



Serhiy S. Ryzhkov
Рыжков
Сергей Сергеевич

УДК 658.567
О 80

TESTING OF PYROLYSIS TECHNOLOGY OF ORGANIC WASTE UTILIZATION FOR MARINE ECONOMY COMPLEX – WASTE SUPPLY SYSTEM INTO PYROLYSIS REACTOR

ОТРАБОТКА ПИРОЛИЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ДЛЯ МОРЕХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА – СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ОТХОДОВ В ПИРОЛИЗНЫЙ РЕАКТОР

DOI 10.15589/SMI20140207

Serhiy S. Ryzhkov

С. С. Рыжков, д-р техн. наук, проф.
rektor@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0001-9560-2765

Liudmyla N. Markina

Л. Н. Маркина, канд. техн. наук

liudmila.markina@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0003-3632-1685

Nikolay V. Rudyuk

Н. В. Рудюк, ст. науч. сотр.

mykola.rudiuk@nuos.edu.ua

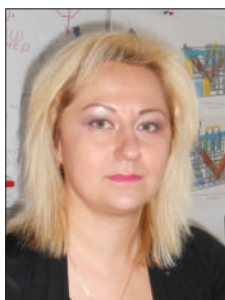
ORC ID: 0000-0003-4226-1623

Yuliya V. Zabolotnaya

Ю. В. Заболотная, техник 3-й категории

yuliia.zabolotna@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0003-4018-7677



Liudmyla N. Markina
Маркина
Людмила
Николаевна

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. The technological and structural specific features of the plunger system of organic waste loading into the hermetically sealed pyrolysis reactor operating in a continuous mode are discussed. Research aim is to develop the safe, eco-friendly system of organic waste recycling which are forming in the process of maritime complex enterprises activity; to provide the continuous eco-friendly safe loading of crushed organic waste into the hermetically sealed reactor of multistage circuit pyrolysis. The theoretical calculations on the geometry optimization of the output nozzle installed at the output of the plunger system which forms the cork from the loaded crushed polymers which provides the sealing of the pyrolysis reactor are carried out. The experimental studies of nozzles in continuous operation mode of the reactor are performed. The development of plunger system structure with the optimal nozzle and simulated in 3D is completed. It is experimentally proved that the proposed optimal structure of the outlet nozzle in the form of a truncated pyramid with conicity of 1:3 installed to the reactor with its big base, in its low point, stably restores the technological cork in the process of the continuous crushed polymers feeding into the medium of molten polymers, at a given internal pressure in the reactor. The research results can be used for designing the industrial plants on thermal recycling of organic waste with obtaining the alternative types of fuel for maritime complexes, airports, hospitals, towns and villages, where during their industrial activity the organic waste are formed. The established theoretical laws and structural solutions can effectively solve the problem of designing the commercial industrial plants on the thermal recycling of organic waste with obtaining the alternative fuels in the eco-friendly mode

Keywords: marine economy complex, pyrolysis reactor, organic wastes, plunger loading system, technological cork, environmental safety of the pyrolysis process.

Аннотация. Разработана и исследована конструктивная схема плунжерной системы загрузки измельченных органических отходов, образующихся на предприятиях морехозяйственного комплекса. Проведены расчеты конструкции плунжерной системы подачи измельченных полимеров в горячий реактор, исследованы условия эффективного уплотнения дробленых полимеров при их перемещении в выходном конусе плунжерной системы. Предложена усовершенствованная конструкция плунжерной системы, которая обеспечивает надежную непрерывную работу реактора многоконтурного циркуляционного пиролиза.

Ключевые слова: морехозяйственный комплекс, пиролизный реактор, органические отходы, плунжерная система загрузки, технологическая пробка, экологическая безопасность процесса пиролиза.



Nikolay V. Rudyuk
Рудюк
Николай
Васильевич



Yuliya V. Zabolotnaya
Заболотная
Юлия
Витальевна

Анотація. Розроблено і досліджено конструктивну схему плунжерної системи завантаження подрібнених органічних відходів, що утворюються на підприємствах морегосподарського комплексу. Проведено розрахунки конструкції плунжерної системи подачі подрібнених полімерів у гарячий реактор, досліджено умови ефективного ущільнення дроблених полімерів при їх переміщенні у вихідному конусі плунжерної системи. Запропоновано вдосконалену конструкцію плунжерної системи, яка забезпечує надійну безперервну роботу реактора багатоконтурного циркуляційного піролізу.

Ключові слова: морегосподарський комплекс, піролізний реактор, органічні відходи, плунжерна система завантаження, технологічна пробка, екологічна безпека процесу піролізу.

References

Kollerov L. K. *Gazomotornye ustanovki* [Gas-engines plants]. Moscow, Leningrad, Gossudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatelstvo mashinostroitel'noy literatury Publ., 1951. 240 p.

Markina L. N., Ryzhkov S. S., Rudiuk N. V. *Ustanovka dlia bezperervnogo pirolizu tverdykh orhanichnykh vidkhodiv* [Plant for continuous pyrolysis of solid organic waste] Patent UA, no. 96079, 2011.

Markina L. N., Ryzhkov S. S., Rudiuk N. V., Herzov Yu. I. *Ustanovka bezperervnoi termichnoi utylizatsii poli-mernykh vidkhodiv* [Plant of continuous thermal recycling of polymer waste] Patent UA, no. 93427, 2013.

Markina L. N., Ryzhkov S. S., Rudiuk N. V., Moskovko O. O. *Ustanovka bezperervnogo pirolizu polimernykh vidkhodiv z platformoiu* [Plant of continuous pyrolysis of polymer waste with a platform] Patent UA, no. 103723, 2013.

Mizgirev D. S. *Proektirovanie spetsialnykh sistem sudov kompleksnoy pererabotki otkhodov. Avtoreferat Diss.* [Design of the special vessel systems of complex recycling. Author's abstract]. Nizhny Novgorod, 2009. 23 p.

Problem statement. The current environmental state of the marine economy complex area in Ukraine (including sea and river ports, shipbuilding and ship-repairing yards, offshore drilling units etc.) is critical as scientists and specialists have defined. Wastes which are formed at these enterprises (up to 60.000 tons per year) are the mix of various organic substances which influence badly the environmental state of the Black Sea coastline. The development and realization of the eco-friendly projects for the marine economy complex has the strategic importance and is the priority economic direction of Mykolayiv region and Ukraine.

Latest research and publications analysis. From the point of view of environmental safety the most perspective technologies for organic waste utilization are technologies based on the multicircuit circulatory pyrolysis process (MCP). The MCP is the thermal decomposition of organic wastes in the hermetically sealed oxygen-eliminating reactor [2–4].

During the continuous operation of the MCP reactor of organic wastes and crushed polymers, the monomeric pressure of gas-vapor mixture is formed and it can break into the environment at the moment of loading into the reactor of a new portion of wastes which is unacceptable.

The methods of loading using the bunkers, gateways with different types of locking devices, screws, plungers are well-known. Each of them has its advantages and disadvantages. Especially it is important under the loading of the thermoplastic polymers, which are melting at the reactor entry under the influence of high temperatures (up to 800 °C) and sticking to the cold walls of the loading devices, and it does not allow using them without further improvement. For example, the bunkers with gateways and screw devices are usually used for the transportation of granular materials, and for the waste

Постановка проблемы. В настоящее время экологическое состояние территории морехозяйственного комплекса Украины, в который входят морские и речные порты, судостроительные и судоремонтные заводы, морские буровые установки и др., определено учеными и специалистами как критическое. Отходы, образующиеся на этих предприятиях (до 60 тыс. т/год), представляют собой смесь разнообразных органических веществ, негативно влияющих на экологическое состояние побережья Черного моря. Развитие и реализация экологически безопасных проектов для морехозяйственного комплекса имеет стратегическое значение и является приоритетным направлением экономики Николаевщины и Украины.

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее перспективными, с точки зрения экологической безопасности, для утилизации органических отходов можно считать технологии, основанные на процессе многоконтурного циркуляционного пиролиза (МЦП) — термическом разложении органических отходов в герметичном реакторе без доступа кислорода воздуха [2–4].

При непрерывной работе реактора МЦП органических отходов, в том числе измельченных полимеров, в нем создается избыточное давление парогазовой смеси, которая может прорываться в окружающую среду в момент загрузки в реактор новой порции отходов, что недопустимо.

Известны методы загрузки с использованием бункеров, шлюзов с различными видами запорных устройств, шнеков, плунжеров, каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Особенно это важно при загрузке термопластичных полимеров, которые при входе в реактор под действием высоких температур (до 800 °C) плавятся и прилипают к холодным стенкам загрузочных устройств, что не позволяет

supply into the gas generators [1], without high temperature at the entry. The special screw supply systems of bead polymers into the working molten zone with the temperature up to 300 °C in the extrusions of automatic molding machines are known. But they have a number of features which are not acceptable for the pyrolysis plants on polymer waste utilization. For example, they can provide the tightness of the working zone which is under the high pressure, but at the same time they have low productivity. The screw pair has a short service life which depends on the purity and type of raw materials (granules), and it is not acceptable under the polymer waste supply with mixture of sand and other dirt. As a result, the well-known loading structures can not be used in the pyrolysis plants.

The most acceptable structure for the continuous polymer waste supply into the pyrolysis reactor can be a plunger system with the cone nozzle [2], providing the formation of the technological cork in the cone nozzle, excluding the breakthrough of pyrolysis gases into the environment via the loading device. Waste supply under the pressure of plunger system compacts the crushed polymers in the technological cork and excludes the entry of toxic gases into the environment via the technological cork. The technological cork is restored at each new portion of waste supply into the reactor. The extra cooling of cone nozzle body excludes melting of the polymer waste in it. These wastes form the technological cork, which is very important in case of full-stop of the new portion of waste supply into the reactor in emergency situations [3, 4].

The plant of polymer waste utilization with alternative fuels generation developed on the basis of National University of Shipbuilding is planned to be implemented into the enterprises of the marine economy complex. At the same time, this plant needs the development of technological modes, knots and units to provide the environmental safety, economic feasibility and energy efficiency. This plant can be used at the sea ports and other shipbuilding enterprises of the marine economy complex [5]. The total average volume of organic wastes at different enterprises of marine economy complex is from 8.0 to 25 tons per day. The volume of polymer wastes is 1.0...5.0 tons per day, and for their further utilization it is reasonable to develop the number of plants with the raw material capacity of 1.0; 3.0; 5.0 tons per day.

The article aim is to develop the reliable and environmentally safe utilization system of organic wastes formed in the process of enterprise activity of the marine economy complex in order to provide the continuous environmentally safe loading of crushed organic wastes into the hermetically sealed reactor of the multicircuit circulatory pyrolysis.

Basic material. The enterprises modernization strategy of the marine economy complex for the improvement of the environmental level and infrastructure self-sufficiency involves the improvement of technologies and the MCP plant structures which provide the utilization of organic wastes formed in the process of the complex enterprise operation. The modernization program

использовать их в дальнейшем без усовершенствования. Например, бункеры со шлюзами и шнековые устройства применяются в основном для транспортировки сыпучих материалов, в том числе и для подачи отходов в газогенераторы [1], в которых при входе отсутствует высокая температура. Известны специальные шнековые системы подачи гранулированных полимеров в рабочую зону расплава с температурой до 300 °C в экструдерах термопластавтоматов, но они имеют ряд особенностей, которые неприемлемы для пиролизных установок по утилизации полимерных отходов. Например, они могут обеспечить герметичность рабочей зоны, находящейся под высоким давлением, но при этом отличаются малой производительностью, а шнековая пара имеет малый срок службы, который зависит от чистоты и вида сырья — гранул, что неприемлемо при подаче полимерных отходов с примесями песка и другой грязи. Таким образом, известные конструкции загрузки не могут быть использованы в пиролизных установках.

Наиболее приемлемой конструкцией для непрерывной подачи полимерных отходов в пиролизный реактор может быть плунжерная система с конусной насадкой [2], обеспечивающей образование технологической пробки в конусной насадке, исключая прорыв пиролизных газов в окружающую среду через загрузочное устройство. Подача отходов под давлением плунжерной системы уплотняет измельченные полимеры в технологической пробке, исключает проникновение в окружающую среду токсичных газов через технологическую пробку. Технологическая пробка при каждой новой порции отходов, подаваемых в реактор, восстанавливается. Дополнительное охлаждение корпуса конусной насадки исключает расплавление в ней полимерных отходов, создающих технологическую пробку, что особенно важно при остановке подачи новых порций отходов в реактор при аварийных ситуациях [3, 4].

Разработанная на базе Национального университета кораблестроения установка по утилизации полимерных отходов с получением альтернативных топлив планируется для внедрения на предприятиях морехозяйственного комплекса, при этом установка нуждается в отработке технологических режимов, узлов и агрегатов для обеспечения экологической безопасности, экономической целесообразности и энергетической эффективности. Данная установка может эксплуатироваться в морских портах и других судостроительных предприятиях морехозяйственного комплекса [5]. Общий среднестатистический объем образующихся органических отходов на различных предприятиях морехозяйственного комплекса составляет от 8,0 до 25 т/сут, из них полимерные отходы составляют 1,0...5,0 т/сут. Для их утилизации в перспективе целесообразно разрабатывать типовой ряд установок производительностью по сырью 1,0; 3,0; 5,0 т/сут.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — разработка надежной, экологически безопасной системы утилизации органических отходов, образующихся в процессе деятельности

provides the rational heating and energy resources supply of the objects of the complex using the obtained alternative fuels from the polymer wastes. It is especially urgent for the enterprises located far from the basic urban infrastructure.

To provide the continuous operation of the MCP plant in the environmentally safe mode it is necessary to supply a new portion of the crushed polymers continuously into the hermetically sealed reactor according to the polymers decomposition. But one problem appears: at the moment of supplying a new portion of wastes it is necessary to compact them maximally and remove air, this means to minimize maximally the amount of oxygen which can cause an explosion in the contact with the heated reactor. Also it necessary to ensure the hermiticity of the reactor which is under the pressure up to 0.15 MPa and exclude the breakthrough of the toxic gas mixture into the environment. The research of pressing force of the plunger system of crushed polymers (2–20 mm in diameter) in the different cone nozzles have been carried out. This research was carried out in order to optimize the geometry of output nozzle and polymer cork formed by the various fractions of crushed polymers. It was performed on the Ecopir-18 MCP plant (Fig. 1).

This plant provides deep and thermal decomposition of macromolecular polymer wastes obtaining the light fractions of liquid fuel at the output which can be used in the power supply systems of the enterprises of the marine economy complex. If we change the temperature mode of multicircuit circulatory system, we can get the liquid fuel, which is similar to petrol or diesel oil. To test the technological modes which are close to the industrial technologies, the plant was equipped with the plunger system (Fig. 2, 3) which provided the continuous operation mode.

The plunger loading system [2] (see Fig. 2) includes: a loading bunker 9 built on the plunger device, a piston 10 which is in the structure of the loading system and provides the formation of the raw materials stream



Fig. 1. The Ecopir-18 MCP Experimental Plant with Plunger System of Continuous Polymer Waste Supply into the Reactor

Рис. 1. Экспериментальная установка многоконтурного циркуляционного пиролиза Экопир-18 с плунжерной системой непрерывной подачи полимерных отходов в реактор

предприятий морехозяйственного комплекса, с целью обеспечения непрерывной экологически безопасной загрузки измельченных органических отходов в герметичный реактор многоконтурного циркуляционного пиролиза.

Изложение основного материала. Стратегия модернизации предприятий морехозяйственного комплекса для повышения экологического уровня и самообеспечения инфраструктуры предполагает совершенствование технологии и конструкции установок МЦП, обеспечивающих утилизацию органических отходов, образованных в процессе функционирования предприятий комплекса. В рамках программы модернизации предусмотрено рациональное теплоснабжение и обеспечение энергетическими ресурсами объектов комплекса с использованием получаемых альтернативных топлив из отходов полимеров. Особенно это актуально для предприятий, расположенных вдали от базовой городской инфраструктуры.

Для обеспечения непрерывной работы установки МЦП в экологически безопасном режиме необходимо по мере термического разложения полимеров в герметичном реакторе непрерывно подавать внутрь него новую порцию выходных измельченных отходов полимеров. При этом возникает проблема: в момент подачи новой порции отходов необходимо максимально их уплотнить и удалить из них остатки воздуха, соответственно, максимально уменьшить количество кислорода, который при попадании в разогретый реактор может вызвать взрыв. Вместе с тем необходимо обеспечить герметичность реактора, который находится под давлением до 0,15 МПа, и исключить прорыв из него в окружающую среду токсичной парогазовой смеси. С целью оптимизации геометрии выходной насадки и, соответственно, полимерной пробки, образованной различными фракциями измельченных полимеров, были проведены исследования усилий сжатия плунжерной системой измельченных полимеров размером от 2 до 20 мм в различных исходных конусных насадках. Исследования проводились на установке многоконтурного циркуляционного пиролиза Экопир-18 (рис. 1).

Установка обеспечивает глубокое термическое разложение высокомолекулярных полимерных отходов с получением на выходе легких фракций жидкого топлива, которое может использоваться в системах энергообеспечения предприятий морехозяйственного комплекса. Изменяя температурный режим многоконтурной циркуляционной системы, можно получать жидкое топливо с характеристиками, близкими к бензину или дизельному топливу. Для отработки технологических режимов, близких к промышленной технологии, установка была снабжена плунжерной системой (рис. 2, 3), которая обеспечивала непрерывный режим работы.

Плунжерная система загрузки [2] (см. рис. 2) имеет бункер загрузки 9, смонтированный на плунжерном устройстве, в корпусе системы загрузки расположен поршень 10, обеспечивающий формирование потока сырья, к нему присоединен подвижный шток 11

with a movable stock 11 of the hydraulic cylinder 12 of 2-directional operation which provides: nominal pressure — 16 MPa; maximal pressure — 20 MPa; standby pressure (no more than) — 1.5 MPa; pushing force on the stock — 80 kN; down stock force — 60 kN, stock diameter — 40 mm; piston stroke — 400 mm.

The output nozzle 13 of the plunger system is performed in the form of truncated pyramid which is connected to the reactor 1 with the help of its smaller base. Due to the cone nozzle under the solid crushed waste supply into the heated reactor the maximum compaction of formed raw materials stream is generated. This nozzle construction allows removing the rests of the air from the raw materials. As a result the technological raw cork is formed and pressurizes the reactor, and does not allow passing of the gas-vapor mixture into the environment, which provides the operation of the plant in the eco-friendly mode.

To study the efficiency of the reactor hermetic sealing the number of output nozzles was developed and produced which provided the formation of the technological recoverable cork from polymers at the output of plunger system. The necessary reactor hermiticity will be provided under the supply and compression of the polymers. The recoverable cork is a formed (compressed) stream of raw materials which moves into the reactor under the supply of the new portion of polymers. And as the result of pushing force of the plunger system the new portion of raw materials is formed into the new cork — it is a continuous process. The variants of the initial cone nozzles are shown in Fig. 4. Piston stroke is 185 mm.

гидроцилиндра 12 двухстороннего действия, который обеспечивает: номинальное давление 16 МПа; максимальное давление 20 МПа; давление холостого хода (не более) 1,5 МПа; толкающее усилие на штоке 80 кН; усилие обратного хода штока 60 кН, диаметр штока 40 мм; ход поршня 400 мм.

Выходная насадка 13 плунжерного устройства выполнена в виде усеченной пирамиды, которая своей меньшей основой соединена с реактором 1. За счет конусной насадки при подаче твердых измельченных отходов в нагретый реактор создается максимальное уплотнение сформированного потока сырья. Такая конструкция насадки позволяет удалить остатки воздуха из сырья, при этом образующаяся технологическая сырьевая пробка герметизирует реактор, не позволяя проходить парогазовой смеси в окружающую среду, что обеспечивает работу установки в экологически безопасном режиме.

Для исследования эффективности герметизации реактора был разработан и изготовлен ряд конструкций выходных насадок, которые обеспечивали образование на выходе плунжерной системы технологической восстанавливающейся пробки из полимеров, при подаче и сжатии которых будет обеспечиваться необходимая герметичность реактора. Под восстанавливающейся пробкой понимают сформированный (уплотненный) поток сырья, который при подаче новой порции полимеров продвигается в реактор, а в результате толкающих усилий плунжерной системы новая порция сырья формируется в новую

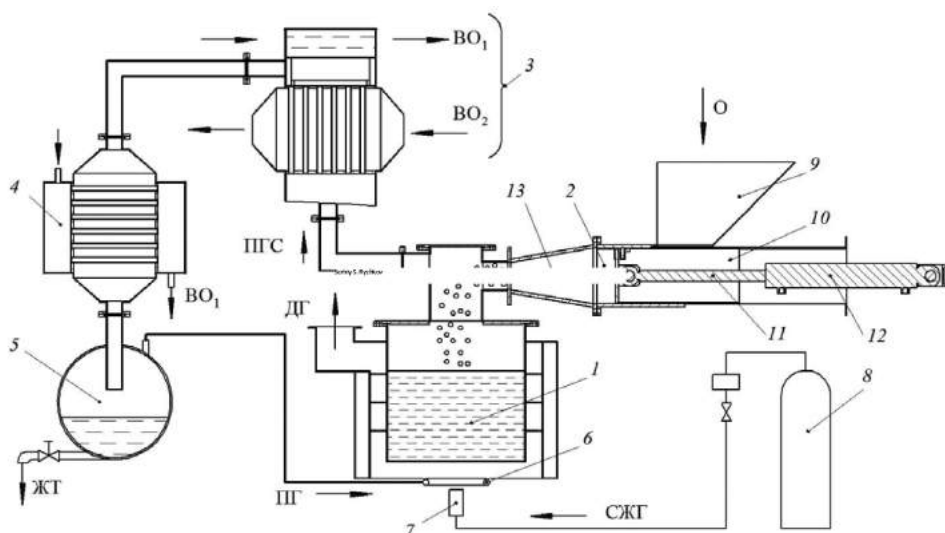


Fig. 2. Block-Scheme of the Ecopir-18 Multicircuit Circulatory Pyrolysis Plant:

Рис. 2. Блок-схема установки многоконтурного циркуляционного пиролиза Экопир-18:

1 — reactor / реактор; 2 — plunger system of waste supply into the reactor / плунжерная система подачи отходов в реактор; 3 — three-stage circulatory system / трехконтурная циркуляционная система; 4 — output condenser / выходной конденсатор; 5 — clarifier / разделительная емкость; 6 — post-combustion burner / горелка дожигания; 7 — liquefied gas burner / горелка сжиженного газа; 8 — liquefied gas cylinder / баллон сжиженного газа; 9 — loading bunker / бункер загрузки; 10 — piston / поршень; 11 — movable stock / подвижный шток; 12 — hydraulic cylinder / гидроцилиндр; 13 — nozzle / насадка.
Streams / Потоки: О — loaded polymer wastes / загружаемые полимерные отходы; ПГС — gas-vapor mixture / парогазовая смесь; ВО₁ — liquid cooling / водяное охлаждение; ВО₂ — air cooling / воздушное охлаждение; ПГ — pyrolysis gas / пиролизный газ; ДГ — fume gases / дымовые газы; ЖТ — liquid fuel / жидкое топливо; СЖГ — liquefied gas / сжиженный газ

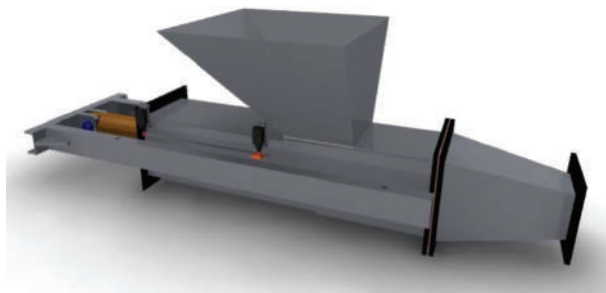


Fig. 3. Loading Plunger System (3D model)

Рис. 3. Плунжерная система загрузки (3D-модель)

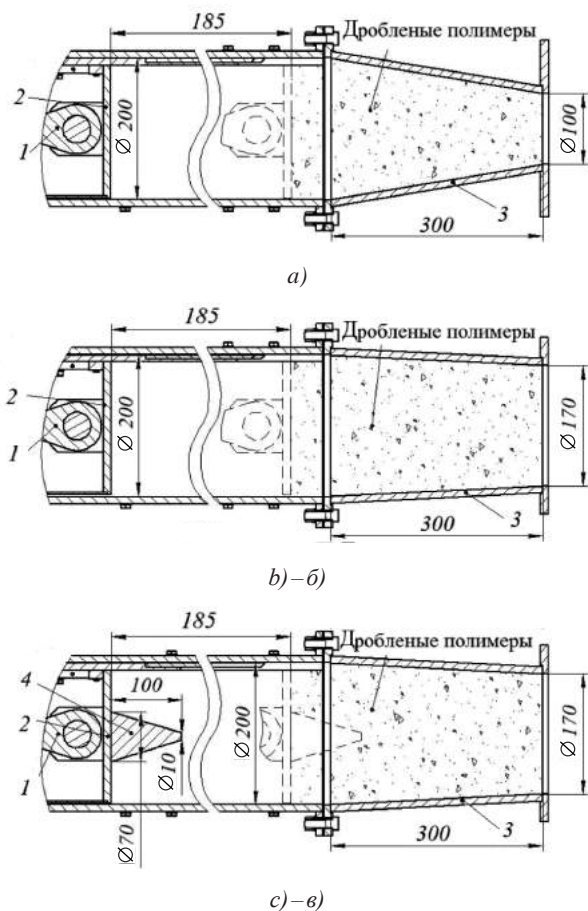


Fig. 4. Variants of Output Nozzles of Plunger System of Polymer Wastes Supply into the Gas Environment of Hermetically Sealed Reactor:

Рис. 4. Варианты выходных насадок плунжерной системы подачи полимерных отходов в газовую среду герметичного реактора:

a) — the first variant of the output nozzle with the 1:3 conicity / первый вариант выходной насадки с конусностью 1:3;
 b)–б) — the second variant of the output nozzle with 1:10 conicity / второй вариант выходной насадки с конусностью 1:10;
 c)–в) — the third variant of the output nozzle with 1:10 conicity and nozzle on the front plate of the piston / третий вариант выходной насадки с конусностью 1:10 и с наконечником на передней плите поршня; 1 — hydraulic cylinder / гидроцилиндр; 2 — front plate of the piston / передняя плита поршня; 3 — output nozzle of the plunger system / выходная насадка плунжерной системы; 4 — stud on the front plate of piston / выступ на передней плите поршня

пробку — данный процесс непрерывный. Варианты исходных конусных насадок представлены на рис. 4. Рабочий ход поршня составлял 185 мм.

На рис. 4, а представлен первый вариант исходной насадки в виде усеченной пирамиды с конусностью 1:3, второй вариант насадки (рис. 4, б) — усеченная пирамида с конусностью 1:10. Следующим конструктивным решением было закрепление на передней плите поршня плунжерной системы выступа в виде усеченной пирамиды (рис. 4, в, рис. 5) с конусностью 1:3, а выходная насадка плунжерной системы выполнена с конусностью 1:10. Все варианты конструкций выходных конусных насадок были рассчитаны и экспериментально испытаны на установке МЦП Экопир-18.

Для детального исследования процессов, происходящих при сжатии измельченных полимерных отходов в выходной конусной насадке, создана физическая модель сырья, которая представляет собой сжатую пластически деформируемую систему структурно-неоднородных, плотно упакованных частиц полимеров различной изометрической формы. Пластичность измельченных полимерных частиц при холодной пластической деформации зависит в основном от режима прессования.

Под режимом прессования понимают величину давления 16...20 МПа, создаваемого гидроцилиндром; продолжительность прессования — 15...45 с; условия приложения давления — со стороны поршня по оси насадки; характер приложения усилий — нарастающий. Частицы измельченных полимеров после деформации принимают форму многогранников, а в смеси образуют регулярные структуры — решетки. В узлах решетки располагаются дефекты — поры, заполненные газовой фазой. Структура формирования пласта сырья в процессе уплотнения приведена на рис. 6. Предполагается, что все тетраэдры, кроме представляющего воздушную пору, являются жесткими телами и могут перемещаться относительно друг друга в результате приложения толкающих



Fig. 5. Piston of Plunger System of Polymer Wastes Supply with Truncated Pyramid on the Front Plate (Variant 4, c)

Рис. 5. Поршень плунжерной системы подачи полимерных отходов, на передней плите которого закреплена усеченная пирамида (вариант 4, в)

In Fig. 4, *a* the first variant of the initial nozzle in the form of the truncated pyramid with the 1:3 conicity is shown, the second variant of the nozzle (Fig. 4, *b*) is the truncated pyramid with 1:10 conicity. The next constructive solution was to fix the stud in the form of the truncated pyramid (Fig. 4, *c*, Fig. 5) with the 1:3 conicity on the front plate of the piston of plunger system. The output nozzle of plunger system is performed with 1:10 conicity. All variants of structures of output cone nozzles were calculated and experimentally tested on the MCP Ecopir-18 plant.

For detailed study of the processes, during the compression of crushed polymer wastes in the output cone nozzle, the physical model of raw materials is developed. It is a compressed plastically deformable system of structurally non-uniform, close-packed polymer particles of different isometric form. The plasticity of the crushed polymer particles under the cold plastic deformation depends on the mode of pressing.

The mode of pressing is understood as the pressure of 16...20 MPa, produced by the hydraulic cylinder; the pressing time is 15...45 sec; the conditions of pressure appliance are from the piston side along the nozzle axis; the nature of the force application is increasing. The particles of crushed polymers after the deformation take form of the polyhedrons, and in the mixture they form regular structures — lattices. In the nodes of lattice there are defects — pores, filled with gas-air phase. The formation structure of raw materials in the compaction process is shown in Fig. 6. It is supposed that all tetrahedrons, except those which represent the air pore, are the solid bodies and can move relatively to each other as a result of application of pushing force and sliding on its faces, on which normal and tangential stresses operate. All elements of plastically compressed raw material have homogeneous properties and form the rigid plastic frame together which cover a certain volume $\Omega = \omega_f U \omega_p$, where ω_f is the volume of particle of raw materials; ω_p is the volume of the gas-air pore.

These assumptions are in the basis of calculations of the ANSYS program complex. The problem to solve is to define the effective compaction of the plunger system of the technological cork (consisting from the solid crushed thermoplastic polymer wastes). The 2D models of output nozzles of waste supply plunger system in the form of truncated pyramids are developed. The design features of these pyramids are shown in Fig. 4. The calculation was performed after fullfilling of the loading system with raw materials in one piston stroke operation. The maximum compaction of the hydrocylinder (taking into account the design features of the piston front plate with transposition of 185 mm) is the necessary condition of compaction of raw materials. According to this calculation, in the finite point of piston stroke the system is closed, the raw materials are distributed and fill the cavity of the output truncated pyramid as a result of hydro cylinder pressure. Thus, the technological cork is formed from the raw materials supplied into the reactor. The walls of the output cone are rigidly fixed in the two planes which excludes their transposition in the result of deformation.

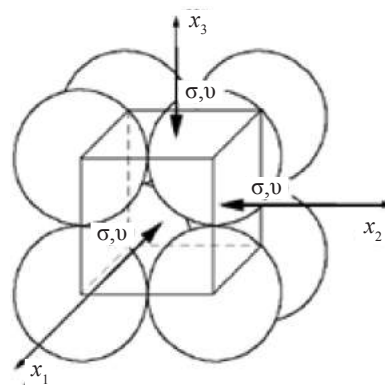


Fig. 6. Formation Structure of Raw Materials in the Compaction Process

Рис. 6. Структура формирования сырья в процессе уплотнения

усилий и скольжения по своим граням, на которых действуют нормальные и касательные напряжения. Все звенья пластически сжатого сырья имеют однородные свойства и вместе образуют жесткий пластический каркас, занимающий определенный объем $\Omega = \omega_f U \omega_p$, где ω_f — объем частицы сырья; ω_p — объем газовой воздушной поры.

Данные предположения положены в основу расчетов в программном комплексе ANSYS. Поставлена задача: определение эффективного уплотнения плунжерной системой технологической пробки (состоящей из твердых измельченных термопластичных полимерных отходов). Разработаны 2D-модели выходных наконечников плунжерной системы подачи отходов в виде усеченных пирамид, конструктивные особенности которых изображены на рис. 4. Расчет проводился с момента полного заполнения системы загрузки сырьем в процессе одного хода поршня. Условием обеспечения необходимого уплотнения сырья было взято максимальное уплотнение гидроцилиндра с учетом конструктивных особенностей передней плиты поршня, перемещение которой составляет 185 мм. Согласно расчету, в конечной точке хода поршня система замыкается, сырье в результате создаваемого гидроцилиндром давления распределяется и заполняет полость выходной усеченной пирамиды. Таким образом, происходит формирование технологической пробки из сырья, подаваемого в реактор. Стенки выходного конуса жестко зафиксированы в двух плоскостях, что исключает их перемещение вследствие деформации, фланцевые соединения в расчетах не учитывались, поэтому вся конструкция является сплошной. Данные уточнения не влияют на конечный результат, потому что не принимают участия в формировании сырьевой пробки.

В расчете была использована модель материала с механическими свойствами измельченного полиэтилена (табл. 1). Сырье поступает в систему загрузки в измельченном виде. Это предусматривает создание газовой воздушных пор в сформированной массе сырья, что, в свою очередь, влияет на механические свойства технологической пробки. Значение максимальной

The flanged connections are not taken into the account, so the whole structure is continuous. These amendments do not influence the finite result, because they do not take part in the formation of a raw cork.

The model of material with mechanical properties of crushed polyethylene was used in the calculations (Table 1). The raw materials are supplied to the loading system in the crushed form. This provides the formation of gas-air pores in the formed mass of raw materials which affects on the mechanical properties of the technological cork. The maximum density of the cork with a corresponding minimum effort of the piston is achieved at full movement of air from the raw materials. According to the problem it is necessary to define the minimum force of the piston, so the technological cork is considered as an integral body with isotropic properties which include the constant physical properties of the raw materials in all directions and the symmetry with respect to the choice of direction of mechanical transposition.

The calculation was carried out by the finite element method (FEM), which allows solving (approximately and numerically) a wide range of physical problems and is mathematically formulated in the form of differential equations system. This method is used in the analysis of the stress strain state of the technological cork structure. The initial object for the FEM appliance is a material body (in general, it is an area characterized by the continuous concentration of packed raw materials, in this case — the technological cork) which is divided into pieces in the form of the finite elements (FE) (Fig. 7).

As a result of lay-out the net of element boundaries was developed. The intersection points of these boundaries form the nodes. The extra nodal points can be formed inside the elements. The set of all finite elements and nodes is the main finite element model of the deformed body; it is called the technological cork. The line-elastic problem of deformation of the compacted technological cork was considered. It is assumed that the finite elements communicate only via the common nodes. The internal distributed forces operating on the boundaries of the element are replaced by the statically equivalent nodal forces which determine the vector of element nodal forces $\{F\}_e$. The matrix equation of element hardness of the technological cork is shown as follows:

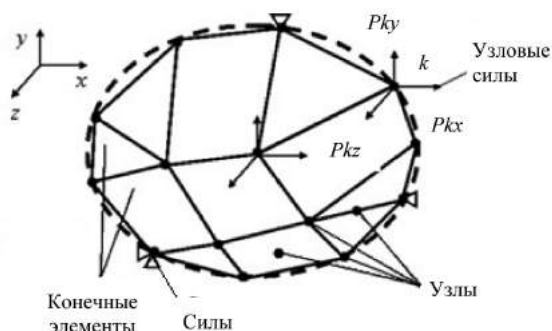


Fig. 7. Lay-out Scheme of Material Body of Packed Raw Material (Technological Cork) on the Finite Elements

Рис. 7. Схема разбивки материального тела уплотненного сырья (технологической пробки) на конечные элементы

Table 1. Physical and Chemical Properties of Material of the Technological Cork at 20 °C

Таблица 1. Физико-химические свойства материала технологической пробки при 20 °C

Parameter Параметр	Value Значение
Density, $kg \cdot m^{-3}$ Плотность, $кг \cdot м^{-3}$	950
Coefficient of Thermal Expansion, $^{\circ}C^{-1}$ Коэффициент теплового расширения, $^{\circ}C^{-1}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
Young's Modulus, Pa Модуль Юнга, Па	$1,8 \cdot 10^9$
Poisson's Ratio Коэффициент Пуассона	0,42
Module of Transposition, Pa Модуль перемещения, Па	$6,338 \cdot 10^8$

плотности пробки при соответствующем минимальном усилии поршня будет достигнуто при полном вытеснении воздуха из сырья. Так как согласно условию задачи необходимо определить минимальное усилие поршня, то технологическая пробка рассматривается как целостное тело с изотропными свойствами, которые предполагают постоянство физических свойств сырья во всех направлениях и симметрию относительно выбора направления механического перемещения.

Расчет проводили по методу конечных элементов (МКЭ), который позволяет приближенно численно решить широкий спектр физических задач и математически формулируется в виде системы дифференциальных уравнений. Этот метод использован при анализе напряженного деформированного состояния конструкции технологической пробки. Исходным объектом для применения МКЭ является материальное тело (в общем случае — область, характеризующаяся сплошным накоплением уплотненного сырья, в данном случае — технологическая пробка), которое разбивается на части в виде конечных элементов (КЭ) (рис. 7).

В результате разбивки создавалась сетка из границ элементов. Точки пересечения этих границ образуют узлы. Внутри элементов могут быть созданы дополнительные узловые точки. Совокупность всех конечных элементов и узлов является основной конечно-элементной моделью деформированного тела — технологической пробки. Рассматривалась линейно-упругая задача деформирования уплотненной технологической пробки. Принимается, что конечные элементы взаимодействуют только через общие узлы. Внутренние распределенные силы, действующие по границам элемента, заменяются статически эквивалентными узловыми силами, устанавливаемыми вектор узловых сил элемента $\{F\}_e$. Матричное уравнение жесткости элемента технологической пробки имеет вид

$$[K]_e (U)_e = (F)_e + (P)_e^q + (P)_e^g + (P)_e^{e_0} + (P)_e^{e_0}, \quad (1)$$

где $[K]_e$ — матрица жесткости элементов, состоящая из коэффициентов жесткости; $(U)_e$ — вектор узловых

$$[K]_e(U)_e = (F)_e + (P)_e^q + (P)_e^g + (P)_e^{f_0} + (P)_e^{s_0}, \quad (1)$$

where $[K]_e$ is the matrix of elements hardness, consisting of coefficients hardness; $(U)_e$ is the nodal movement vector of hardness; $(F)_e$ is the vector of nodal forces; $(P)_e^q$ is the distribution vector of mass and surface forces; $(P)_e^g$ is the vector of energy forces; $(P)_e^{f_0}$ is the vector of initial deformations taking into account the thermal stresses.

Firstly, in the calculation process of FEM, the elements matrix were defined $(F)_e + (P)_e^q + (P)_e^g + (P)_e^{f_0} + (P)_e^{s_0}$, and then the general matrices, equilibrium equation systems of the model on the standard rules of matrix components summation with the identical indexes were formed from them. It was assumed in studies that raw materials deformation in the technological cork was dynamic, and then on the basis of the D'Alembert principle the nodal forces were added to the equation (1), equivalent to the mass inertia forces which depended on the acceleration. As a result the differential matrix equation was obtained:

$$[m]_e \frac{d^2}{dt^2}(U)_e + [C]_e \frac{d}{dt}(U)_e + [K]_e(U)_e = (F)_e \quad (2)$$

In (2) $[m]_e$ is the matrix of element mass which depends on the density of the raw materials in the technological cork ρ ; $[C]_e$ is the damping matrix which depends on the viscous damping coefficient μ .

The computational grid and research results of the first variant of the output truncated pyramid structure of the plunger system are shown in Fig. 8 a–8 c.

The piston stroke of 49.059 mm is provided according to the calculations of distance of movement of crushed polymer raw materials in the process of its compaction, under the hydro cylinder pushing force of 16 MPa. It does not correspond to its given 185 mm movement. The short piston stroke can be caused, firstly, by the insufficient hydro cylinder pushing force; secondly, by the big convergence angle of the truncated pyramid (1:3). This leads to the strong compaction of crushed polymers and impossibility of their further supply into the reactor. It was proved experimentally. The maximum piston stroke is 44 mm, which corresponds to the calculation results with the tolerated error. The experimental

перемещений жесткости; $(F)_e$ — вектор узловых сил; $(P)_e^q$ — вектор распределения массовых и поверхностных сил; $(P)_e^g$ — вектор энергетических сил; $(P)_e^{f_0}$ — вектор начальных деформаций с учетом температурных напряжений.

Однако в вычислительном процессе МКЭ сначала определялись матрицы элементов $(F)_e + (P)_e^q + (P)_e^g + (P)_e^{f_0} + (P)_e^{s_0}$, а потом из них собирались общие матрицы, системы уравнений равновесия модели по стандартным правилам суммирования компонентов матриц с одинаковыми индексами. В исследованиях допускалось, что деформирование сырья в технологической пробке динамическое, тогда на основании принципа Даламбера в уравнение (1) добавлялись узловые силы, эквивалентные массовым силам инерции, зависящим от ускорения. В результате было получено дифференциальное матричное уравнение

$$[m]_e \frac{d^2}{dt^2}(U)_e + [C]_e \frac{d}{dt}(U)_e + [K]_e(U)_e = (F)_e. \quad (2)$$

В (2) $[m]_e$ — матрица масс элемента, зависящая от плотности сырья в технологической пробке ρ ; $[C]_e$ — матрица демпфирования, зависящая от коэффициента вязкостного демпфирования μ .

Расчетная сетка и результаты расчетов первого варианта конструкции выходной усеченной пирамиды плунжерной системы представлены на рис. 8, а–в.

Согласно расчетам величины перемещения измельченного полимерного сырья в процессе его уплотнения, при толкающем усилии гидроцилиндра 16 МПа обеспечивается расчетный ход поршня 49,059 мм, не соответствующий заданному перемещению 185 мм. Малый ход поршня может быть вызван, во-первых, недостаточным толкающим усилием гидроцилиндра, во-вторых, большим углом сужения усеченной пирамиды (1:3), что вызывает сильное уплотнение измельченных полимеров и невозможность их дальнейшего проталкивания в реактор. Это было подтверждено экспериментально. Достигнутый максимальный ход поршня составляет 44 мм, что с допустимой ошибкой соответствует результатам расчета. Экспериментальный результат перемещения поршня меньше расчетного на 5 мм, что объясняется

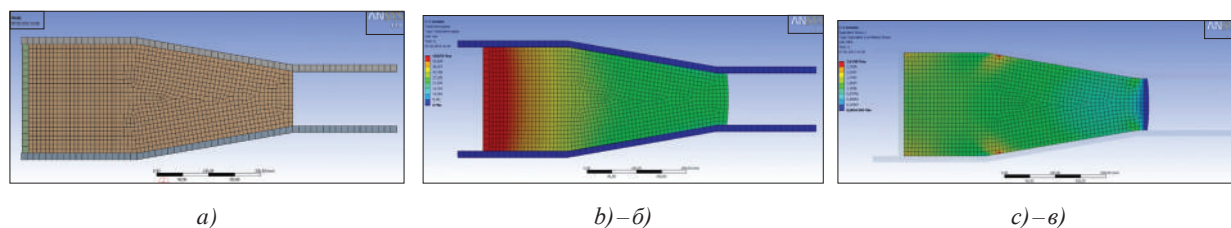


Fig. 8. Analysis grid and calculation data on the first version of plunger system structure

Рис. 8. Расчетная сетка и результаты расчетов первого варианта конструкции плунжерной системы

a) — Computational Grid of the First Variant of Initial Truncated Pyramid Structure / расчетная сетка первого варианта конструкции исходной усеченной пирамиды; б)–б) — Calculation Results of Distance of Movement of Crushed Polymer Raw Materials in Process of its Compaction / результат расчета величины перемещения измельченного полимерного сырья в процессе его уплотнения; в)–в) — Calculation Results of the Stresses which are Formed in Process of Compacting of Crushed Polymer Raw Materials / результат расчета напряжений, возникающих в процессе уплотнения измельченного полимерного сырья

result of piston stroke is smaller than the calculated one by 5 mm which is caused by the lack of the friction forces in the calculations, forming in the structures under the movement of the front plate of the piston. In Fig. 8 *b* and 8 *c* the range of distances of movement and stresses in the raw materials volume, situated inside the output truncated pyramid, are shown. The grade of colors is meant to be the calculated values according to the scale in the left upper corner (Fig. 8 *b* and 8 *c*).

The computational grid of the second variant of the initial truncated pyramid structure with the smaller convergence angle was developed to evaluate the impact of the convergence angle of the initial truncated pyramid and distances of movement and stresses in the raw materials volume.

Such variant of the structure increases the flow area of the pyramid output, thus allowing applying fewer forces to load the raw materials into the reactor. In Fig. 9 *a–c* the calculation results of the second variant model structure of the output truncated pyramid of the plunger system are considered. According to these calculations the distances of movement of crushed polymer raw materials in the process of its compaction, under the identical conditions are provided by the piston stroke of 177.11 mm which corresponds to the given value of 185 mm. It was proved experimentally. In this case the required value of the piston stroke is achieved, but there is a lack of raw materials compaction in the technological cork. As a result the pyrolysis gas broke through the plunger system which is not acceptable.

The computational grid of the third variant of the initial truncated pyramid structure was developed in order to increase the density of the technological cork of the initial truncated pyramid under the given pushing force of the hydro cylinder of 16 MPa. The front plate of the piston was provided with the truncated pyramid according to Fig. 4 *c* and Fig. 5.

In Fig. 10 *a–c* the calculation results of the third variant model structure of the plunger system were considered. According to the calculations the distances of movement of crushed polymer raw materials are provided by the piston stroke of 177.11 mm in the process of their compaction under these conditions. The piston stroke corresponds to the given value of 185 mm. It was

отсутствием при расчетах сил трения, возникающих в конструкции при перемещении передней плиты поршня. На рис. 8, *б* и 8, *в* изображен спектр величин перемещения и напряжения в объеме сырья, находящегося внутри выходной усеченной пирамиды. Градиентом оттенков обозначаются расчетные величины в соответствии со шкалой разбиения в левом верхнем углу рис. 8, *б* и 8, *в*.

Для оценки влияния угла сужения исходной усеченной пирамиды и величин перемещения и напряжения в объеме сырья была разработана расчетная сетка второго варианта конструкции исходной усеченной пирамиды с меньшим углом сужения.

Такой вариант конструкции увеличивает проходное сечение выходного отверстия пирамиды, таким образом, позволяя прилагать меньше усилий для загрузки сырья в реактор. На рис. 9, *а–в* рассмотрены результаты расчетов модели второго варианта конструкции выходной усеченной пирамиды плунжерной системы. Согласно расчетам величины перемещения измельченного полимерного сырья в процессе его уплотнения, при аналогичных условиях обеспечивается ход поршня 177,11 мм, что соответствует заданной величине 185 мм и было подтверждено экспериментально. В этом случае достигнута требуемая величина хода поршня, но уплотнения сырья в технологической пробке недостаточно, в результате пиролизный газ прорывался через плунжерную систему в окружающую среду, что недопустимо.

С целью увеличения плотности технологической пробки выходной усеченной пирамиды при заданном толкающем усилии выбранного гидроцилиндра 16 МПа была разработана расчетная сетка третьего варианта конструкции исходной усеченной пирамиды, в которой передняя стенка поршня была снабжена срезанной пирамидой согласно рис. 4, *в* и рис. 5.

На рис. 10, *а–в* рассмотрены результаты расчетов модели третьего варианта конструкции плунжерной системы. Согласно расчетам величины перемещения измельченного полимерного сырья в процессе его уплотнения в данных условиях обеспечивается тот же ход поршня 177,11 мм, что соответствует заданной величине 185 мм и было подтверждено экспериментально. На рис. 10, *в* видно, что наибольшее

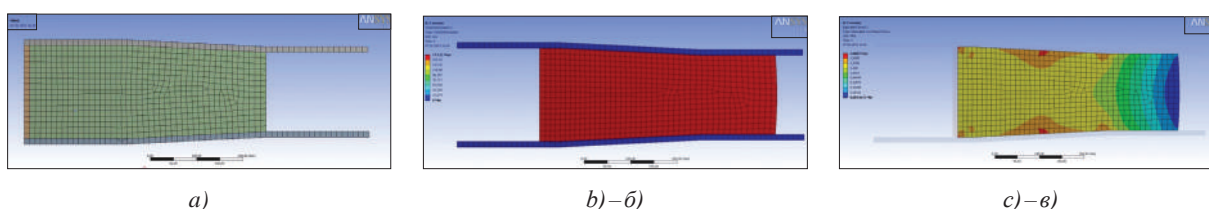


Fig. 9. Calculation data on the second version of plunger system structure

Рис. 9. Результаты расчетов второго варианта конструкции плунжерной системы

a) — Computational Grid of the Second Variant of Initial Truncated Pyramid Structure / расчетная сетка второго варианта конструкции исходной усеченной пирамиды; *b)–б)* — Calculation Results of Distance of Movement of Crushed Polymer Raw Materials in Process of its Compaction / результат расчета величины перемещения измельченного полимерного сырья в процессе его уплотнения; *c)–в)* — Calculation Results of Stresses which are Formed in Process of Compacting of Crushed Polymer Raw Materials / результат расчета напряжений, возникающих в процессе уплотнения измельченного полимерного сырья

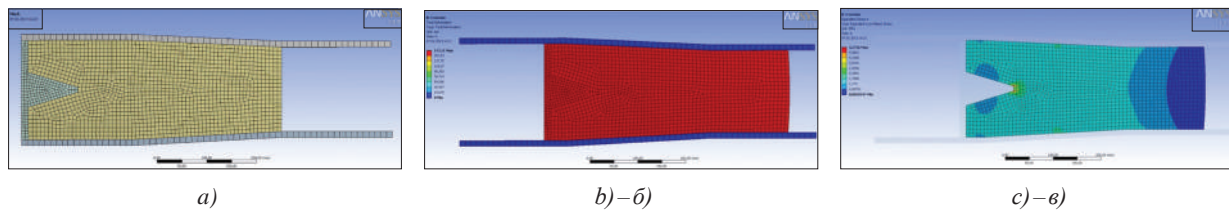


Fig. 10. Calculation data on the third version of plunger system structure

Рис. 10. Результаты расчетов третьего варианта конструкции плунжерной системы

a) — *Computational Grid of the Third Variant of Initial Truncated Pyramid Structure* / расчетная сетка третьего варианта конструкции исходной усеченной пирамиды; b)–б) — *Calculation Results of Distance of Movement of Crushed Polymer Raw Materials in Process of its Compaction* / результат расчета величины перемещения измельченного полимерного сырья в процессе его уплотнения; c)–в) — *Calculation Results of Stresses which are Formed in the Process of Compacting of Crushed Polymer Raw Materials* / результат расчета напряжений, возникающих в процессе уплотнения измельченного полимерного сырья

proved experimentally. The largest raw materials compaction appears on the sides and top of the truncated pyramid (which is secured on the piston front plate of the plunger system), Fig 10c. However, it does not provide the required hermiticity, and in this variant the pyrolysis gas breaks into the environment via the technological cork which is not acceptable.

But there is still a possibility of breaking the gas into the environment under the continuous raw materials supply even when the smaller base of the truncated pyramid is connected with the reactor and wastes are fed into the gas environment. In the variant of Fig. 8 there is a lack of applied forces of the hydro cylinder on the compression of the polymers in order to avoid the recoverable deformations. There is a small conicity of the output nozzles in Fig. 9 and 10, and as a result the steam and gas mixture under the pressure breaks through the bunker into the environment. It does not provide the ecological cleanness of the technological process.

Research data defined all disadvantages of the technological cork, formed with the different nozzles under the crushed polymers supply into the gas environment of the reactor. More advanced structure of the plant for the continuous pyrolysis of the solid organic wastes with the plunger system of the crushed polymers supply not into the gas environment of the reactor but into the melt was suggested [4]. This increases the security of the channel hermitic sealing of the raw materials supply of plunger system using the molten polymer which hardens under the additional external cooling (in the air microcavity of technological cork). The output nozzle in the form of a truncated pyramid was turned 180° and connected with the larger base of the pyramid to the reactor, and the smaller one was connected with the plunger supply system (Fig. 11) in order to reduce the pushing force of the pre-formed technological cork and forming of the new one.

The main differences of the structural scheme are:

- small pushing force of the thermoplastic polymer into the reactor (even after the full stop of the reactor the molten polymer will harden in the middle of the cone nozzle);

уплотнение сырья возникает по бокам и на вершине усеченной пирамиды (которая закреплена на передней плите поршня плунжерной системы), но это не обеспечивает требуемой герметичности, и в этом варианте пиролизный газ прорывается в окружающую среду через технологическую пробку, что недопустимо.

Таким образом, исследованные конструкции усеченных пирамид, когда меньшая их основа соединена с реактором, а отходы подаются в газовую среду, не исключают прорыв газа в окружающую среду во время непрерывной подачи сырья. Это объясняется тем, что в варианте рис. 8 недостаточно приложенных гидроцилиндром усилий на сжатие полимеров для преодоления состояния упругих деформаций, а в вариантах рис. 9 и 10 малая конусность выходных насадок, в результате парогазовая смесь под действием давления прорывается через бункер в окружающую среду, что не обеспечивает экологическую чистоту технологического процесса.

Данные исследования определили все недостатки технологической пробки, создаваемой различными насадками при подаче измельченных полимеров в газовую среду реактора. С целью обеспечения поставленной задачи предложена более совершенная конструкция установки для непрерывного пиролиза твердых органических отходов — с плунжерной системой подачи измельченных полимеров не в газовую среду реактора, а в расплав [4]. Это повышает надежность герметизации канала подачи сырья плунжерной системы за счет расплавленного полимера, который, проникая в воздушные микрополости технологической пробки, застывает при дополнительном внешнем охлаждении. Для уменьшения усилия проталкивания предварительно образованной технологической пробки и создания новой пробки выходной наконечник в виде усеченной пирамиды развернули на 180° и соединили большим основанием пирамиды с реактором, а меньшим — с плунжерной системой подачи сырья (рис. 11).

Основным отличием данной конструктивной схемы является, во-первых, малое усилие проталкивания термопластичных полимеров в реактор, даже если после остановки реактора расплавленный полимер застынет в середине конусной части насадки; во-вторых, исключена вероятность прорыва парогазовой

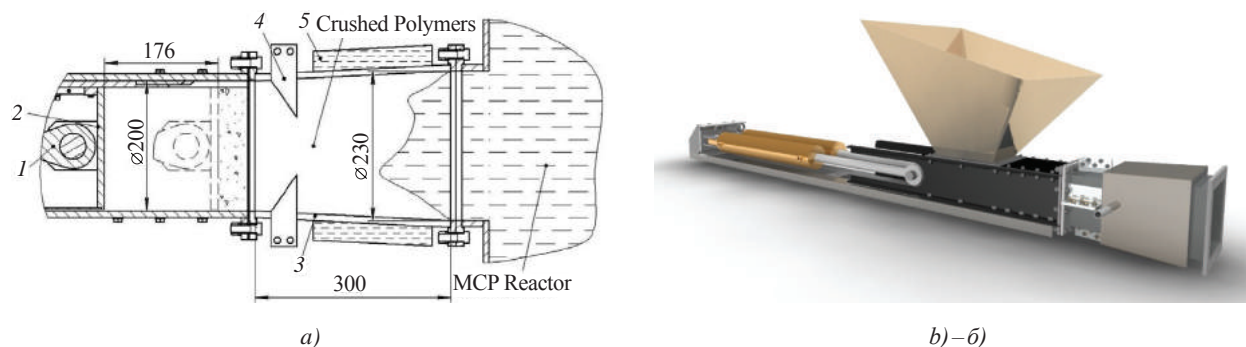


Fig. 11. Polymer Waste Supply System into the Liquid Fraction of Hermetically Sealed Reactor:

Рис. 11. Система подачи полимерных отходов в жидкую фракцию герметичного реактора:

a) — structural scheme of the initial nozzle in the form of the truncated pyramid / конструктивная схема построения исходной насадки в виде усеченной пирамиды; b)–б) — the 3D model of the plunger system / 3D-модель плунжерной системы; 1 — hydro cylinder / гидроцилиндр; 2 — piston front plate / передняя плита поршня; 3 — cone nozzle / конусная насадка; 4 — crusher knife-coolers / измельчительные ножи-охладители; 5 — cooling system / система охлаждения

– breakthrough possibility of the vapor mixture into the environment is excluded, since the pressure on the technological cork is formed by the height of polymer melt pole height, not gas environment. The bigger the pressure of the melt pole is, the bigger is the compaction of the crushed polymers in the technological cork (Fig. 11);

– presence of the four knives, placed on the sides of truncated pyramid, in the initial nozzle of plunger system. The knives are fixed to the surface of the initial cone by bolts and are placed near the smaller cross-section of the pyramid, connecting with the structure of plunger system. They perform the crushing function using the cutting ends plant against the raw material motion flow, and due to the heat transfer between the heated polymers and plane blade serve as an additional cooling circuit of raw materials. The main cooling circuit is a water-cooled housing which is placed on the side of the output nozzle.

It is experimentally proved that the given structure of the output nozzle in the form of a truncated pyramid with the 1:3 conicity (see Fig. 11) recovers the technological cork in the process of the continuous raw materials supply with the given pressure value. The molten part of the technological cork from the side of reactor under hardening is easily pushed by the hydraulic cylinder under the reheating of the reactor in the installation operating mode (when the plant operation is finished). The multicircuit circulatory pyrolysis plant provides operation in the continuous and environmentally safe modes.

CONCLUSION. 1. The efficiency of the series development of reliable and environmentally safe plants of polymer waste utilization for marine economy complex on the multicircuit circulatory pyrolysis technology is shown.

2. The presented theoretical calculations of the compacting parameters of crushed polymers in the output nozzle of plunger system in the ANSYS software package are verified with the experimental data.

смеси в окружающую среду, так как давление на технологическую пробку создает высота столба расплава полимера, а не газовая среда. Кроме того, чем больше давление столба расплава, тем больше уплотняются измельченные полимеры в технологической пробке согласно рис. 11. Одним из немаловажных конструктивных отличий также является наличие в исходном наконечнике плунжерной системы четырех ножей, размещенных на боковых сторонах усеченной пирамиды. Ножи крепятся к поверхности исходного конуса болтами и расположены ближе к меньшему сечению пирамиды, соединяясь с корпусом плунжерной системы. Установкой режущим лезвием против потока движения сырья они выполняют измельчительную функцию, а за счет теплоотдачи между нагретыми полимерами и плоскостью ножа служат дополнительным контуром охлаждения сырья. Основной контур охлаждения представляет собой кожух с водяным охлаждением, который расположен на боковой поверхности выходного наконечника.

Экспериментально доказано, что предложенная конструкция выходного наконечника в виде усеченной пирамиды с конусностью 1:3 (см. рис. 11) стабильно восстанавливает технологическую пробку в процессе непрерывной подачи сырья при заданной величине давления. Расплавленная часть технологической пробки со стороны реактора при застывании, когда установка заканчивает работу, легко проталкивается гидроцилиндром при повторном нагреве реактора в рабочем режиме установки. Установка многоконтурного циркуляционного пиролиза обеспечивает работу в непрерывном и экологически безопасном режиме.

ВЫВОДЫ. 1. Показана эффективность создания серии надежных и экологически безопасных установок для утилизации полимерных отходов для морехозяйственного комплекса по технологии многоконтурного циркуляционного пиролиза.

2. Представленные теоретические расчеты параметров уплотнения измельченных полимеров в выходном наконечнике плунжерной системы в программном комплексе ANSYS верифицируются с экспериментальными данными.

3. The fundamental dependence of the counterforce of the compacted crushed polymers from the internal pressure in the reactor under providing their pushing into the reactor in a frozen state in the case of its restart after stopping is defined.

4. The suggested structure of the output nozzle in the form of a truncated reverse-pyramid with the 1:3 conicity leads to the forming of technological cork from supplied wastes and provides the complete hermiticity of the reactor at the continuous, environmentally safe operational mode (under the fixation of the larger base of pyramid to the reactor, and the smaller one — to the plunger system).

3. Выявлена принципиальная зависимость противодействия уплотненных дробленых полимеров от внутреннего давления в реакторе при обеспечении проталкивания их в реактор в застывшем состоянии в случае повторного запуска его после остановки.

4. Предложенная конструкция выходного накопника в виде обратной усеченной пирамиды с конусностью 1:3 при закреплении большего основания к реактору, а меньшего к плунжерной системе способствует образованию технологической пробки из подаваемых отходов и обеспечивает полную герметичность реактора при непрерывном, экологически безопасном режиме работы.

Список литературы

- [1] Коллеров, Л. К. Газомоторные установки [Текст] / Л. К. Коллеров. — М. ; Л. : Машгиз, 1951. — 240 с.
- [2] Пат. України на винахід кл. F23G5/027. Установка для непрерывного пиролиза твердых органических отходов [Текст] / Маркіна Л. М., Рижков С. С., Рудюк М. В. — №96079 ; опубл. 26.09.2011, Бюл. № 18.
- [3] Пат. України на винахід кл. F23G5/24. Установка непрерывной термической утилизации полимерных отходов [Текст] / Маркіна Л. М., Рижков С. С., Рудюк М. В., Гершов Ю. І. — №93427 ; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3.
- [4] Пат. України на винахід кл. F23G5/027. Установка непрерывного пиролиза полимерных отходов с платформой [Текст] / Маркіна Л. М., Рижков С. С., Рудюк М. В., Московко О. О. — № 103723 ; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
- [5] Мизгирев, Д. С. Проектирование специальных систем судов комплексной переработки отходов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. С. Мизгирев. — Нижний Новгород, 2009. — 23 с.

© С. С. Рыжков, Л. Н. Маркина, Н. В. Рудюк, Ю. В. Заболотная

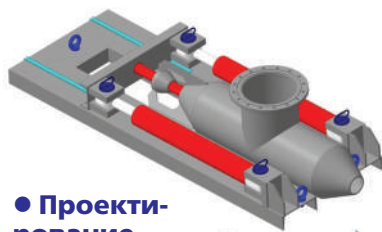
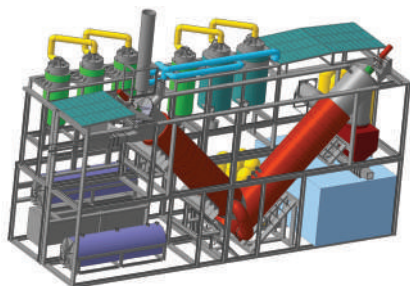
Статью рекомендует в печать
д-р техн. наук, проф. Н. И. Радченко



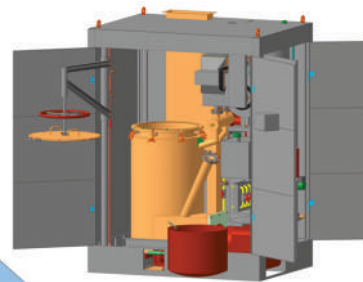
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭКОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

ЦЕНТР ПИРОЛИЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

● Создание универсальных комплексов по переработке полимерных отходов на основе многоконтурного пиролиза



● Проектирование и изготовление подающих узлов и агрегатов пиролизных комплексов переработки отходов



● Проектирование и изготовление установок переработки медицинских полимерных отходов

● Разработка комплексов по получению синтез-газа и жидких альтернативных топлив

просп. Героев Сталинграда, 9, каб. 455

тел.: +38 (0512) 70-94-44

◆ г. Николаев, Украина, 54025

◆ e-mail: sergiy.ryzhkov@nuos.edu.ua

Подробная информация: nuos.edu.ua/science/