, рекуперативний теплообмінник Т-1, у якому газ охолоджується холодним потоком із сепаратора другого ступеня С-2 та надходить у вихрову трубу

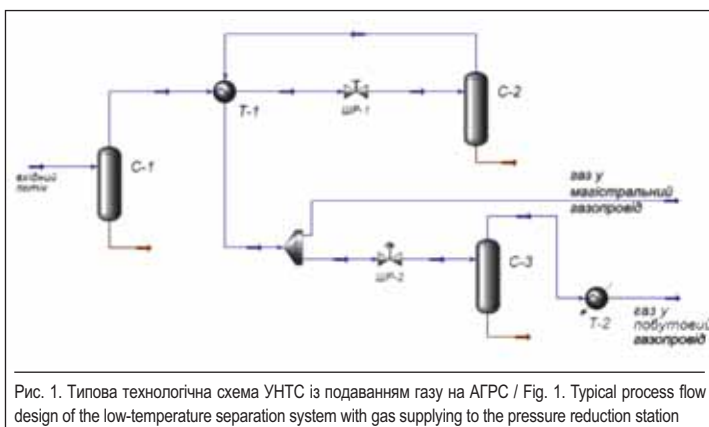


Рис. 1. Типова технологічна схема УНТС із поданням газу на АГРС / Fig. 1. Typical process flow design of the low-temperature separation system with gas supplying to the pressure reduction station

which outlet gas stream is divided into two parts. One part of gas is supplied to transportation pipeline with an average annual pressure of 2,3 – 3,0 МПа. The other part is reduced to 0,8 МПа and passing through additional separator is supplied to the low-pressure pipeline of Poltava city. Typical process flow design of such plants is shown in Fig. 1.

During the field development plant inlet pressure decreases that leads to inefficiency of J-T effect on throttle JT-1 (Fig. 1). After some time the levels of gas flowrate and inlet pressure become insufficient to simultaneously supply gas to transportation and low-pressure pipelines. Then the plant is switched to supply gas to household consumers only.

To ensure the gas spec for Poltava, t.e. with temperature not less than 0 deg C, outlet gas stream passes through heat exchanger E-2, in which it is heated by hot liquid. As usual for such systems fuel gas is burned to maintain the hot liquid temperature and electrical power is consumed to perform hot liquid circulation in the system. We suggest to implement process flow design published in [4] and shown in Fig. 2 to avoid or minimize such expenses.

The problem is solved by installing a vortex tube VT in place of J-T valve JT-1 at the low-temperature separation plant, which provides simultaneous gas cooling and heating. Suggested system operates as follows. Reservoir fluid from wells flows to the first stage separator S-1, in which free liquids and mechanical impurities are separated from gas, recuperative heat exchanger E-1, in which inlet gas is cooled by cold stream from second stage separator S-2 and flows into the vortex tube VT. After passing the vortex tube VT cold stream flows to the second stage separator S-2 and hot stream is directed to recuperative heat exchanger E-2 to heat the gas from the third stage separator S-3 that was previously heated by hot liquid. Separated gas from the second stage separator S-2 is directed to recuperative heat exchanger E-1 to cool the inlet stream from the first stage of separation and then, dried and conditioned, it flows through the pressure regulator JT-2 to the third stage separator S-3. Cold gas from third stage separator S-3 is directed to the recuperative heat exchanger E-2 in which it is heated by the hot stream from the vortex tube. After that gas meets the spec and could be supplied through the low-pressure pipeline to household consumers. Liquids from the first, second and third stages

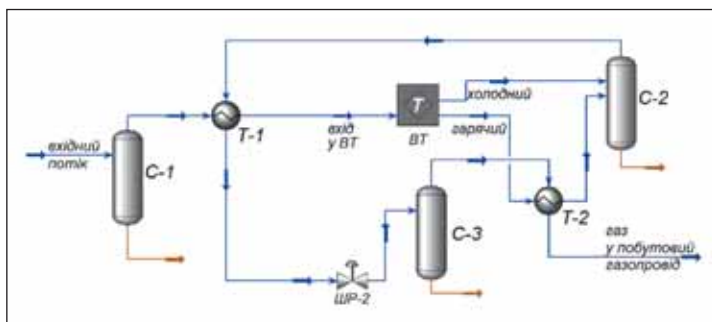


Рис. 2. Модифікована схема УНТС із поданням газу на АГРС / Fig. 2. Modified process flow design of the low-temperature separation system with gas supplying to the pressure reduction station

ВТ. Після вихрової труби ВТ отриманий холодний потік газу направляється у сепаратор другого ступеня С-2, а гарячий потік газу направляється у рекуперативний теплообмінник Т-2 для підігріву газу, що надходить із сепаратора третього ступеня С-3, який раніше підігрівався теплоносієм від вогневого підігрівача. Відсепарований газ із сепаратора другого ступеня С-2 направляється у рекуперативний теплообмінник Т-1 для охолодження вхідного газу із першого ступеня, після чого сухий та очищений газ через регулюючий клапан ШР-2 подається на сепаратор третього ступеня С-3. Очищений холодний газ із сепаратора третього ступеня С-3 направляється на рекуперативний теплообмінник Т-2, який підігривається гарячим потоком із вихрової труби та вже підготовленим до відповідної якості надходить у вихідний побутовий колектор для подальшого транспортування населенню. Рідина із сепаратора першого ступеня С-1, другого ступеня С-2 та сепаратора третього ступеня С-3 потрапляє у трифазні розділювачі з відповідними тисками.

Для підтвердження можливості використання вихрових труб у таких системах було проведено дослідно-промислові випробування, які детально описано у роботі [2]. Вихрову трубу було встановлено на установці НТС паралельно до дроселя (рис. 3).

Метою таких випробувань було визначення термодинамічної ефективності вихрової труби за різних відношень тисків між виходом та входом, а також різних співвідношень витрат холодного та гарячого потоків. За допомогою термопар та ртутних термометрів вимірювали температури на вході у вихрову трубу, а також на виходах холодного та гарячого потоків. У результаті проведення досліджень було отримано необхідні характеристики, які дали можливість провести розрахунок матеріально-теплого балансу запропонованої вище технологічної схеми. Згідно з проведеними розрахунками використання вихрової труби дає можливість знизити температуру сепарації у сепараторі С-2 (див. рис. 2) більше ніж на 30 % при перепаді тиску з 2,5 МПа на 0,8 МПа порівняно з використанням дроселя. У той же час використання гарячого потоку з вихрової труби дає змогу повністю замінити теплоносієм у теплообміннику Т-2 та отримати температуру газу на виході з ГРС на рівні +4 °С.

## Висновки

Технічним результатом використання такої модифікованої схеми є отримання більш низької температури холодного потоку, ніж у звичайному дросельному пристрої, і в той же час отримання гарячого потоку, який застосовують для підігрівання газу, що подається у вихідний побутовий колектор, який зазвичай підігривався теплоносієм із використанням вогневого підігрівача. Також має місце зменшення енерговитрат і експлуатаційних витрат порівняно з використанням турбодетандера і підігрівача газу та покращення якості підготовки природного газу з більш тривалим терміном розробки родовища.



Рис. 3. Загальний вигляд місця монтажу вихрової труби на установці НТС / Fig. 3. General view of the installation site of vortex tube at the low-temperature separation plant

of separation flow to three-phase separators with relevant operating pressures.

To confirm the possibility of utilizing vortex tubes in such systems several pilot-scale tests were carried out, which are described in details in publication [2]. Vortex tube was installed on low-temperature separation plant parallel to J-T valve (Fig. 3).

The purpose of these tests was to define thermodynamic efficiency of vortex tube at different inlet to outlet pressure ratios and different ratios of cold and hot streams mass fractions. The temperature was measured with thermocouples and mercury thermometers at the vortex tube inlet and also at cold and hot streams outlets. As a result of research, the required characteristics were achieved that made it possible to calculate heat and material balance of suggested process flow design. According to performed computations the utilization of the vortex tube allows to decrease temperature at the second stage separator S-2 (Fig. 2) more than by 30% in comparison with utilizing the J-T valve at pressure reduction from 2,5 MPa to 0,8 MPa. Besides, the proper utilization of hot stream from the vortex tube allows to fully replace hot liquid in the heat exchanger E-3 by gas and achieve the PRS outlet gas temperature at the level of +4 deg C.

## Conclusions

The technical result of implementing the proposed modified process flow design is the achievement of the lower cold stream temperature than with the common J-T valve and at the same time receiving the hot stream which is utilized to heat gas supplied to the low-pressure pipeline previously heated by heat carrier by using fired heater. Reducing energy and operating costs is also taking place compared to using the turbo expander and gas heater for improving gas processing quality along with the possibility of longer reservoir development time.

Провівши приблизну оцінку економії ресурсів у розрахунку на 7 місяців опалювального періоду, ми визначили, що у разі використання вихрової труби на Копилівській ТДПУ можна повністю або частково зекономити за рік понад 75 МВт\*год електроенергії та понад 150 тис.м<sup>3</sup> природного газу. Крім того, видобуток конденсату підвищиться за рахунок більш низької температури сепарації, яку забезпечує вихрова труба. Представлена технологія не обмежується використанням на Копилівській ТДПУ та може бути ефективно застосована на будь-якій іншій установці, яка працює за схожою схемою.

Отже, використання вихрових труб у складі установок низькотемпературної сепарації допоможе підвищити якість підготовки газу, зменшити витрату енергоносіїв та продовжити період ефективної роботи установки.

After rough estimation of saving the resources per heating period of 7 months, we determined that it could be saved more than 75 MW\*h of electric power and 150 Mscmd of natural gas during one year in case of using the vortex tube at the Kopolivska Temporary Pilot Plant. Additionally, condensate recovery increases due to lower separation temperature that is provided by the vortex tube. The proposed technology is not limited to the use at the Kopolivska Temporary Pilot Plant and can be effectively applied to any other plant, which operates on a similar scheme.

Thus, the utilization of vortex tubes at low-temperature separation plants will help to increase gas processing quality, reduce energy consumption and extend the period of efficient plant operation.

### Список використаних джерел / References

1. **Середюк М.Д.** Проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів : навч. посіб. / М.Д. Середюк, В.Я. Малик, В.Т. Болонний. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – 436 с. – ISBN 966-7327-88-4.

2. **Gutak A.D.** Experimental investigation and industrial application of Ranque-Hilsch vortex tube / A.D. Gutak // International Journal of Refrigeration. – 2015. – № 49. – Pp. 93–98.

3. **Гутак А.Д.** Використання вихрових труб для підготовки природних газів / А.Д. Гутак // Нафтогазова галузь України. – 2014. – № 6. – С. 21–24.

4. **Пат. 84048 Україна**, МПК F25B 11/00. Установа для низькотемпературної підготовки природного газу / Гутак А.Д.; винахідники Гутак А.Д., Подоляк Т.М., Максименко А.Г., Косяков К.О.; власник Гутак А.Д.; заявл. 03.04.13; опубл. 10.10.13, Бюл. № 19. – 5 с.

### НОВІ КНИГИ



Вийшла друком українсько-польська монографія «Наукові основи вдосконалення систем розробки родовищ нафти і газу». Автори від України – В.П. Гришаненко, Ю.О. Зарубін, В.М. Дорошенко, М.В. Гунда, В.І. Прокотів, В.С. Бойко, О.А. Швидкий, від Польщі – М. Цехановська, П. Сух, Г. Тичковська.

У монографії викладено науково-обґрунтовані положення щодо вдосконалення систем розробки нафтових і газових родовищ. Значну увагу приділено методам інтерпретації результатів сейсмічних, геофізичних та гідродинамічних досліджень, побудові фізико-геологічних моделей для визначення ємнісних характеристик колекторів, проведенню індикаторних досліджень міжсвердловинного простору. Сформульовано основні принципи та технологічні і реагентні засоби упорядкованої дії на пластову систему та показано результати їх реалізації.

Монографія призначена для широкого кола інженерно-технічних і наукових працівників, аспірантів та студентів нафтогазового профілю.

У видавництві Львівської політехніки вийшла друком книга «Гідрокрекінг» авторів О.Я. Мачинського та П.І. Топільницького. У ній розглянуто теоретичні основи процесу гідрокрекінгу, наведено характеристику продуктів, типи катализаторів, описано гідрокрекінг дистильної та залишкової сировини, гідрогенізаційні методи переробки твердих вуглеводнів, висвітлено виробництво водневмісного газу, а також місце гідрокрекінгу у структурі нафтопереробного заводу. Видання буде корисним для науковців, інженерно-технічних працівників нафтогазової галузі, а також для викладання навчальних дисциплін.



У 2015 році вийшла друком наукова монографія «Стратегічне управління нафтогазовими підприємствами України: технології, механізми та інструменти реалізації», авторами якої є канд. екон. наук В.І. Варцаба, д-р екон. наук Я.С. Витвицький, канд. екон. наук О.М. Витвицька, канд. екон. наук У.Я. Витвицька, канд. екон. наук

Н.О. Гавадзин, д-р екон. наук Л.С. Головова, канд. екон. наук І.Б. Запужляк, канд. екон. наук Р.Т. Мацьків, д-р екон. наук В.П. Петренко, канд. екон. наук С.А. Побігун, канд. екон. наук Г.С. Степанюк.

У монографії розглянуто проблеми ефективного використання технологій, механізмів та інструментів стратегічного управління діяльністю підприємств вітчизняної нафтогазової галузі, а також приведено результати теоретичних і методологічних досліджень, розробки і апробації практичних рекомендацій для управлінського корпусу, фахівців, викладачів галузевих орієнтованих університетів, студентів, аспірантів і здобувачів наукових ступенів.