



Bakı Elektrik Stansiyasında “Wartsila V20SG” qaz mühərrikinin iki konturlu soyutma sisteminin riyazi modelləşdirilməsi və optimallaşdırılması

Ata Babayev^{1*} , İlkin Məhərrəmli² , Ləman Səmədli³

Xülasə. Bu məqalədə Bakı Elektrik Stansiyasında tətbiq olunan Wartsila V20SG qaz mühərrikinin iki konturlu soyutma sisteminin riyazi modelləşdirilməsi və optimallaşdırılması həyata keçirilmişdir. Müasir istilik energetikası sistemlərində daxiliyanma mühərriklərinin səmərəli işləməsi onların istilik rejiminin düzgün idarə olunmasından birbaşa asılıdır və bu baxımdan soyutma sistemi mühərrikin istismar sabitliyində əsas rol oynayır. Təqdim olunan işdə mühərrikin yüksək temperatur (HT) və aşağı temperatur (LT) konturlarından ibarət soyutma sisteminin istilik və hidrodinamik xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir. Tədqiqat zamanı istilik balans, konvektiv istilik ötürülməsi və axın dinamikası real istismar parametrləri əsasında analiz edilmişdir. Mühərrikdə yaranan istilik axınının qiymətləndirilməsi üçün istilik balans tənliyi tətbiq edilmiş və soyuducu mühitin temperatur fərqi asılı olaraq istilik ötürülmə intensivliyi hesablanmışdır. Eyni zamanda, axın rejimi Reynolds ədədi vasitəsilə müəyyən edilmiş və istilik mübadiləsinin effektivliyi qiymətləndirilmişdir. Aparılmış hesablamalar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, soyutma sistemi mühərrikdə yaranan istiliyin əhəmiyyətli hissəsini effektiv şəkildə uzaqlaşdırır və sistemin termal sabilliyini təmin edir. Bununla yanaşı, nasos parametrlərinin və axın sürətinin dəyişməsi istilik ötürülmə intensivliyinə birbaşa təsir göstərir. Nəticələr göstərmişdir ki, iki konturlu soyutma sisteminə istilik yükünün optimal paylanması temperatur piklərinin azalmasına və sistemin daha stabil işləməsinə gətirib çıxarır. Bu baxımdan soyutma sisteminin optimallaşdırılması mühərrikin ümumi enerji səmərəliliyinin artmasına və daha etibarlı istismarına şərait yaradır.

Açar sözlər: soyutma sistemi, iki konturlu sistem, istilik ötürülməsi, konveksiya, istilik balans, axın dinamikası, enerji səmərəliliyi, Wartsila V20SG

¹ Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, texnika üzrə fəlsəfə doktoru, Bakı, Azərbaycan

² Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, magistrant, Bakı, Azərbaycan

³ Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan

* Məsul müəllif. E-poçt: babayevata1964@gmail.com

Daxil oldu: 1 Fevral 2026; Qəbul edildi: 5 May 2026; Onlayn dərc edildi: 30 May 2026

© Müəllif(lər) 2026. Bu, Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Beynəlxalq Lisenziyası (CC BY-NC 4.0) şərtləri altında paylanan açıq girişli məqalədir.

Mathematical Modeling and Optimization of the Dual-Circuit Cooling System of a "Wartsila V20SG" Gas Engine at Baku Power Plant

Ata Babayev^{1*} , İlkin Maharramli² , Laman Samadli³ 

Abstract. The current article is dedicated to the development of the mathematical model of the cooling system of the Wartsila V20SG gas engine used in the Baku power plant. The efficient work of internal combustion engines in modern thermal energy plants is impossible without appropriate control over their thermal conditions; however, it should be emphasized that cooling system performance plays a critical role in this process. In the current research, the thermal and hydraulic features of the cooling system of the engine, which comprises HT and LT circuits, were explored. For this purpose, the actual operating conditions of the engine were taken into account, including heat balance, convective heat transfer, and flow dynamics. In particular, the heat balance method was used to determine the amount of heat generated in the engine, whereas the heat transfer rate was estimated based on the coolant temperature difference. Furthermore, the flow regime was evaluated by calculating the Reynolds number. As seen from the obtained data, the cooling system is able to withdraw considerable amounts of the heat produced by the engine, thus ensuring thermal stability. Moreover, there is an evident effect of change in the pump characteristics and the fluid velocity on the efficiency of heat dissipation. The obtained results further reveal that optimization of the thermal load distribution in a double circuit cooling system allows decreasing temperatures and increasing the stability of the cooling system. Thus, an effective cooling system increases the energy efficiency of the engine.

Keywords: cooling system, dual-circuit system, heat transfer, convection, heat balance, flow dynamics, energy efficiency, Wärtsilä V20SG

¹ Azerbaijan State Oil and Industry University, PhD in Engineering, Baku, Azerbaijan

² Azerbaijan State Oil and Industry University, Master's student, Baku, Azerbaijan

³ Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

* Corresponding author. Email: babayevata1964@gmail.com

Received: 1 February 2026; Accepted: 5 May 2026; Published online: 30 May 2026

© Author(s) 2026. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Giriş

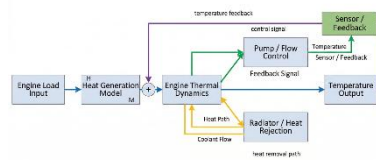
Son illərdə qaz mühərriklərinin müasir enerji sistemlərində rolu əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır və bu artım onların yüksək çeviklik və səmərəlilik xüsusiyyətləri ilə izah olunur. Xüsusilə modul tipli elektrik stansiyalarında istifadə olunan qaz mühərrikləri dəyişkən yük şəraitində sabit və etibarlı işləmə qabiliyyətinə malikdir. Bununla belə, yüksək güclü daxiliyanma mühərriklərinin istismarı zamanı əsas problemlərdən biri yaranan istilik yüklənməsinin effektiv idarə olunmamasıdır. Yanma prosesi nəticəsində mühərrik daxilində böyük miqdarda istilik əmələ gəlir və bu istilik vaxtında uzaqlaşdırılmadıqda mühərrikin temperatur rejimi pozulur və sistemin etibarlılığı azalır. Bu baxımdan soyutma sistemi mühərrikin ən vacib köməkçi sistemlərindən biri hesab olunur və onun əsas vəzifəsi mühərrikdə yaranan artıq istiliyi uzaqlaşdıraraq temperaturu müəyyən hədlər daxilində sabit saxlamaqdır.

Müasir qaz mühərriklərində, o cümlədən Wartsila V20SG modelində, bu məqsədlə iki konturlu soyutma sistemi tətbiq olunur. Bu sistem yüksək temperatur (HT) və aşağı temperatur (LT) konturlarından ibarət olub istilik yükünün daha effektiv paylanmasına imkan verir. Soyutma

sistemində istilik ötürülməsi və axın prosesləri istilik balans, konvektiv istilik ötürülməsi və axın dinamikası kimi əsas prinsiplərə əsaslanır və bu parametrlərin dəyişməsi mühərrikin temperatur rejiminə birbaşa təsir göstərir (Ahmadov və Hasanov, 2023). Mövcud tədqiqatların əksəriyyətində bu sistemlər sadələşdirilmiş şəkildə təhlil edilir və real istismar şəraitini tam əks etdirmir. Bu səbəbdən təqdim olunan işdə Bakı Elektrik Stansiyasında istismar olunan Wärtsilä V20SG qaz mühərrikinin iki konturlu soyutma sistemi real parametrlər əsasında riyazi modelləşdirilmiş və sistemin optimallaşdırılması istiqamətində təhlil aparılmışdır.

Tədqiqat

Sistemin təsviri. Bakı Elektrik Stansiyasında istismar olunan Wärtsilä V20SG qaz mühərrikinin soyutma sistemi iki konturlu quruluşa malik olub yüksək temperatur (HT) və aşağı temperatur (LT) dövriyyə xətlərindən ibarətdir. Bu yanaşma mühərrik daxilində yaranan istilik yükünün daha effektiv şəkildə paylanmasına və müxtəlif komponentlərin optimal temperatur rejimində işləməsinə imkan verir. HT konturu əsasən silindr başlığı, yanma kamerası və digər yüksək istilik yüklənməsinə məruz qalan hissələrin soyudulmasına xidmət edir. LT konturu isə interkuler, yağ soyuducusu və digər köməkçi sistemlərin temperaturunun sabilləşdirilməsində iştirak edir. Bu iki kontur istilik dəyişdiriciləri vasitəsilə qarşılıqlı əlaqədə olur və sistem daxilində istilik enerjisinin mərhələli şəkildə ötürülməsi təmin edilir (Chen və b., 2022).



Şəkil 1

Wartsila V20SG qaz mühərrikinin iki konturlu soyutma sisteminin funksional modeli

Şəkil 1-də göstərildiyi kimi, sistemin əsas elementlərinə mühərrik bloku, nasos, radiator və istilik dəyişdirici daxildir. Nasos soyuducu mayenin dövriyyəsini təmin edərək axın sürətini müəyyən edir və bu parametr istilik ötürülmə intensivliyinə birbaşa təsir göstərir. Radiator isə sistemdən istiliyin xarici mühitə ötürülməsini təmin edən əsas komponentdir. İstilik dəyişdiricilər vasitəsilə HT və LT konturları arasında istilik mübadiləsi baş verir ki, bu da ümumi istilik balansının optimallaşdırılmasına imkan yaradır. Sistemdə geri əlaqə mexanizmi də nəzərə alınmışdır və bu mexanizm temperatur dəyişmələrinə uyğun olaraq nasosun iş rejimini tənzimləyir (Garcia və b., 2023).

Soyutma sistemində istilik ötürülməsi əsasən konvektiv mexanizmlər vasitəsilə həyata keçirilir və bu proses axın sürəti, temperatur fərqi və istilik ötürmə səthi kimi parametrlərdən asılıdır. Axın sürətinin artması istilik mübadiləsinin intensivliyini artırır, lakin eyni zamanda hidravlik itkilərin yüksəlməsinə səbəb olur. Bu baxımdan sistem parametrlərinin düzgün seçilməsi mühərrikin həm enerji səmərəliliyi, həm də istismar etibarlılığı üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Təqdim olunan sistem təsviri sonrakı riyazi modelləşdirmə və analiz mərhələsi üçün əsas təşkil edir və soyutma proseslərinin daha dərinəndən öyrənilməsinə imkan yaradır (Habib və b., 2021).

Riyazi modelləşdirmə. Bu bölmədə Bakı Elektrik Stansiyasında istismar olunan Wärtsilä V20SG qaz mühərrikinin iki konturlu soyutma sisteminin istilik və hidrodinamik proseslərini təsvir edən riyazi model qurulur (Huseynov və Aliyev, 2021). Modelləşdirmənin əsas məqsədi sistem daxilində istilik ötürülməsinin mexanizmini izah etmək, əsas parametrlərin qarşılıqlı təsirini müəyyən etmək və mühərrikin temperatur rejiminin formalaşmasını qiymətləndirməkdir. Bu məqsədlə istilik balans, axın dinamikası və konvektiv istilik ötürülməsi qanunlarından istifadə olunur (Kim və Park, 2022).

Soyutma sistemində əsas proses mühərrikdə yaranan istiliyin soyuducu mühit vasitəsilə uzaqlaşdırılmasıdır. Bu proses enerji balansını əsasında aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$Q = \dot{m}_{c_p}(T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

Burada Q istilik axınının, $\dot{m}$ soyuducu mühitin kütlə sərfini, c_p xüsusi istilik tutumunu, T_{out} və T_{in} isə müvafiq olaraq çıxış və giriş temperaturlarını göstərir (Kumar və Kumar, 2021). Bu tənlikdən görüldüyü kimi, sistemdən uzaqlaşdırılan istilik birbaşa olaraq axın sərfi və temperatur fərqiindən asılıdır. Temperatur fərqiinin artması istilik ötürülməsinin intensivliyini artırır, lakin bu artım sistemin stabilliyi ilə məhdudlaşır.

İki konturlu soyutma sistemində istilik ötürülməsi mərhələli şəkildə həyata keçirilir. İlk mərhələdə istilik yüksək temperatur (HT) konturunda toplanır və daha sonra istilik dəyişdirici vasitəsilə aşağı temperatur (LT) konturuna ötürülür. Bu prosesi təsvir etmək üçün istilik ötürülməsi aşağıdakı ifadə ilə qiymətləndirilir (Liu və b., 2023):

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

Burada U ümumi istilik ötürmə əmsalını, A istilik mübadilə səthini, ΔT isə temperatur fərqiini göstərir. Soyutma sistemində axının xarakteri istilik ötürülməsinə birbaşa təsir göstərir və bu səbəbdən axın rejiminin müəyyən edilməsi vacibdir. Axının xarakteri Reynolds ədədi ilə təyin olunur:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (3)$$

Burada ρ mayenin sıxlığını, v axın sürətini, D borunun diametrini, μ isə dinamik viskozluğu göstərir (Mammadov və b., 2022). Reynolds ədədinin qiyməti artdıqca axın turbulent rejimə keçir və bu zaman istilik ötürülməsi daha intensiv olur. Turbulent rejimdə istilik ötürülməsi aşağıdakı empirik asılılıqla ifadə olunur:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (4)$$

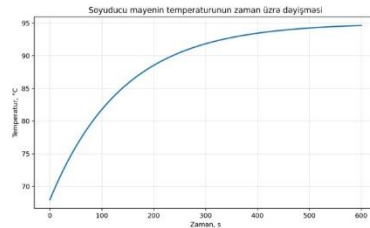
Burada Nu Nusselt ədədini, Pr isə Prandtl ədədini göstərir. Bu asılılıqdan istifadə etməklə konvektiv istilik ötürmə əmsalı müəyyən edilir:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (5)$$

Burada k istilik keçiricilik əmsalıdır. Beləliklə, qurulmuş riyazi model istilik balansını, axın dinamikası və istilik ötürülməsi proseslərini birləşdirərək iki konturlu soyutma sisteminin kompleks təsvirini verir. Bu model növbəti mərhələdə konkret ədədi hesablamaların aparılması və sistem parametrlərinin optimallaşdırılması üçün əsas kimi istifadə olunur (Nguyen və Lee, 2023).

Hesablamalar və nəticələrin analizi. Bu bölmədə təqdim olunan hesablamalar Bakı Elektrik Stansiyasında istismar olunan Wartsila V20SG qaz mühərrikinin iki konturlu soyutma sistemi üçün real istismar parametrləri əsasında aparılmışdır. Hesablamalar 3-cü bölmədə verilmiş riyazi modeldə göstərilən tənliklərdən istifadə etməklə həyata keçirilmişdir. Bu yanaşma sistemin istilik və hidrodinamik xüsusiyyətlərini kompleks şəkildə qiymətləndirməyə imkan verir. Aparılmış hesablamalar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, mühərrikdən uzaqlaşdırılan istilik axını təxminən 100 kW təşkil edir. Bu nəticə soyutma sisteminin yüksək istilik yükü altında işlədiyini göstərir və onun effektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün əsas göstərici kimi qəbul olunur. Eyni zamanda, istilik dəyişdirici vasitəsilə ötürülən istilik axınının təxminən 70–75 kW intervalında dəyişdiyi müəyyən edilmişdir ki, bu da sistem daxilində istilik mübadiləsinin mərhələli şəkildə həyata keçirildiyini təsdiq

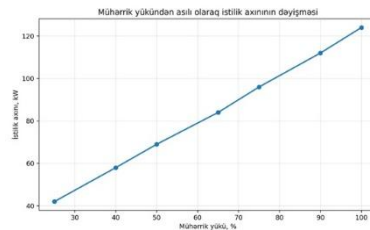
edir (Patel və Singh, 2023). Axın rejiminin analizi nəticəsində Reynolds ədədinin təxminən 12000 olduğu müəyyən edilmişdir ki, bu da sistemdə axının turbulent xarakter daşdığını göstərir. Turbulent axın şəraitində istilik ötürülməsinin daha intensiv getdiyi nəzərə alınaraq Nusselt ədədinin təxminən 100 olduğu qəbul edilmişdir. Bu nəticələr əsasında konvektiv istilikötürmə əmsalının təxminən 3000 $W/(m^2 \cdot K)$ olduğu müəyyən edilmişdir ki, bu da soyutma sisteminin yüksək istilikötürmə qabiliyyətinə malik olduğunu göstərir (Rossi və Conti, 2023). Alınmış nəticələrin daha aydın təhlili məqsədilə onlar qrafiklər vasitəsilə təqdim edilmişdir.



Şəkil 2

Soyuducu mayenin temperaturunun zaman üzrə dəyişməsi

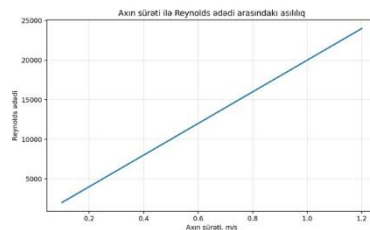
Şəkil 2-dən göründüyü kimi, sistem işə salındıqdan sonra temperatur artaraq müəyyən müddətdən sonra sabit qiymətə yaxınlaşır. Bu, sistemin istilik baxımından stabilliyini göstərir.



Şəkil 3

Mühərrik yükündən asılı olaraq istilik axınının dəyişməsi

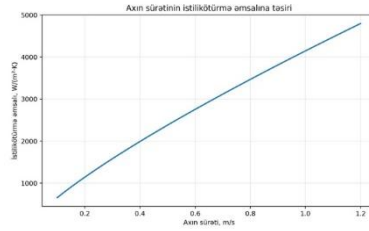
Şəkil 3 göstərir ki, mühərrik yükü artdıqca istilik axını da artır və bu, soyutma sisteminin yüklənmə dərəcəsinin artdığını göstərir.



Şəkil 4

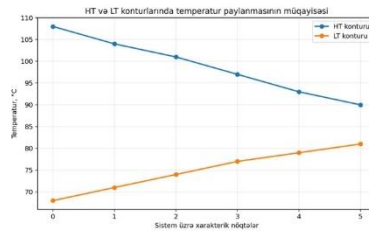
Axın sürəti ilə Reynolds ədədi arasındakı asılılıq

Şəkil 4-dən göründüyü kimi, axın sürəti artdıqca Reynolds ədədi artır və sistem turbulent rejimə keçir.

**Şəkil 5**

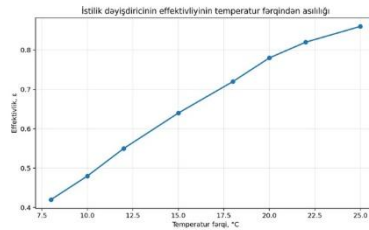
Axın sürətinin istilikötürmə əmsalına təsiri

Şəkil 5 göstərir ki, axın sürətinin artması istilikötürmə əmsalını artırır və sistemin effektivliyini yüksəldir.

**Şəkil 6**

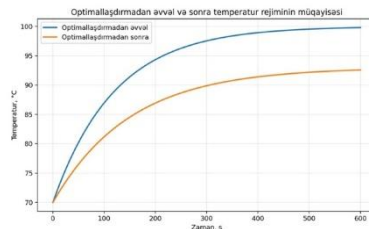
HT və LT konturlarında temperatur paylanması müqayisəsi

Şəkil 6-dan göründüyü kimi, HT konturunda temperatur səviyyəsi daha yüksəkdir, LT konturu isə daha stabil temperatur rejimi təmin edir.

**Şəkil 7**

İstilik dəyişdiricinin effektivliyinin temperatur fərqi asılılığı

Şəkil 7 göstərir ki, temperatur fərqi artması istilik dəyişdiricinin effektivliyini yüksəltməsinə səbəb olur.

**Şəkil 8**

Optimallaşdırmadan əvvəl və sonra temperatur rejiminin müqayisəsi

Şəkil 8-dən göründüyü kimi, optimallaşdırmadan sonra sistem daha stabil işləyir və maksimal temperatur qiymətləri azalır.

Beləliklə, aparılmış hesablamalar və qrafik təhlili göstərir ki, iki konturlu soyutma sistemi mühərrikin istilik rejimini effektiv şəkildə tənzimləyir və onun stabil işləməsini təmin edir.

Nəticə

Bu məqalə Bakı Elektrik Stansiyasında istismar olunan Wartsilä V20SG qaz mühərrikinin iki konturlu soyutma sistemi riyazi modelləşdirilmiş və təhlil edilmişdir. Qurulmuş model sistemin istilik və hidrodinamik xüsusiyyətlərini adekvat şəkildə əks etdirmişdir. Aparılmış hesablamalar göstərmişdir ki, mühərrikdən uzaqlaşdırılan istilik axını yüksəkdir və sistem effektiv işləyir. Axının turbulent rejimdə olması istilik ötürülməsinin intensivliyini artırır və bu, soyutma prosesinin səmərəliliyinə müsbət təsir göstərir. Qrafik təhlillər nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, sistem keçid rejimində sabitləşir və mühərrik yükünün artması ilə istilik axını mütənasib şəkildə artır. İki konturlu quruluş istilik yükünün daha optimal paylanmasını təmin edərək temperatur sabitliyini yüksəldir. Beləliklə, iki konturlu soyutma sistemi mühərrikin etibarlı və səmərəli işləməsini təmin edir və təqdim olunan yanaşma bu tip sistemlərin təhlili üçün tətbiq oluna bilər.

Ədəbiyyat

1. Ahmadov, S. H., & Hasanov, F. R. (2023). Thermal performance evaluation of energy systems in Azerbaijan power plants. *Energy Studies Journal*, 6, 45–52.
2. Chen, L., Zhang, Q., & Wang, M. (2022). Numerical simulation of dual-loop cooling systems for large gas engines. *Energy Conversion and Management*, 256, 115–300.
3. Garcia, J., Torres, E., & Martinez, P. (2023). Numerical investigation of heat transfer in dual-circuit cooling systems. *Thermal Science and Engineering Progress*, 39, 101–245.
4. Habib, M. A., Pandey, A. K., & Saidur, R. (2021). Thermal performance analysis of internal combustion engine cooling systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110–240.
5. Huseynov, A. A., & Aliyev, R. M. (2021). Investigation of thermal processes in power plant cooling systems. *Azerbaijan Journal of Power Engineering*, 4, 25–33.
6. Kim, H., & Park, J. (2022). Optimization of cooling system parameters in gas engine applications. *Applied Energy*, 310, 118–560.
7. Kumar, P., & Kumar, S. (2021). Convective heat transfer enhancement in turbulent flow regimes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 180, 121–890.
8. Liu, Y., Wang, Z., & Huang, X. (2023). Thermal performance analysis of engine cooling systems using CFD methods. *Applied Thermal Engineering*, 220, 119–845.
9. Mammadov, N., Safarov, E., & Ibrahimov, T. (2022). Analysis of heat transfer efficiency in industrial cooling systems. *Proceedings of BHOS Conference*, 112–118.
10. Nguyen, T., & Lee, M. (2023). Dynamic modeling of cooling systems in internal combustion engines. *Journal of Energy Engineering*, 149, 040–230.
11. Patel, R., & Singh, K. (2023). Impact of flow rate on heat transfer coefficient in cooling circuits. *Case Studies in Thermal Engineering*, 44, 102–789.
12. Rossi, M., & Conti, F. (2023). Thermal-fluid analysis of multi-loop cooling systems. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 15, 041–012.