

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-11-87-1>

УДК 681.51

Брунеткін О.І., Васильєв М.В.

Одеський національний політехнічний університет

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗРІДЖЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Анотація. Перш за все, така тема як компресори для зрідження природного газу на превеликий жаль не дуже добре вивчена. І тому, в даній публікації буде представлено детальне дослідження даного об'єкту. Насамперед, перш за все буде розглянуто сам об'єкт, з чого він складається, які його властивості, як в ньому проходять процеси зрідження природного газу. Так спочатку треба повністю вивчити сам об'єкт, а вже потім переходити до побудови його математичної моделі яку в майбутньому можна застосувати для більш детального аналізу, спочатку теоретично а вже потім і в практичних цілях. Це дозволить досягти великих результатів при побудові автоматичної системи керування компресора для зрідження природного газу. Отже буде спочатку вивчений вже сам об'єкт а вже потім на основі отриманих знань ми будемо будувати математичну модель яка в майбутньому знадобиться для розробки автоматичної системи керування.

Ключові слова: компресор, зрідження, природний газ, математична модель, зрідження.

Vasyliiev Mykhailo, Brunetkin Oleksandr

Odessa National Polytechnic University

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF A COMPRESSOR UNIT FOR NATURAL GAS LIQUEFACTION

Summary. First of all, such a topic as compressors for liquefaction of natural gas is unfortunately not very well studied. Therefore, this publication will present a detailed study of this object. First of all, the object itself will be considered, what it consists of, what its properties are, how natural gas liquefaction processes take place in it. So first you need to fully study the object itself, and only then proceed to build its mathematical model, which in the future can be used for more detailed analysis, first theoretically and then for practical purposes. This will achieve great results in the construction of an automatic control system for the compressor for liquefaction of natural gas. So, first the object itself will be studied, and only then, based on the acquired knowledge, we will build a mathematical model that will be needed in the future to develop an automatic control system. Of course, if you do not fully study all the properties of the object, such as the physical processes that take place there and the properties of the compressor. And having already put together all the available information, we can have a complete picture of this object. And from this information that has been collected, we can finally move on to the development of a more detailed mathematical model, which will be, albeit simplified, but still close to reality. Only then, already having this mathematical model, you can move on to a more detailed study in theory. And after conducting theoretical research, it is possible to check all the results of the study on a mathematical model, which will help to understand whether they are effective. Because it is more profitable to check theoretical information on a mathematical model than to do it on a real object. This can be costly, and in the case of an installation such as a natural gas liquefaction compressor, it is very expensive. And therefore this mathematical model will be appropriate. This model can be used in a more detailed study of this object because at the moment there is no holistic picture for the dagono object. It will also be possible to apply this model to find the necessary laws of regulation which will help to increase productivity of the compressor installation for liquefaction of natural gas. And this model will help to solve this question and to establish full-fledged work on studying of the given compressor installation.

Keywords: compressor, liquefaction, natural gas, mathematical model, liquefaction.

Постановка проблеми. На разі проблематика постає наступна: наразі у відкритих джерелах дуже мало інформації на дану тематику, але і сам об'єкт ще не до кінця вивчений, адже в наявності не було виявлено повноцінної математичної моделі компресора для зрідження природного газу. Саме тому для більш детального вивчення необхідно розробити повноцінну математичну модель. Це дозволить насамперед повноцінно дослідити даний об'єкт. Також це дозволить знайти необхідні закони регулювання які допоможуть підвищити продуктивність компресорної установки. Наразі проблематично знайти готову математичну модель і тому дана робота дозволить вирішити дану проблему

та отримати в наявність готову модель яку можливо все застосовувати для більш детального вивчення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчаючи останні публікації у відкритих джерелах інформації, було виявлено, що саме повноцінної інформації, де би була повністю описана а потім і представлена математична модель компресорної установки по розрідженню природного газу. Лише окремі математичні моделі різних деталей даного об'єкту, але щоби все було зібрано в одну математичну модель, такого не має в наявності у відкритих джерелах. Були вивчені публікації наступних авторів: Шаміна В.А., Галеркін Ю.Б. та інших.

Формулювання цілей статті: розробити повноцінну модель компресорної установки для зрідження природного газу.

Виклад основного матеріалу. Спочатку треба все таки знати, а навіщо взагалі нам такий об'єкт як компресорна установка для зрідження природного газу. На даний момент, природний газ є найчистішим і одним з найдешевших органічних видів палива. Основною проблемою природного газу є транспортування на велику відстань. Рішенням цієї проблеми є скраплення газу за допомогою криогенних установок. В 2018 році імпорт зрідженого природного газу (ЗПГ) склав 600 млн. тонн по всьому світу, проте в найближчі 20 років імпорт ЗПГ має зрости в 2-3 рази, що обумовлює необхідність розробки більш продуктивних і економічних шляхів виробництва ЗПГ. Особливе значення скраплення метану набуває в умовах дефіциту транзиту традиційним методом природного газу. Створення потужностей по виробництву рідкого метану – один з головних шляхів відходу від газової залежності будь-якої держави або підприємства. Головна перевага скраплення метану – зменшення обсягів кожного кубометра в 600 разів при атмосферному тиску і температурі $-161,45^{\circ}\text{C}$. В зв'язку з небезпечністю виробництва та великими енергетичними витратами, створення такого виробництва неможливе без системи автоматизації.

Тепер у нас з'являється чітке розуміння того, навіщо взагалі потрібен даний об'єкт і чому важливо максимального його дослідити, адже без цього буде неможливо створити ефективну систему автоматизації для цього об'єкта.

Ще треба коротко описати компресорну установку для зрідження природного газу. Відцентрові компресори представляють собою обладнання, що входить до групи компресорів динамічного типу з радіальною конструкцією. Головною перевагою установок даного типу є їх

висока продуктивність, яка в рази перевищує показники компресорів інших видів. Завдяки цьому, відцентрові компресори, структура яких дозволяє використовувати їх при інтенсивній експлуатації, широко використовуються в промислових масштабах.

Компресорні установки, що відносяться до групи обладнання відцентрового типу, являють собою широке розмаїття агрегатів, різних за своїми характеристиками і технічним оснащенням. Але при цьому, відцентрові компресорів характерно загальне стандартне оснащення. Так, обладнання даного типу включає в себе такі основні елементи, як:

- корпус обладнання;
- патрубки – вхідний і вихідний пристрої;
- робочі колеса;
- дифузор;
- привід – може бути різних типів (дизельний, електричний та інші).

Основними перевагами проточних частин відцентрового компресора з осеріальними робочими колесами є: підвищена витрата, яка виражається в коефіцієнті витрати та підвищений напір (коефіцієнт питомої роботи).

Завдяки цим якостям відцентрові ступені з осеріальними робочими колесами в порівнянні зі звичайними сходами з циліндричними робочими колесами при одних і тих же початкових умовах відрізняються підвищеною швидкістю і суттєво зниженими габаритними розмірами.

В компресорній установці використовується холодоагент змішаного типу, за допомогою якого здійснюється охолодження природного газу до необхідної температури зрідження.

Охолодження здійснюється за рахунок випаровування холодоагенту високого тиску у теплообмінник через який проходить газ. Далі холодоагент сепарується і проходить через компресор, який підвищує його тиск до заданого (5,1 МПа).

Під час випаровування, холодоагент поглинає внутрішню енергію газу тим самим знижуючи температуру газу до температури конденсації (-163°C).

Детально вивчивши, що являє собою компресор для зрідження природного газу та повністю розглянувши принцип дії, час все таки перейти до створення математичної моделі об'єкта. А саму математичну модель можна скласти якщо є повне розуміння про даний об'єкт та знати як протікає технологічний процес по розрідженню природного газу в компресорі. Адже без цієї інформації не буде можливості скласти повноцінну математичну модель компресора, так як не було б повної картини яка б показала як проходить процес зрідження та як це робить компресор. Можливо було б розробити математичну модель, вивчивши даний об'єкт хоча б на 50%, але здається що така математична модель була би не дуже ефективною так як не до кінця були би вивчені всі можливості об'єкта та його властивості. Хоч математична модель і являє собою спрощену модель реального об'єкта, але все таки треба знати майже все про компресор, щоби модель вийшла більш достовірною. І лише завдяки детальному вивченню, буде можливо розробити повноцінну математичну

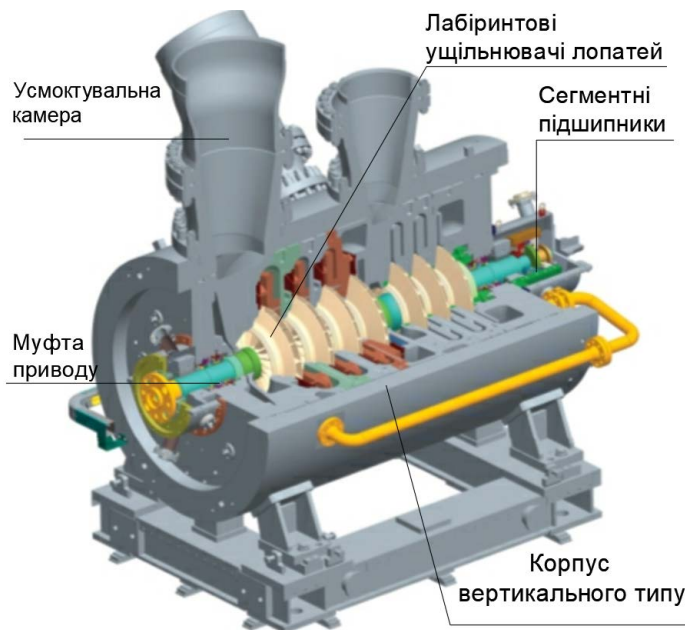


Рис. 1. Модель відцентрованого компресора K905-71-1C

Джерело: [1]

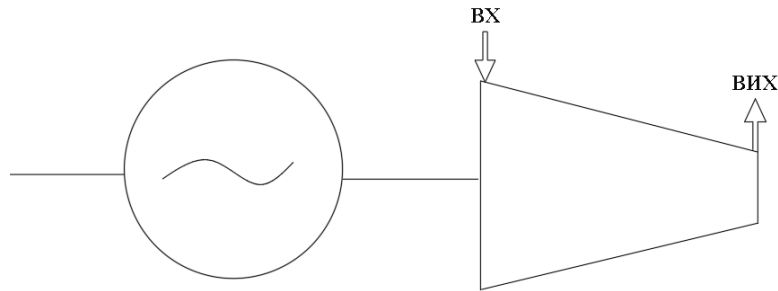


Рис. 2. Компресор з регулюючим органом

Джерело: розробка автора

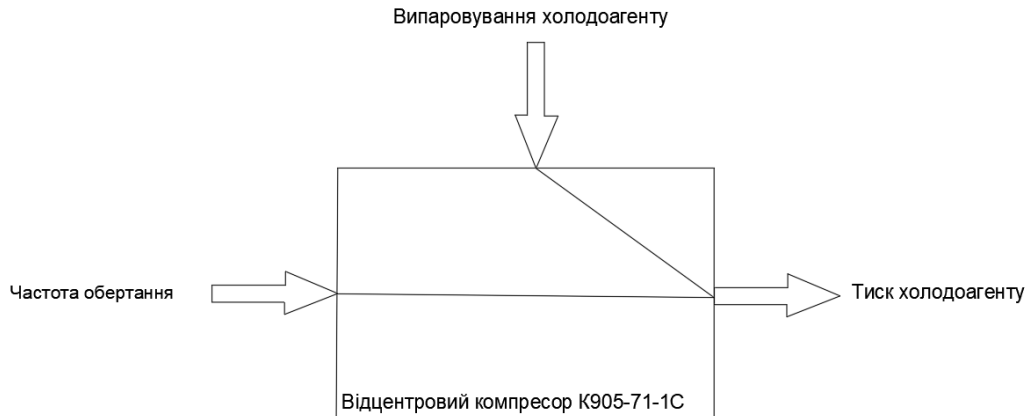


Рис. 3. Параметрична схема компресорної установки

Джерело: розробка автора

модель, яка дозволить в майбутньому більш якісно проводити дослідження для цього об'єкта по створенню автоматичної системи керування.

За приведеним нижче рисунком, буде здійснюватись вивід рівняння для компресора з електроприводом.

Розглянемо математичну модель компресорної установки по контуру холодоагенту. Отже, стабілізувати на підставі уставки будемо – тиск холодоагенту. Параметрична схема компресора приведена нижче.

Передатна функція асинхронного двигуна в спрощеному варіанті, при $(\gamma / \nu)^2 = 1$ [1, с. 296].

Перша частина передатної функції асинхронного двигуна виглядає наступним чином:

$$\frac{\Delta M(p)}{\Delta w_1(p) - \Delta w(p)} = \frac{1}{T_{\text{эл}} p + 1} = \frac{750}{1,033 p + 1}$$

Друга частина передатної функції асинхронного двигуна виглядає так:

$$\frac{\Delta M(p)}{\Delta M(p) - \Delta M_z(p)} = \frac{1}{T_{\text{м}} p} = \frac{1}{0,0145 p}$$

де $T_{\text{м}}$, $T_{\text{эл}}$ – механічна і електромагнітна постійна часу двигуна, відповідно.

Компресорна машина являє собою відцентровий агрегат для виробництва стисненого холодоагенту і діє аналогічно відцентрового насоса.

Робота відцентрових сил на шляху від входу в між лопатеві канали до виходу з них призводить до збільшення енергії потоку. Найпростіша теорія компресорних машин, що володіє прийнятною точністю, ґрунтується на термодинаміці ідеального газу.

В даному випадку використовується закон Бойля-Маріотта, тобто обсяг газу пропорційний тиску при постійній температурі, використовуваний закон виражає ізотермічний процес: $PV = \text{const}$, $T = \text{const}$.

При ізотермічному стисканні витрачається найменша кількість енергії в компресорному процесі. Маємо: $PV = P_1 V_1 = P_2 V_2$.

Для реалізації відцентрового компресора в одиночних трубопроводах використовується аперіодична ланка другого порядку, проте в більшості випадків приймається до уваги ще й запізнювання, але так як труба не має великої довжини і розгалужень, в даній системі немає сенсу ставити запізнювання. Таким чином, передатна функція компресора виглядає наступним чином:

$$W_{\text{com}} = \frac{k_c}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

Розраховану математичну модель необхідно реалізувати в середовищі Simulink.

Висновки та пропозиції. В даному матеріалі була більш детально описана математична модель компресора для зрідження природного газу. Всі знання про властивості даного об'єкта були зібрані в одну математичну модель і в результаті була отримана загальна математична модель, яка також була реалізована в середовищі Simulink. Дана модель дозволить в майбутньому більш краще вивчити властивості об'єкта в плані регулювання та дозволить оперативно отримати дані для впровадження системи автоматичного керування.

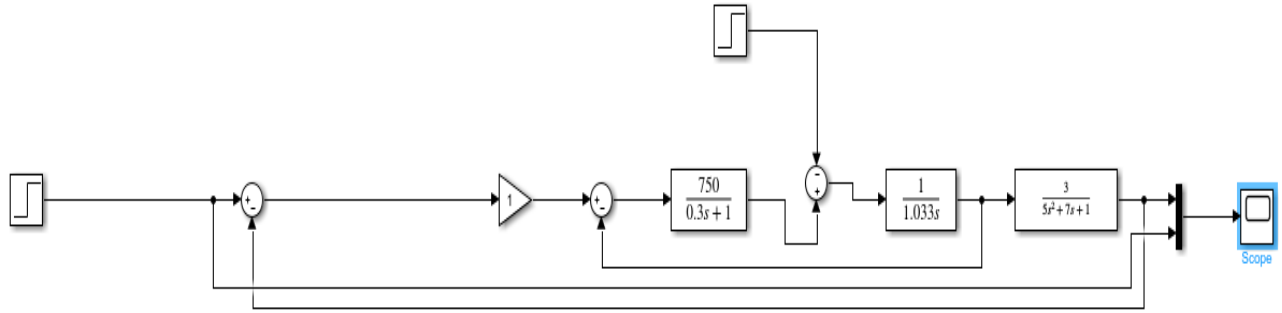


Рис. 4. Математична модель компресорної установки в середовищі Simulink

Джерело: розробка автора

Список літератури:

1. Шаміна В.А. Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих : Збірник наукових праць XII науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 17-20 квітня 2012. Донецьк : ДонНТУ, 2012. С. 305.
2. Галеркин Ю.Б., Козаченко Л.И. Турбокомпрессоры : Учебное пособие. Санкт-Петербург : издательство Политехнического университета, 2008. 374 с.
3. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры : Учебное пособие для вузов. Москва : Энергоатомиздат, 1984. 316 с.

References:

1. Shamina V.A. (2012). Avtomatizaciya tekhnologichnih ob'ektiv ta procesiv. Poshuk molodih: Zbirnik naukovih prac' nauково-tekhnichnoi konferencii aspirantiv ta studentiv v m. Donec'ku 17-20 kvitnya 2012 r. [Automation of technological objects and processes. Search for the young. Proceedings of the XII scientific and technical conference of graduate students and students in Donetsk April 17-20, 2012]. Donetsk: DonNTU. (in Ukrainian)
2. Galerkin YU.B., Kozachenko L.I. (2008). Turbokompressory: Uchebnoe posobie [Turbocompressors: Textbook]. St. Petersburg: publishing house of the Polytechnic University. (in Russian)
3. Cherkasskij V.M. (1984). Nasosy, ventilyatory, kompressory: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Pumps, fans, compressors: Textbook for universities]. Moscow: Energoatomizdat. (in Russian)