

DOI 10.53364/24138614_2021_21_2_100
УДК 532. 525.2

¹Айсаев С.У., ²Диярова Л.Д., ³Карипбаев С.Ж.

^{1,2}Каспийский ГУ ТиИ им. Есенова, г. Актау, РК.

³Академия гражданской авиации г. Алматы, РК.

¹E-mail: a.satzhan@mail.ru*

²E-mail: Lyazat.diyarova@gmail.com

³E-mail: arinov91@mail.ru

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СВЕРХЗВУКОВОЙ НАСАДКИ ДЛЯ РАЗЖИЖЕНИЯ АМБАРНОЙ НЕФТИ

ҚАМБА МҰНАЙЫН СҰЙЫЛТУҒА АРНАЛҒАН ДЫБЫСТАН ЖОҒАРЫ САПТАМАНЫ ГАЗДИНАМИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕУ

GAS-DYNAMIC CALCULATION OF A SUPERSONIC NOZZLE FOR LIQUEFYING BARN OIL

Аннотация. Рассмотрен газодинамический расчет сверхзвуковой насадки; Приведены основные геометрические характеристики сопла Лавалья с центральным телом; приведены термодинамические показатели процесса разжижения амбарной нефти. Приведен расчет материального и уравнения теплового баланса (равновесия).

Ключевые слова: газодинамический расчет, термодинамические показатели, характеристики сопла Лавалья, уравнения баланса.

Аңдатпа. Дыбыс жылдамдығынан жоғары ағыншаға арналған отырғының газодинамикалық есептеуі қарастырылып, орталық денелі Лаваль сопласының негізгі геометриялық сипаттамалары келтірілген. Амбарлық мұнайды сұйылту үдірісінің термодинамикалық көрсеткіштері табылған. Материалдық және жылу баланс есептеулері баланстық теңдеулерді пайдалану арқылы шығарылған.

Түйін сөздер: газодинамикалық есептеу, Лаваль сопласы, Амбарлық мұнай, термодинамикалық көрсеткіштер, жылу баланс есептеулері.

Abstract. Gas dynamic calculation of super sound capping is considered; The main geometrical characteristics of nozzle of Laval with central is given; Thermodynamic exponents of dilution process in warehouse oil is done. Calculation of material and thermal balance with the use of balance equation (equilibrium) is given.

Keywords: Gas dynamic calculation, Thermodynamic exponents of dilution process, thermal balance.

Введение

В общем случае движения жидкости моделируется уравнениями Навье-Стокса, которые содержат нелинейные члены и нахождение аналитических решений в двумерном и трехмерном случаях представляют большую трудность. Если же жидкость идеальная, то уравнения Навье-Стокса переходят в уравнения Эйлера, однако из-за нелинейности нахождения каких-либо аналитических решений здесь также трудно. В этой связи используются разнообразные приближенно-аналитические методы решения уравнений

Эйлера. В связи с развитием *высокоскоростной струй* бурно развивался раздел механики жидкости и газа – газовая динамика.

Проблема исследования движения газовых потоков, в которых есть как дозвуковые, так и сверхзвуковые зоны, относится к числу важных и трудных проблем газовой динамики. Обычно, рассматриваются задачи, где сверхзвуковые зоны появляются у стенок-границ потока, или имеется линия, соединяющая границ течения, на них дозвуковое течение переходит в сверхзвуковое, это относится *задаче о сопле: в расширяющейся трубе дозвуковая скорость убывает, а сверхзвуковая – возрастает, в суживающейся трубе наоборот, дозвуковая скорость возрастает, а сверхзвуковая убывает.*

С практической точки зрения особый интерес представляет построение наиболее коротких сопел, делающих большую тягу и в то же время обеспечивающих отсутствие в них отрывных зон и скачков уплотнения.

Течения газовых потоков внутри сопла очень разнообразны. Поэтому разнообразны и методы решения уравнений, описывающих такие течения. Сложность задачи заключается не только в большом количестве уравнений, описывающих течения, но и в том, что характер движения их различен в различных областях сопла. Поэтому построение строгой математической теории очень сложно.

В окрестности минимального сечения канала обе области разделяются поверхностью перехода, где скорость потока совпадает по величине со скоростью звука. Поэтому движение газа в горловине сопла описывается уравнением смешанного эллиптического-гиперболического типа. Изучение особенности перехода через скорость звука усложняется еще тем, что в уравнения газовой динамики содержатся нелинейные члены и принцип суперпозиции для них, не применим.

Смешанные течения появляются также при полете летательного аппарата с большими скоростями. В зависимости от скорости движения может существовать несколько трансзвуковых режимов.

Основная часть.

Амбарная нефть представляет собой загустевшую массу, содержащую смолистые вещества, парафины, соли и др. Как показывают натурные наблюдения, даже в летний период, когда температура атмосферного воздуха в тени достигает свыше 40°C, разогревается только приповерхностный слой амбарной нефти. Донные отложения резервуаров - нефтешлам, содержащие смолистые вещества, парафины, соли и механические примеси. Причем под весом водонефтяной эмульсии донные отложения спрессованы и представляют загустевшую пластическую массу. Опытнo-промышленные испытания показали, что наиболее эффективным способом сбора амбарной нефти является разжижение сгустившейся органической массы, которую необходимо отбирать в жидком виде.

Суть предлагаемого технического решения заключается в разжижении сгустившейся амбарной нефти путем использования кольцевой сверхзвуковой струей водяного пара, генерируемого обычной передвижной паровой установкой. Паропровод для получения сверхзвуковой струи соединяется с кольцевой камерой, заканчивающей кольцевым соплом Лавала с центральным телом [1]. Для определения конструктивных характеристик насадки проводится газодинамический расчет кольцевого сопла Лавала.

Перегретый пар можно получить хорошо известной нефтяникам передвижной паровой установкой ППУА1600/100, который производит пар с массовым расходом $G = 1600$ кг/час, температурой $t = 310$ °C и давлением $P_0 = 100$ атм. Такое большое давление пара может привести к неэффективной трате потенциальной энергии из-за взрывного характера взаимодействия пара с амбарной нефтью, поэтому через редуторную систему

давление пара снижается до $P_0=10$ атм. При этом расход пара несколько уменьшается из-за расширения пара, однако путем подбора поперечного сечения редуктора в принципе можно избежать потери расхода, а температура пара из-за адиабатичности процесса (в редукторной системе) практически сохраняется. Тем не менее, в расчетах несколько снизим значения температуры и расхода (для надежности) и примем $G=1200$ кг/час и $t = 290$ °C. Таким образом, характеристики перегретого пара в камере перед соплом Лавалья равны:

$$P_0 = 10 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2, T_0 = 563 \text{ К}, G_0 = 1200 \text{ кг/час}, \rho_0 = 4,3 \text{ кг/м}^3.$$

Используя изоэнтروпические формулы, найдем параметры на выходе из сопла. Число Маха на выходе M_H получим из выражения [2,3]:

$$\frac{T_0}{T_H} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_H^2$$

где T_H - температура на выходе, γ - показатель адиабаты. Показатель меняется в пределах от $\gamma=1,24$ ($T=383K$) до $\gamma=1,3$ ($T=563K$). Принимая температуру пара на выходе из сопла $T_H = 383K$ и показатель адиабаты $\gamma=1,24$, найдем

$$M_H^2 = \frac{2}{\gamma - 1} \left(\frac{T_0}{T_H} - 1 \right) = \frac{2}{0,24} \left(\frac{567}{383} - 1 \right) = 4$$

При принятых значениях параметров в камере и на выходе из сопла значение числа Маха сверхзвуковой паровой струи $M_H = 2$. Давление пара на выходе получим из выражения

$$\frac{P_0}{P_H} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_H^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Отсюда значение давления на выходе из сопла

$$P_H = \frac{P_0}{\left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_H^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}} = 1,32 \text{ атм},$$

а плотность пара

$$\rho_H = \frac{\rho_0}{\left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_H^2 \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}} = 1,84 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Найденные значения параметров сверхзвуковой струи на выходе из сопла $M_H = 2$, $P_H = 1,32$ атм, $\rho_H = 0,841$ кг/м³, $T_H = 383K$ обеспечивают эффективное соотношение кинетической и потенциальной энергии течения. Струя обладает достаточно большую кинетическую энергию для разрыхления и разжижения материала, а ее температура достаточна для растопления и быстрой конденсации пара, что обеспечит более эффективное использование тепловой энергии пара. Значение давления $P_H = 1,32$ атм не приводит к разбрызгиванию материала и бесполезной затрате энергии давления.

Параметры пара в кинетическом сечении сопла Лавалья выражаются формулой

$$G = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{(\gamma - 1)^2}} \sqrt{\gamma P_0 \rho_0} S$$

где S - сечение критического сопла Лавалья. Отсюда найдем площадь критического сечения

$$S = \frac{G}{\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)2(\gamma-1)} \sqrt{\gamma P_0 \rho_0}}$$

Подставляя значения расхода пара G , P_0 , ρ_0 , γ , вычислим

$$S = 0,245 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Площадь кольцевого сечения сопла Лавалья с центральным телом можно представить как

$$S = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_n^2)$$

где d_n - диаметр внутренней трубы, d - диаметр критического сечения.

Выбор диаметра внутренней трубы d_n связан со скоростью отбора разжиженной массы из ложи амбара. Поэтому для определения диаметра критического сечения сопла требуется найти объем растопленной массы и скорость отбора амбарной нефти.

Как было показано выше, объемный расход отбираемой массы равен $Q=12 \text{ м}^3/\text{час}$. Задавая скорость отбора эмульсии $U_H = 2 \text{ м/с}$, по объемному расходу определим площадь поперечного сечения и диаметр трубы

$$S = \frac{Q}{U_H} = 0,17 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Итак, внутренний диаметр трубы для отбора нефти равен $d_n = 0,0408 \text{ м}$, а внешний $d = 0,05 \text{ м}$.

Теперь можно найти диаметр критического сечения сопла Лавалья:

$$d^2 = \frac{4}{\pi} S + d_n^2 = 0,2812 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Выводы

Подставляя значения d_n и S , получим

$$d = 53,03 \text{ мм}.$$

Итак, диаметр критического сечения сопла Лавалья равен $d = 53,03 \text{ мм}$. Зная размеры критического сечения сопла, можно найти площадь выходного сечения

$$\frac{S}{S_n} = \frac{M_H \left(\frac{1 + (\gamma - 1) 2M^2}{1 + (\gamma - 1) 2M_H^2} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}}{M}$$

где M - число Маха в критическом сечении сопла, S_n - площадь выходного сечения. Отсюда найдем

$$S_n = \frac{S}{M_H} \left(\frac{1 + (\gamma - 1) 2M_H^2}{1 + (\gamma - 1) 2M^2} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} = 4,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Площадь выходного сечения равна $S_n = 0,4053 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$. Зная величину выходного сечения нетрудно определить и другие геометрические характеристики сопла Лавалья с центральным телом [3]. Согласно проведенным расчетам была выполнена проектно-техническая документация и изготовлена сверхзвуковая насадка.



Список использованных источников

1. Патент на изобретение № 10116 РК "Способ сбора амбарной нефти и устройство для его осуществления", (авторы: Ершин Ш.А., Жапбасбаев У.К., Айсаяев С.У., Утегалиев С.А, Хаиров Г.Б.), 9.10.2002 г.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. –840с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – М.: Наука, 1988. –766с.

References

1. Patent na izobretenie № 10116 RK "Sposob sbora ambarnoi nefiti i ustroistvo dlä ego osuřestvlenia", (avtory: Erřin ř.A., Japbasbaev U.K., Aisaev S.U., Utegaliev S.A, Hairov G.B.), 9.10.2002 g.
2. Loisański L.G. Mehanika jidkosti i gaza. – M.: Nauka, 1987. –840s.
3. Landau L.D., Lifřis E.M. Hidrodinamika. – M.: Nauka, 1988. –766s.