УДК 622.276.52

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МНОГОПОТОЧНЫХ ЭЖЕКТОРОВ

INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES WHEN USING MULTI-THREAD EJECTORS

Туманян Хорен Артурович
младший научный сотрудник НИИ физики горных пород,
Российский государственный университет нефти и газа
имени И.М. Губкина
horen.tumanyan@mail.ru

Аннотация. В настоящее время с развитием CFD-технологий появились новые возможности для изучения сложных эжекционных процессов, включая газодинамические и гидродинамические процессы в многопоточных эжекторах. Согласованная работа нескольких струйных аппаратов позволяет повысить эффективность технологических процессов и систем управления вектором тяги при решении многих практических задач. В лабораториях Губкинского университета развернуты научные исследования и опытно-конструкторские работы по созданию энергоэффективных технологий добычи нефти и газа. Разработаны и запатентованы перспективные технические решения, работоспособность прототипов, созданных с использованием CAD-системы и изготовленных посредством аддитивных технологий, успешно проверена в лабораторных условиях и путем выполненного компьютерного моделирования. Отдельные результаты исследований могут быть использованы для разработки перспективных беспилотных аппаратов и робототехники.

Ключевые слова: добыча нефти и газа, многопоточный эжектор, вектор тяги, компьютерное моделирование.

Tumanyan Khoren Arturovich
Junior Researcher
at the Research Institute of Rock Physics,
Gubkin Russian State University
of Oil and Gas
horen.tumanyan@mail.ru

Annotation. Currently, with the development of CFD technologies, new opportunities have emerged for studying complex ejection processes, including gas-dynamic and hydrodynamic processes in multi-stream ejectors. The coordinated operation of multiple jet devices allows for increased efficiency in technological processes and thrust vector control systems for solving various practical problems. Gubkin University's laboratories are dedicated to conducting research and development projects aimed at creating energy-efficient technologies for oil and gas extraction. Promising technical solutions have been developed and patented, and the prototypes created using a CAD system and manufactured using additive technologies have been successfully tested in laboratory conditions and through computer simulations. Some of the research results can be used to develop promising unmanned aerial vehicles and robotics..

Keywords: oil and gas production, multi-flow ejector, thrust vector, computer modeling.

Работы проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России в рамках государственного задания в сфере научной деятельности, номер темы FSZE-2023-0004.

В настоящее время в аэрокосмической и энергетической инженерии видны многочисленные значительные междисциплинарные технологические достижения. Известно, что в производственных системах для добычи, транспорта и переработки нефти и газа активно используются передовые научные разработки из других отраслей производства, включая авиационные технологии. Анализ научной информации позволил наметить перспективное направление исследований, применительно к решению актуальных проблем в области нефтяной и газовой промышленности, составляющей основу отечественной энергетики. И это направление связано выявлением новых возможностей для усовершенствования методологии проектирования струйных аппаратов и сложных струйных систем.

В лабораториях РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина намечено новое научное направление в области струйных систем, которые позволяют управлять вектором тяги в пределах полной геометрической сферы, когда угол отклонения вектора тяги может меняться в диапазоне от плюс 180 градусов до минус 180 градусов, в любом направлении. При подготовке научного задела [1–4] были показаны технические возможности для управления вектором тяги в пределах полной геометрической сферы, когда угол отклонения вектора тяги может меняться в диапазоне от плюс 180 градусов до минус 180 градусов, в любом направлении. Традиционные струйные системы управления рассчитаны на регулирование вектора тяги по направлению в пределах от плюс 20 градусов до минус 20 градусов [5–6].

Развернутые исследования в области струйных систем и многопоточных эжекторов, решают междисциплинарную проблему по распределению и эффективному использованию энергии в сложных системах. Как пример, представлена схема соплового аппарата с четырьмя выходными канала-

ми. Управление дополнительными выходными каналами (6a2, 6b2) может связано с движением общего центра «С», как показано на рисунке 1. Но не исключаются варианты, когда потоки в основных каналах (6a, 6b) и потоки в дополнительных каналах (6a2, 6b2) будут контролироваться с помощью двух раздельных систем управления.

При использовании звеньев переменной длины подобные струйные системы позволяют распределять энергию рабочей среды по сети разнонаправленных выходных каналов соплового аппарата, расширяя технические возможности для управления вектором тяги в пределах полной геометрической сферы, в дополнение к описанным ранее технологиям [1–4].

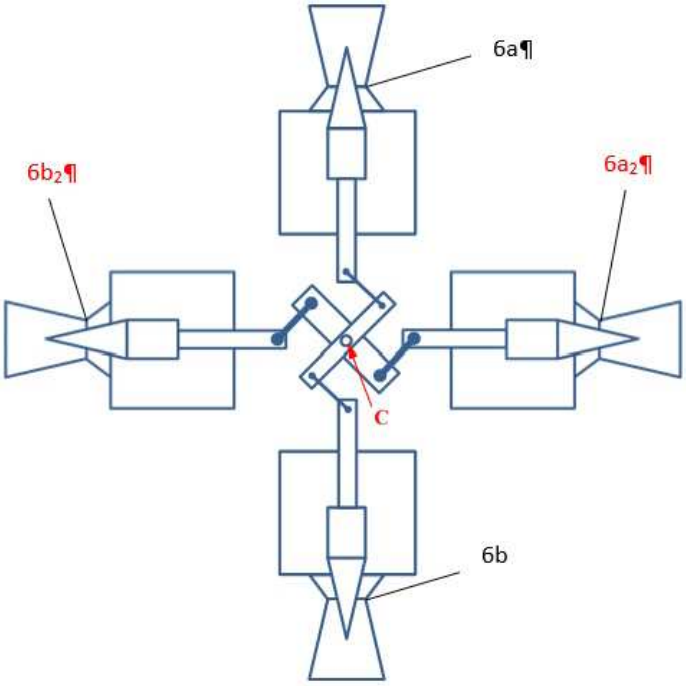

Рисунок 1 – Схема соплового аппарата с четырьмя выходными каналами:
6a, 6b – основные выходные каналы; 6a2, 6b2 – дополнительные выходные каналы [7]

Если рассматривать область энергетики, к примеру добычу нефти газа, то в качестве источников рабочей среды могут выступать добывающие скважины с высоким пластовым давлением. Многопоточный эжектор в этом случае позволит рационально использовать природную пластовую энергию, для поддержания уровня добычи нефти и газа из скважин с пониженным пластовым давлением. Рассматриваются и варианты использования пластовой энергии для генерации электроэнергии на морских нефтяных и газовых месторождениях.

На основе подготовленной принципиальной схемы разрабатывается трехмерная модель для выполнения компьютерного моделирования (CFD), был использован программный пакет Flow Simulation. В рамках патентования нового технического решения, проведено компьютерное моделирование с целью подтверждения работоспособности разрабатываемой конструкции и её отдельных элементов [7]. Результаты компьютерного моделирования показывают, что на этапе концептуального проектирования может быть использована математическая модель для формирования цифрового двойника многопоточного эжектора, оснащенного звеньями переменной длины.

Разработанное техническое решение запатентовано (патент на изобретение № 2819487) [8], и относится к области струйной техники, включая струйные насосы и компрессоры, струйные усилители с системами управления и струйные реактивные движители для систем динамического позиционирования с управлением вектором тяги и может быть использовано, в частности, в нефтяной и газовой промышленности для повышения эффективности технологий при добыче и переработке углеводородов, в том числе в условиях разработки морских месторождений с подводным размещением оборудования.

Достигаемый технический результат заключается в обеспечении контролируемого перераспределения энергии потока по отдельным рабочим камерам за счет гибкого регулирования гидравлической связи между входным каналом сопла и рабочими камерами, и как следствие, обеспечение регулирования параметров «количества движения» потоков в поперечном сечении на выходе сопла и отдельных рабочих камер, включая полное отключение сопла, одной или нескольких рабочих камер, что существенно при экстренных ситуациях, в частности, при внезапном отключении потребителей энергии.

Изготовление моделей и макетов проводится на 3D-принтерах. На рисунке 2 представлены фотографии изготовленных микромоделей. С использованием аддитивных технологий изготовлены микромодели соплового аппарата, приспособленного для управления вектором тяги в пределах полной геометрической сферы. При испытаниях в качестве рабочей среды использовали воду и воздух. Представлены результаты гидравлических испытаний, которые более информативны в плане визуализации рабочего процесса в печатном издании [7].

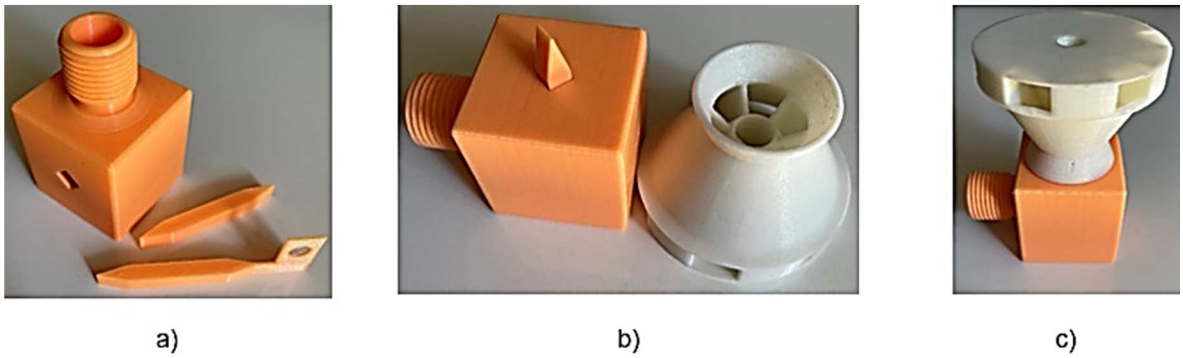

Рисунок 2 – Модель экспериментального многопоточного эжектора (по патенту РФ на изобретение № 2819487): a) модель соплового аппарата (вариант), корпус и два сменных подвижных штока с клиновидными наконечниками; b) сопловой аппарат (слева) и блок рабочих камер (справа), в блоке одна центральная камера и шесть камер с радиальными выходами; c) многопоточный эжектор после сборки [7]

В рамках исследований разработаны базовые математические модели для проектирования многопоточных эжекторов, позволяющих управлять вектором тяги для условий, когда угол отклонения вектора тяги может меняться в диапазоне от плюс 180 градусов до минус 180 градусов, в любом направлении в пределах полной геометрической сферы.

Разработанное техническое решение может быть использовано при создании струйных систем управления для энергосберегающих технологий на нефтяных и газовых месторождениях. На скважинах с высоким пластовым давлением энергия газа теряется и рассеивается в дросселе, на устье каждой такой скважины. Экологически чистая пластовая энергия газа, со скважин с высоким пластовым давлением, может быть рационально использована для работы дожимной компрессорной станции. В рамках энергосбережения, в этом случае потребление электроэнергии от внешнего источника может быть сокращено.

Предложены практические рекомендации и новые технические возможности для экстремального управления вектором тяги, в пределах полной геометрической сферы, при контролируемом распределении энергии по каналам многопоточного эжектора. Результаты выполненных научных исследований могут быть использованы в энергетике, в том числе при добыче нефти и газа. Отдельные результаты могут быть рекомендованы для использования в области беспилотных аппаратов различного назначения при работе на суше, на море и в воздухе.

Будущие исследования, в области многопоточных эжекторов и струйных систем управления вектором тяги, будут нацелены на более активное использование технологий искусственного интеллекта.

Авторы гарантируют, что публикуемое произведение не является плагиатом, не содержит государственную тайну и исключительные права на данное произведение ранее не переданы третьему лицу, а также не содержит запрещенных к открытой публикации материалов в строгом соответствии с законодательством Российской Федерации и внутривузовскими программами в области экспортного контроля.

Список литературы:

1. Thrust Vector Control within a Geometric Sphere, and the Use of Euler's Tips to Create Jet Technology / Y.A. Sazonov [et al.] // Civil Engineering Journal (C.E.J). – 2023. – № 9(10). – P. 2516–2534. – URL : https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-10-011

2. Solving Innovative Problems of Thrust Vector Control Based on Euler's Scientific Legacy / Y.A. Sazonov [et al.] // Civil Engineering Journal (C.E.J). – 2023. – № 9(11). – P. 2868–2895. – URL : https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-11-017

3. Methods for regulating ejector systems within interdisciplinary research using computer modeling / Y.A. Sazonov [et al.] // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). – 2023. – Iss. 57. – № 15(4). – P. 306–320.

4. Interdisciplinary Studies of Jet Systems using Euler Methodology and Computational Fluid Dynamics Technologies / Y.A. Sazonov [et al.] // HighTech and Innovation Journal. – 2023. – № 4(4). – P. 703–719.

5. Абугов Д.И. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива. Учебник для машиностроительных вузов / Д.И. Абугов, В.М. Бобылев. – М. : Машиностроение, 1987. – 272 с.

6. Path-Following Control for Thrust-Vectored Hypersonic Aircraft / N. Sahbon [et al.] // Energies. – 2023. – № 16. – 2501 p. – URL : https://doi.org/10.3390/en16052501

7. Investigation of a Multiflow Ejector Equipped with Variable-Length Links for Thrust Vector Control Using Euler's Methodology / Y.A. Sazonov [et al.] // Energies. – 2024. – № 5. – P. 2999–3022. – URL : https://doi.org/10.3390/eng5040156

8. Патент на изобретение РФ № 2819487. Струйный аппарат / Ю.А. Сазонов, М.А. Мохов, Х.А. Туманян, Е.И. Конюшков, В.В. Воронова, Н.Н. Балака. – Заявка: 2023132406, 08.12.2023; Опубликовано: 21.05.2024. Бюллютень № 15.

List of references:

1. Thrust Vector Control within a Geometric Sphere, and the Use of Euler's Tips to Create Jet Technology / Y.A. Sazonov [et al.] // Civil Engineering Journal (C.E.J). – 2023. – № 9(10). – P. 2516–2534. – URL : https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-10-011

2. Solving Innovative Problems of Thrust Vector Control Based on Euler's Scientific Legacy / Y.A. Sazonov [et al.] // Civil Engineering Journal (C.E.J). – 2023. – № 9(11). – P. 2868–2895. – URL : https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-11-017

3. Methods for regulating ejector systems within interdisciplinary research using computer modeling / Y.A. Sazonov [et al.] // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). – 2023. – Iss. 57. – № 15(4). – P. 306–320.

4. Interdisciplinary Studies of Jet Systems using Euler Methodology and Computational Fluid Dynamics Technologies / Y.A. Sazonov [et al.] // HighTech and Innovation Journal. – 2023. – № 4(4). – P. 703–719.

5. Abugov D.I. Theory and calculation of solid fuel rocket engines. Textbook for engineering universities / D.I. Abugov, V.M. Bobylev. – M. : Mashinostroenie, 1987. – 272 p.

6. Path-Following Control for Thrust-Vectored Hypersonic Aircraft / N. Sahbon [et al.] // Energies. – 2023. – № 16. – 2501 p. – URL : https://doi.org/10.3390/en16052501

7. Investigation of a Multiflow Ejector Equipped with Variable-Length Links for Thrust Vector Control Using Euler's Methodology / Y.A. Sazonov [et al.] // Energies. – 2024. – № 5. – P. 2999–3022. – URL : https://doi.org/10.3390/eng5040156

8. Patent for invention of the Russian Federation № 2819487. Jet apparatus / Yu.A. Sazonov, M.A. Mokhov, H.A. Tumanyan, E.I. Konyushkov, V.V. Voronova, N.N. Balaka. – Application: 2023132406, 08.12.2023; Published: 21.05.2024. Bulletin № 15.