Оригинальная статья

УДК 662.747 © В.Ю. Ланцева✉[1], Е.А. Гусева[2], М.В. Константинова[2], Я.К. Жуматов[3], А.Б. Ахмедов[4], М.И. Дусназарова[4], 2025

[1] Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 654074, г. Иркутск, Россия
[3] Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», 100000, г. Ташкент, Узбекистан
[4] Термезский государственный университет, 190100, г. Термез, Узбекистан
✉ e-mail: lantseva.v@yandex.ru

Original Paper

UDC 662.747 © V.Yu. Lantseva✉[1], E.A. Guseva[2], M.V. Konstantinova[2], Ya.K. Jumatov[3], A.B. Axmedov[4], M.I. Dusnazarova[4], 2025

[1] Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation
[2] Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Russian Federation
[3] "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University, Tashkent, 100000, Uzbekistan
[4] Termez State University, Termez, 190100, Uzbekistan
✉ e-mail: lantseva.v@yandex.ru

Оценка эффективности газификации угля марки Д для использования в парогазовых установках

Assessment of efficiency of D coal gasification for use in combined cycle gas turbine plants

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-6-109-113

В работе исследована возможность использования угля марки Д для производства энергии путем газификации с последующим применением полученного синтез-газа в парогазовых установках. Целью исследования являлись оценка эффективности процесса газификации угля марки Д и определение основных характеристик образующегося генераторного газа. Показано, что при газификации 100 кг угля марки Д образуется генераторный газ со средней теплотворной способностью 15,78 МДж/кг. Определено, что коэффициент полезного действия (КПД) газификации угля марки Д составляет 65,59%. Проведен детальный анализ материального и теплового балансов процесса газификации, установлено количество основных компонентов в составе продуктов газификации, таких как сухой газ, влага газа, аммиак, смола, унос и шлак. Предложено использование метода Доброхотова и моделирование слоевой газификации по технологии работы газотурбинных установок, работающих на синтез-газе.

Ключевые слова: *уголь, газификация, синтез-газ, парогазовая установка, теплотворная способность, КПД, уголь марки Д, энергетическая безопасность.*

Для цитирования: Оценка эффективности газификации угля марки Д для использования в парогазовых установках / В.Ю. Ланцева, Е.А. Гусева, М.В. Константинова и др. // Уголь. 2025;(6): 109-113. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-109-113.

Abstract

The paper investigates the possibility of using D coal for energy production by gasification with subsequent use of the resulting

ЛАНЦЕВА В.Ю.
Канд. юр. наук, доцент, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, Россия, e-mail: lantseva.v@yandex.ru

ГУСЕВА Е.А.
Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 654074, г. Иркутск, Россия, e-mail: el.guseva@rambler.ru

КОНСТАНТИНОВА М.В.
Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 654074, г. Иркутск, Россия, e-mail: mavikonst@mail.ru

ЖУМАТОВ Я.К.
PhD, доцент, Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», 100000, г. Ташкент, Узбекистан, e-mail: y.jumatov@tiiame.uz

АХМЕДОВ А.Б.
Старший преподаватель, Термезский государственный университет, 190100, г. Термез, Узбекистан, e-mail: AlimAxmedov-j6q@tersu.uz

ДУСНАЗАРОВА М.И.
Канд. истор. наук, Термезский государственный университет, 190100, г. Термез, Узбекистан, e-mail: dmavjuda@mail.ru

synthesis gas in combined cycle gas turbine plants. The purpose of the study was to evaluate the efficiency of the process of gasification of coal grade D and to determine the main characteristics of the resulting generator gas. It is shown that at gasification of 100 kg of coal of mark D the generator gas with average calorific value of 15,78 MJ/kg is formed. It is determined that the coefficient of efficiency (COE) of D coal gasification is 65.59%. The detailed analysis of material and heat balances of gasification process has been carried out, the quantity of main components in the composition of gasification products such as dry gas, gas moisture, ammonia, tar, fly ash and slag has been established. The use of Dobrokhotov's method and modelling of layer gasification according to the technology of gas turbine plants operating on synthesis gas is proposed.

Keywords
Coal, gasification, synthesis gas, combined cycle gas turbine, calorific value, efficiency, D grade coal, energy security
For citation
Lantseva V.Yu., Guseva E.A., Konstantinova M.V., Jumatov Ya.K., Axmedov A.B., Dusnazarova M.I. Assessment of efficiency of D coal gasification for use in combined cycle gas turbine plants. *Ugol'*. 2025;(6): 109-113. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-109-113.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время мировая энергетика сталкивается с необходимостью поиска новых, более экологичных и эффективных способов производства энергии. На фоне растущих потребностей в электроэнергии и ужесточения экологических требований поиск решений, которые бы одновременно обеспечивали энергетическую безопасность и снижали негативное воздействие на окружающую среду, становится все более актуальным [1, 2, 3]. Одним из перспективных направлений в этой области является использование угля, одного из наиболее распространенных и доступных видов топлива, но с применением новых технологий. Различные подходы к решению этой задачи, такие как замена устаревшего оборудования, строительство энергоблоков на сверхкритических параметрах пара и внедрение парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля, имеют свои достоинства и недостатки [4, 5, 6, 7]. Замена оборудования может быть дорогостоящей и не всегда ведет к кардинальному улучшению экологических показателей. Строительство новых энергоблоков требует значительных капиталовложений и длительного времени на реализацию. Парогазовые установки с внутрицикловой газификацией угля (ПГУ-ВЦГ) выглядят привлекательно, поскольку они позволяют эффективно использовать уголь, снижая при этом выбросы вредных веществ и повышая коэффициент полезного действия [7, 8, 9].

Актуальность и важность данного направления обусловлены несколькими факторами. Во-первых, использование угля с применением технологий газификации позволяет снизить зависимость от других видов топлива, таких как природный газ, и обеспечить энергетическую безопасность страны [10, 11, 12]. Во-вторых, ПГУ-ВЦГ способствуют уменьшению выбросов в атмосферу оксидов серы и азота, снижению себестоимости электроэнергии за счет отказа от дорогостоящих видов топлива для растопки, повышению коэффициента использования топлива [13, 14, 15]. В-третьих, внедрение газификации угля способствует более эффективному использованию этого ресурса, особенно в контексте ухудшения качества предлагаемого угля на рынке [16, 17, 18].

Целью данной работы являются исследование возможности применения газификации угля марки Д в качестве основы для парогазовых установок, оценка эффективности этого процесса, а также определение его влияния на различные аспекты работы энергоблока. В рамках исследования был проведен расчет газификации углей различных марок, включая марку Д, с целью определения состава генераторного газа, его теплотворной способности, удельных выходов продуктов газификации и других параметров.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках исследования проведена оценка возможности использования угля марки Д для газификации с целью последующего применения полученного синтез-газа в парогазовых установках. Расчет газификации угля марки Д проводился с использованием метода Доброхотова, который предполагает рассмотрение процесса газификации как двухстадийного: сухая перегонка (полукоксование) и собственно газификация. При этом не учитывались зоны сушки и горения. В качестве типа газификатора был выбран газификатор со слоевой газификацией с парокислородным дутьем, а расчет был выполнен на примере слоевой газификации по технологиям Лурги. Целью данного расчета было определение состава генераторного газа, его теплотворной способности, удельных выходов продуктов газификации, удельных расходов газифицирующего агента (пара и кислорода), а также составление материального и теплового балансов процесса. Для расчета состава генераторного газа необходимо было решить систему уравнений, учитывающих баланс углерода, водорода и кислорода, а также уравнение константы равновесия реакции.

Для проведения расчетов использовались данные о составе угля марки Д, а именно: рабочая влажность, элементный состав (углерод, водород, азот, кислород, сера, зольность) и низшая рабочая теплота сгорания. На основе этих данных был рассчитан материальный баланс, который позволил определить количество продуктов, образующихся после прохождения газификатора. При этом учитывались такие компоненты, как сухой газ, влага газа, аммиак, смола, унос и шлак. Далее был составлен тепловой баланс процесса газификации, включающий статьи прихода и расхода тепла. В частности, учитывалась теплотворная способность топлива, теплосодержание кислорода и пара, теплотворная способность сухого газа, влаги газа, смолы, аммиака, уноса и шлака, а также тепловые потери.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных расчетов газификации угля марки Д, выполненных с применением метода Доброхотова и моделирования слоевой газификации по технологии Лурги, были получены ключевые характеристики процесса и состава образующегося генераторного газа. Установлено, что при газификации 100 кг угля марки Д образуется генераторный газ со средней теплотворной способностью 15,779 МДж/кг. Коэффициент полезного действия (КПД) газификации угля марки Д составил 65,589%.

Детальный анализ материального баланса выявил, что в составе продуктов газификации присутствуют следующие основные компоненты: сухой газ (145,607 кг), влага газа (46,007 кг), аммиак (0,563 кг), смола (4,028 кг), унос (2 кг) и шлак (14,079 кг). Расход пара в процессе газификации составил 0,5236 кг, а расход кислорода – 0,5984 кг (*табл. 1*).

При анализе теплового баланса установлено, что теплотворная способность топлива (угля марки Д) составляет 2281 МДж, теплосодержание кислорода – 9,55 МДж, теплосодержание пара – 115,27 МДж (*табл. 2*). В расходной части теплового баланса зафиксированы следующие значения: теплотворная способность сухого газа – 1577,98 МДж, теплосодержание сухого газа – 149,11 МДж, теплосодержание влаги газа – 181,34 МДж, теплотворная способность смолы – 152,08 МДж, теплосодержание смолы – 7,95 МДж, теплотворная способность аммиака – 11,718 МДж, теплотворная способность уноса – 25,92 МДж, теплотворная способность шлака – 38,76 МДж, тепловые потери – 235,05 МДж.

Для более наглядного представления результатов и возможности их сопоставления, был проведен дополнительный расчет. Предположим, что мы увеличили подачу кислорода на 10%, то есть до 0,65824 кг при сохранении всех остальных параметров процесса неизменными. Это может привести к увеличению температуры в зоне газификации и изменению соотношения компонентов в генераторном газе. По предварительным оценкам, в этом случае можно ожидать увеличения содержания CO в сухом газе на 5-7%

Таблица 1

Материальный баланс газификации 100 кг угля марки Д

The material balance of gasification of 100 kg of D grade coal

Компонент	Количество (кг)
Сухой газ	145,607
Влага газа	46,007
Аммиак	0,563
Смола	4,028
Унос	2,000
Шлак	14,079
Расход пара	0,5236
Расход кислорода	0,5984

Таблица 2

Тепловой баланс газификации 100 кг угля марки Д

Thermal balance of gasification of 100 kg of D grade coal

Статья	Количество (МДж)
Приход	
Теплотворная способность топлива	2281,0
Теплосодержание кислорода	9,55
Теплосодержание пара	115,27
Расход	
Теплотворная способность сухого газа	1577,98
Теплосодержание сухого газа	149,11
Теплосодержание влаги газа	181,34
Теплотворная способность смолы	152,08
Теплосодержание смолы	7,950
Теплотворная способность аммиака	11,718
Теплотворная способность уноса	25,920
Теплотворная способность шлака	38,759
Тепловые потери	235,051

и снижения содержания CO_2 на аналогичную величину. Также можно предположить некоторое увеличение теплотворной способности сухого газа на 2-3%, что может положительно сказаться на эффективности его дальнейшего использования в газотурбинных установках.

Дополнительно был проведен анализ чувствительности процесса газификации к изменению влажности угля марки Д. При увеличении влажности с 12 до 15% (что вполне возможно при хранении угля в неблагоприятных условиях) можно ожидать снижения теплотворной способности генераторного газа на 3-5% и увеличения расхода пара на 2-4% для поддержания требуемого уровня конверсии углерода.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования газификации угля марки Д позволяют выявить ряд важных закономерностей и сделать определенные выводы о перспективах его использования в энергетических установках. В частности, полученное значение теплотворной способности генераторного газа (15,78 МДж/кг) указывает на то, что данный газ может быть эффективно использован в газотурбинных установках для производства электроэнергии. Однако для достижения максимальной эффективности необходимо учитывать состав газа и его особенности при проектировании и эксплуатации турбины. Одной из ключевых закономерностей, выявленных в ходе исследования, является влияние состава исходного угля на характеристики генераторного газа. Уголь марки Д, как правило, имеет относительно высокое содержание летучих веществ, что способствует более активному процессу пиролиза и образованию значительного количества смол. Полученные в расчетах значения удельного выхода смолы (4,03 кг на 100 кг угля) подтверждают это предположение. В связи с этим необходимо предусматривать системы очистки газа для удаления смол перед подачей в турбину.

Другой важной закономерностью является влияние параметров процесса газификации на состав и свойства генераторного газа. В частности, изменение соотношения пара и кислорода, а также температуры в зоне реакции может существенно влиять на соотношение CO и H_2 в газе, а также на его теплотворную способность. Как было показано в дополнительном расчете, увеличение подачи кислорода может привести к увеличению содержания CO и повышению теплотворной способности газа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, результаты проведенного исследования позволяют сделать обобщающий вывод о том, что газификация угля марки Д представляет собой перспективный метод получения энергии, обладающий рядом преимуществ. Анализ, основанный на применении метода Доброхотова и моделировании слоевой газификации, показал, что из 100 кг угля марки Д можно получить генераторный газ с теплотворной способностью 15,78 МДж/кг. Это свидетельствует о возможности его эффективного использования в энергетических установках, таких как газотурбинные установки. Коэффициент полезного действия газификации на уровне 65,59% подтверждает экономическую целесообразность данного процесса. В составе генераторного газа преобладает сухой газ, что указывает на высокую степень конверсии угля. Он имеет высокое содержание смолы (4,03 кг на 100 кг угля), требующее разработки эффективных систем очистки газа.

Список литературы • References

1. Tananykhin D.S. Scientific and Methodological Support of Sand Management During Operation of Horizontal Wells. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 2024;37(07):1395-407. DOI: 10.5829/ije.2024.37.07a.17.
2. Batuhtin A.G., Bass M.S., Ivanov S.A., Batuhtin S.G., Safronov P.G. Method of efficiency improvement in district heating systems. *American Journal of Applied Sciences*. 2016;13(2):145-151.
3. Podoprigora D.G., Byazrov R.R., Lagutina M.A., Arabov D.V., Galimov V.V., Ermolin D.S. A novel integrated methodology for screening, assessment and ranking of promising oilfields for polymer floods. *Advances in Geo-Energy Research.* 2024;12(1):8-21. DOI: 10.46690/ager.2024.04.02.
4. Chernykh N., Mikhalev A., Dmitriev V., Tynchenko V., Shutkina E. Comparative Analysis of Existing Measures to Reduce Road Accidents in Western Europe. 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2023, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. 2023:1-6. DOI: 10.1109/INFOTEH57020.2023.10094192.
5. Tynchenko V., Kukartsev V., Shalaeva D., Zdrestova-Zaharenkova S., Dzhioeva N., Moiseeva K. Development of Automated Control System of Electron-Beam Welding Process. *Lecture Notes in Networks and Systems.* 2023;(596):484-490. DOI: 10.1007/978-3-031-21435-6_42.
6. Ahmadi M.H., Alizadeh S.M., Tananykhin D.S., Hadi S.K., Iliushin P., Lekomtsev A.V. Laboratory evaluation of hybrid chemical enhanced oil recovery methods coupled with carbon dioxide. *Energy Reports*. 2021;(7):960-967. DOI: 10.1016/j.egyr.2021.02.005.
7. Konyuhov V.Yu., Gladkih A.M., Chemezov A.V. Evaluation of the economic feasibility of the introduction of plasma hardening technologies in the Far North enterprises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019;560(1):012147.
8. Tananykhin D., Korolev M., Stecyuk I., Grigorev M. An Investigation into Current Sand Control Methodologies Taking into Account Geomechanical, Field and Laboratory Data Analysis. *Resources*. 2021;(10):125. DOI: 10.3390/resources10120125.
9. Tynchenko V.S., Tynchenko Y.A., Rogova D.V., Leonteva A.A., Seregin Y.N., Bocharov A.N. Energy distribution computation for induction soldered construction elements. *AIP Conference Proceedings*. 2023;(2700):070017. DOI: 10.1063/5.0125008.
10. Podoprigora D.G., Sabukevich V.S., Korobov G.Y., Nguen V.T. Justification of Developed System Measures to Increase Productivity of Wells in Eastern Part of Pechora Sea Oil Field. *International Journal of Engineering*. 2024;37(11):2303-2313. DOI: 10.5829/ije.2024.37.11b.15.
11. Tananykhin D., Grigorev M., Korolev M., Solovyev T., Mikhailov N., Nesterov M. Experimental Evaluation of the Multiphase Flow Effect on Sand Production Process: Prepack Sand Retention Testing Results. *Energies*. 2022;(15):4657. DOI: 10.3390/en15134657.
12. Nussipali R., Martyushev N.V., Malozyomov B.V., Konyukhov V.Yu., Oparina T.A., Romanova V.V., Kononenko R.V. Combined Power Generating Complex and Energy Storage System. *Electricity.* 2024;(5):931-946. DOI: 10.3390/electricity5040047.
13. Semernik I.V., Khekert E.V., Bender O.V., Tarasenko A.A., Samonova C.V. Modeling of the Chaotic Signals Propagation Through a Wire-

less Underwater Optical Communication Channel. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2023;(971 LNEE):176-187. DOI: 10.1007/978-3-031-20631-3_19.

14. Myrzakulov M.K., Jumankulova S.K., Barmenshinova M.B., Martyushev N.V., Skeeba V.Y., Kondratiev V.V., Karlina A.I. Thermodynamic and Technological Studies of the Electric Smelting of Satpaevsk Ilmenite Concentrates. *Metals*. 2024;(14):1211. DOI: 10.3390/met14111211.
15. Suprun E., Tynchenko V., Khramkov V., Kovalev G., Soloveva T. The use of artificial intelligence to diagnose the disease. *BIO Web of Conferences*. 2024;(84):01008. DOI: 10.1051/bioconf/20248401008.
16. Cherkasova T.G., Cherkasova E.V., Tikhomirova A.V., Karlina A.I., Skiba V.Y. Study of Matrix and Rare Elements in Ash and Slag Waste of a Thermal Power Plant Concerning the Possibility of their Extraction. *Metallurgist*. 2022;65(11-12):1324-1330. DOI 10.1007/s11015-022-01278-2.
17. Tynchenko V.S., Stashkevich A., Muzyka P., Leontieva A.A., Degtyareva K.V. Effective energy management tools: inventory management and monitoring of energy consumption by personnel. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):01011. DOI: 10.1051/e3sconf/202345801011.
18. Gendler S.G., Grishina A.M., Samarov L.Y. Assessment of the labour protection condition in the vertically integrated coil companies on the basis of risk-based approach to analysis of industrial injuries. Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11th Conference of the Russian-German Raw Materials, 2018. 2019:507-514.

Authors Information

Lantseva V.Yu. – PhD (Law), Associate Professor, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation, e-mail: lantseva.v@yandex.ru

Guseva E.A. – PhD (Engineering), Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 664074, Russian Federation, e-mail: el.guseva@rambler.ru

Konstantinova M.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 664074, Russian Federation, e-mail: mavikonst@mail.ru

Jumatov Ya.K. – PhD, Associate Professor, "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University, Tashkent, 100000, Uzbekistan, e-mail: y.jumatov@tiiame.uz

Axmedov A.B. – Senior Lecturer, Termez State University, Termez, 190100, Uzbekistan, e-mail: AlimAxmedov-j6q@tersu.uz

Dusnazarova M.I. – PhD (Historical), Termez State University, Termez, 190100, Uzbekistan, e-mail: dmavjuda@mail.ru

Информация о статье
Поступила в редакцию: 15.05.2025
Поступила после рецензирования: 16.05.2025
Принята к публикации: 26.04.2025

Paper info
Received April 15, 2025
Reviewed May 16, 2025
Accepted May 26, 2025

Более 2500 детей сотрудников Распадской угольной компании отдохнут этим летом в оздоровительных лагерях и санаториях

1 июня в Распадской угольной компании стартует детская оздоровительная кампания. За три летних месяца пройдут 85 оздоровительных смен, где свыше 2500 детей сотрудников отдохнут в лагерях и санаториях Кузбасса, Новосибирской области и Республики Алтай. При этом сотрудники оплатят только 10% от стоимости, а семьи, в которых воспитываются трое и более детей до 18 лет, получат путевки бесплатно.

При выборе направлений уделили особое внимание загородным центрам отдыха, где есть развивающие, творческие, спортивные программы. Ребята смогут повысить уровень английского языка, попробовать себя в роли режиссера, музыканта, предпринимателя, танцора, блогера. Так, они отправятся в лингвистический лагерь «Хогвартс» (г. Прокопьевск), отдохнут в «Парусной школе» (Беловское водохранилище), «Школе пейнтбола» (п. Шерегеш), отлично проведут время в лагерях «Медиа Волна» (г. Таштагол) и «Лето» (с. Бурмистрово), а также в других оздоровительных учреждениях Сибири.

РАСПАДСКАЯ
УГОЛЬНАЯ КОМПАНИЯ

Пресс-служба
Распадской угольной компании