

Ш.Т. Серикказинов^{1*}, О.А. Степанова¹, Е.А. Складорова²

¹Шәкәрім университет,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинка, 20 А

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, дом 30.

*e-mail: serikkazinov69@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЖИГАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА НА ТЭЦ-1 ГОРОДА СЕМЕЙ

Аннотация: В настоящем исследовании анализируется перевод парового котла Е-90-3,9/440 на сжигание природного газа на ТЭЦ-1 города Семей с целью повышения энергетической эффективности и минимизации воздействия на окружающую среду. Проведен анализ глобальных и государственных тенденций в сфере энергетике, подтверждающий важность отказа от традиционного угля в пользу более экологически чистых альтернатив. Доказано, что применение природного газа как основного источника энергии способствует существенному уменьшению вредных выбросов в атмосферу, включая двуокись углерода, окислы азота и серные соединения, а также увеличивает коэффициент полезного действия котельного оборудования.

В исследовании приведены расчетные сведения, полученные методом обратного теплового баланса, который позволил определить тепловые потери, тепловую мощность и КПД котла при разнообразных условиях расхода топлива. На основании математического анализа экспериментальных данных выявлены линейные зависимости между потреблением природного газа, теплопроизводительностью и коэффициент полезного действия котла. Обнаружено, что с ростом расхода газа отмечается равномерное увеличение тепловой мощности и коэффициент полезного действия, что свидетельствует о высокой эффективности и надежности работы котла при газификации. Полученные результаты подтверждают целесообразность перехода котельного оборудования на газообразное топливо, как с точки зрения энергетической эффективности, так и с точки зрения экологической безопасности.

Ключевые слова: газообразное топливо, коэффициент полезного действия, сжигание топлива, энергетическая эффективность, тепловые потери, энергетическая эффективность.

Введение

В 2023 году глобальное производство электроэнергии на угольных электростанциях достигло примерно 10 480 тераватт-часов, что является самым высоким показателем за последние 24 года [1], что составляет треть выработки мировой выработки электроэнергии [2]. Этот результат превысил уровень предыдущего года, составлявший 10 288 тераватт-часов. Мировым сообществом предприняты ряд программ для уменьшения зависимости мировой промышленности от угля. В частности, программа «Global Methane Pledge» (Глобальное Обязательство по метану), запущенная 2021, предполагает уменьшение глобальных выбросов метана на 30 % к 2030 году [3]. Президент Республики Казахстан поддержал данную инициативу и присоединился к Глобальному обязательству по метану 2 декабря 2023 года [4]. На данный момент Азиатский банк развития (АБР) подписал Меморандум о взаимопонимании (МОВ) с Министерством энергетики Казахстана для поддержки скорейшего вывода из эксплуатации или повторного использования угольных электростанций [5]. Программа направлена на переход к возобновляемым источникам энергии и газовой генерации в качестве более чистой альтернативы.

Переход на сжигание газообразного топлива обоснован ввиду экономических и экологических причин. Эффективность угольных электростанций варьируется в пределах 33 %, в то время как электростанции использующие в качестве топлива газообразное топлива имеют эффективность до 43% [6]. Теплосодержание натурального газа 1037 БТЕ (38 МДж/м³) [7], в то время как бурый уголь имеет теплотворную способность до 6500 БТЕ (15 МДж/кг) [8]. По данным Управления энергетической информации США (EIA), выбросы CO₂ на миллион британских тепловых единиц (БТЕ) для различных видов угля составляют: антрацитовый уголь: 228,6 фунтов CO₂ на миллион БТЕ, каменный уголь: 205,7 фунтов CO₂ на миллион БТЕ,

бурый уголь: 215,4 фунтов CO₂ на миллион БТЕ [9]. Агентство по охране окружающей среды США (EPA) предоставляет следующий коэффициент выбросов для природного газа - около 117 фунтов CO₂ на миллион БТЕ [10]. Более того, касательно эффективности современные электростанции комбинированного цикла, работающие на природном газе (NGCC), могут достигать теплового КПД более 60% [11].

В Казахстане функционируют 190 электростанций, из которых 69 % используют уголь в качестве основного топлива. Обслуживание и эксплуатация котельного оборудования при угольном топливе являются сложными процессами, сопровождающимися рядом трудностей [13, 14].

Согласно источникам [12], степень износа оборудования на отдельных теплостанциях достигает 56 % на 2024 год. Это увеличивает риск аварий и снижает общую эффективность работы энергосистемы. Перевод котла, таких как Е-90-3,9/440, на газообразное топливо является логичным шагом в направлении модернизации теплоэнергетического сектора страны. Данный переход позволит повысить надежность работы котлов, продлить срок службы оборудования, уменьшить эксплуатационные расходы и снизить затраты на ремонт.

Таким образом, модернизация угольных котлов путем перехода на газообразное топливо является наиболее рациональным решением. Это обеспечит повышение энергоэффективности, снижение выбросов загрязняющих веществ, соответствие международным экологическим стандартам и устойчивое развитие энергетики Казахстана.

Постановка задачи

В качестве объекта исследования рассматривался природный газ.

Цель работы – исследовать процессы сжигания природного газа на ТЭЦ-1 города Семей с целью повышения эффективности работы котла Е-90-3,9/440.

Метод исследования – экспериментально-теоретический.

Элементарный состав природного газа представлен в рисунке 1.

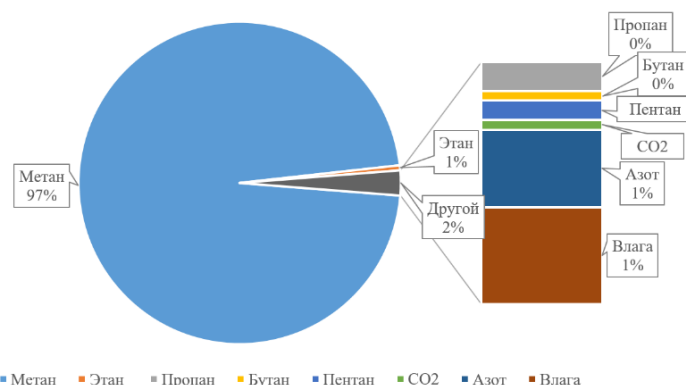


Рисунок 1 – Элементарный состав природного газа

Результаты исследований

В процессе эксплуатации котельного агрегата невозможно избежать различных тепловых потерь. Для оценки их влияния на эффективность работы требуется расчет коэффициента полезного действия, который отражает долю тепла, реально использованного для производства пара по отношению к общему теплу, выделенному при сгорании топлива. При работе котла на природном газе тепловые потери неизбежны, но меньше по сравнению со сжиганием твердого топлива, за счет более полного сгорания, а также меньшего количества механических и химических потерь.

Для расчета коэффициента полезного действия на природном газе применяется метод обратного теплового баланса. В этом случае коэффициент полезного действия $\eta_{\text{бр}}$, %, рассчитывается по следующей формуле:

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = 100 - \sum q_{\text{пот}} \quad (1)$$

где $\sum q_{\text{пот}}$ – сумма потерь котельного агрегата, состоящая из потерь с теплом уходящих газов.

На рисунке 2 показаны зависимости КПД брутто и теплопроизводительности котла в зависимости от расхода топлива.

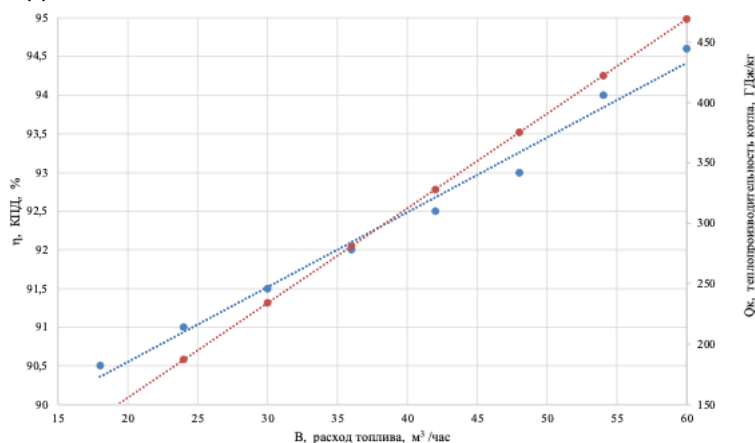


Рисунок 2 – КПД брутто и теплопроизводительность котла в зависимости от расхода топлива

В результате математической обработки были получены следующие уравнения:

– изменение теплопроизводительности котла Q_k , ГДж/кг, в зависимости от расхода топлива V , м³/час

$$Q_k = 7,8333V - 1 \quad (2)$$

– изменение коэффициента полезного действия η , %, в зависимости от расхода топлива V , м³/час

$$\eta_{бр.т.} = 0,9V + 88 \quad (3)$$

где V – расход топлива, м³/час.

Из анализа математической обработки данных следует, что с увеличением расхода топлива, происходит равномерное увеличение, как КПД брутто, так и теплопроизводительности котла. Экстраполяция данных дала предположение о возможной максимальной теплопроизводительности котла, которая составила 460 ГДж/ч при оптимальных параметрах КПД и расхода топлива.

Выводы

1. Уравнение (2) показывает линейную зависимость теплопроизводительности котла от расхода топлива. С увеличением расхода газа наблюдается пропорциональный рост выработки тепловой энергии.

2. Уравнение (3) отражает рост коэффициента полезного действия при увеличении расхода топлива. Данная зависимость обусловлена повышением полноты сгорания топлива, улучшением теплообмена, а также снижением удельных тепловых потерь при увеличении нагрузки котла. При данном значении КПД приближается к оптимальному параметру, характерному для природного газа, что подтверждает высокую эффективность его использования по сравнению с твердым топливом.

3. Полученные зависимости позволяют сделать вывод, что перевод котла Е-90-3,9/440 на природный газ способствует повышению его энергетической эффективности, а также обеспечивает более устойчивый и экономичный режим работы.

Список литературы

1. Statista. Global coal-fired electricity generation from 2000 to 2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/1082201/coal-fired-electricity-generation-globally/> (дата обращения: 26.03.2025).
2. Международное энергетическое агентство (IEA). Coal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/coal>, свободный. – (Дата обращения: 26.03.2025).
3. Global Methane Pledge. Official website [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.globalmethanepledge.org/> (дата обращения: 26.03.2025).

4. The Astana Times. Kazakhstan, US forge alliance, pledge swift action to cut methane emissions at COP28 [Электронный ресурс]. – URL: <https://astanatimes.com/2023/12/kazakhstan-us-forge-alliance-pledge-swift-action-to-cut-methane-emissions-at-cop28/> (дата обращения: 26.03.2025).
5. Kursiv Media. ENGK, TANK, ADB to help Kazakhstan close its coal power plants producing 70% of electricity in the country [Электронный ресурс]. – URL: <https://kz.kursiv.media/en/2024-11-14/engk-tank-adb-to-help-kazakhstan-close-its-coal-power-plants-producing-70-of-electricity-in-the-country/> (дата обращения: 26.03.2025).
6. PCI Energy Solutions. Power Plant Efficiency: Coal, Natural Gas, Nuclear, and More [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pcienergysolutions.com/2023/04/17/power-plant-efficiency-coal-natural-gas-nuclear-and-more/>, свободный. – (Дата обращения: 27.03.2025).
7. MET Group. Natural Gas vs. Coal: What's the Difference? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://group.met.com/en/mind-the-fyouture/mindthefyouture/natural-gas-vs-coal>, свободный. – (Дата обращения: 27.03.2025).
8. United States Environmental Protection Agency. 1.7 Lignite Combustion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/final/c01s07.pdf>, свободный. – (Дата обращения: 27.03.2025).
9. U.S. Energy Information Administration. "How much carbon dioxide is produced when different fuels are burned?" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=73&t=11>, свободный. – (Дата обращения: 27.03.2025).
10. U.S. Environmental Protection Agency. "Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/emission-factors_2014.pdf, свободный. – (Дата обращения: 27.03.2025).
11. Energy Education. Natural gas power plant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_power_plant, свободный. – (Дата обращения: 27.03.2025).
12. Министерство энергетики Республики Казахстан. Теплоэнергетический сектор в Республике Казахстан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/press/news/details/686608?lang=ru>, свободный. – (Дата обращения: 27.03.2025).
13. Тютеебаева Г.М. Улучшение экологии г. Алматы при использовании ГТУ / Г.М. Тютеебаева, А.Н. Алдиярова // Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series. – 2019. – Т. 127, № 2.
14. Khassenov A.K. Перспектива перевода алматинских электростанций на природный газ / A.K. Khassenov // Engineering Journal of Satbayev University. – 2021. – Т. 143, № 6. – С. 107-122.

References

1. Statista. Global coal-fired electricity generation from 2000 to 2023 [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/1082201/coal-fired-electricity-generation-globally/> (data obrashcheniya: 26.03.2025). (In English).
2. Mezhdunarodnoe energeticheskoe agentstvo (IEA). Coal [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/coal>, svobodnyj. – (Data obrashcheniya: 26.03.2025). (In Russian).
3. Global Methane Pledge. Official website [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.globalmethanepledge.org/> (data obrashcheniya: 26.03.2025). (In English).
4. The Astana Times. Kazakhstan, US forge alliance, pledge swift action to cut methane emissions at COP28 [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://astanatimes.com/2023/12/kazakhstan-us-forge-alliance-pledge-swift-action-to-cut-methane-emissions-at-cop28/> (data obrashcheniya: 26.03.2025). (In English).
5. Kursiv Media. ENGK, TANK, ADB to help Kazakhstan close its coal power plants producing 70% of electricity in the country [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://kz.kursiv.media/en/2024-11-14/engk-tank-adb-to-help-kazakhstan-close-its-coal-power-plants-producing-70-of-electricity-in-the-country/> (data obrashcheniya: 26.03.2025). (In English).
6. PCI Energy Solutions. Power Plant Efficiency: Coal, Natural Gas, Nuclear, and More [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.pcienergysolutions.com/2023/04/17/power-plant-efficiency-coal-natural-gas-nuclear-and-more/>, svobodnyj. – (Data obrashcheniya: 27.03.2025). (In English).

7. MET Group. Natural Gas vs. Coal: What's the Difference? [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://group.met.com/en/mind-the-fyouture/mindthefyouture/natural-gas-vs-coal>, svobodnyj. – (Data obrashcheniya: 27.03.2025). (In English).
8. United States Environmental Protection Agency. 1.7 Lignite Combustion [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/final/c01s07.pdf>, svobodnyj. – (Data obrashcheniya: 27.03.2025). (In English).
9. U.S. Energy Information Administration. "How much carbon dioxide is produced when different fuels are burned?" [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=73&t=11>, svobodnyj. – (Data obrashcheniya: 27.03.2025). (In English).
10. U.S. Environmental Protection Agency. "Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories" [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/emission-factors_2014.pdf, svobodnyj. – (Data obrashcheniya: 27.03.2025). (In English).
11. Energy Education. Natural gas power plant [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_power_plant, svobodnyj. – (Data obrashcheniya: 27.03.2025). (In English).
12. Ministerstvo energetiki Respubliki Kazakhstan. Teploenergeticheskij sektor v Respublike Kazakhstan [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/press/news/details/686608?lang=ru>, svobodnyj. – (Data obrashcheniya: 27.03.2025). (In Russian).
13. Tyutebaeva G. M., Aldiyarova A. N. Uluchshenie ekologii g. Almaty pri ispol'zovanii GTU //Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series. – 2019. – T. 127. – №. 2. (In Russian).
14. Khassenov A. K. Perspektiva perevoda almatinskih elektrostancij na prirodnyj gaz //Engineering Journal of Satbayev University. – 2021. – T. 143. – №. 6. – S. 107-122. (In Russian).

Ш.Т. Серикказинов^{1*}, О.А. Степанова¹, Е.А. Склорова²

¹Шәкәрім университеті,

071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

² ФМАББМ ЖБ «Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті»,
634050, Ресей, Томск, Ленин даңғылы, 30 үй.

*e-mail: serikkazinov69@gmail.com

СЕМЕЙ ҚАЛАСЫНЫҢ ЖЭО-1 НЫСАНЫНДА ГАЗ ТҮРІНДЕГІ ОТЫНДЫ ЖАҒУ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бұл зерттеуде Семей қаласының ЖЭО-1 станциясындағы Е-90-3,9/440 бу қазандығын табиғи газ жағуға көшіру мәселесі қарастырылып, оның энергетикалық тиімділігін арттыру мен қоршаған ортаға әсерін азайту мақсат етіп қойылған. Энергетика саласындағы жаһандық және мемлекеттік үрдістерге талдау жүргізіліп, дәстүрлі көмір отынынан экологиялық жағынан таза балама көздерге көшу қажеттілігі дәлелденді. Табиғи газды негізгі энергия көзі ретінде қолдану атмосфераға тарайтын зиянды заттардың, соның ішінде көмірқышқыл газы, азот оксидтері мен күкірт қосындыларының едәуір төмендеуіне және қазандық жабдығының пайдалы әсер коэффициентінің (ПӘК) артуына ықпал ететіні көрсетілді.

Зерттеу барысында кері жылу балансының әдісімен есептелген деректер ұсынылған, бұл әдіс арқылы қазандықтың жылу шығындары, жылу қуаты және әртүрлі отын шығыны жағдайындағы ПӘК анықталды. Эксперименттік мәліметтерді математикалық өңдеу негізінде табиғи газ шығыны, жылу өндіру қуаты және ПӘК арасындағы сызықтық тәуелділіктер анықталды. Газ шығынының артуымен қазандықтың жылу қуаты мен ПӘК-нің біркелкі өсетіні байқалды, бұл газ отынында қазандықтың тиімді әрі сенімді жұмыс істейтінін көрсетеді. Алынған нәтижелер қазандық жабдықтарын газ тәрізді отынға көшірудің энергетикалық тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздігі тұрғысынан орынды екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: *аз тәрізді отын, пайдалы әсер коэффициенті, отынды жағу, энергетикалық тиімділік, жылу шығындары, экологиялық қауіпсіздік.*

Sh.T.Serikkazinov^{1*}, O.A. Stepanova¹, E.A. Sklyarova²
¹Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20A
²FSAEI HE «National Research Tomsk Polytechnic University»,
634050, Russia, Tomsk, 30 Lenin Avenue.
*e-mail: serikkazinov69@gmail.com

STUDY OF GASEOUS FUEL COMBUSTION PROCESSES AT CHP-1 IN SEMEY CITY

This study analyzes the transition of the E-90-3.9/440 steam boiler at CHP-1 in Semey city to natural gas combustion in order to improve energy efficiency and minimize environmental impact. A review of global and national energy trends confirms the importance of moving away from traditional coal in favor of cleaner alternatives. It has been proven that the use of natural gas as a primary energy source significantly reduces harmful emissions into the atmosphere, including carbon dioxide, nitrogen oxides, and sulfur compounds, while also increasing the boiler equipment's thermal efficiency.

The study presents calculation data obtained using the reverse heat balance method, which allowed for determining heat losses, thermal output, and the boiler's efficiency under various fuel consumption conditions. Based on the mathematical analysis of experimental data, linear relationships were identified between natural gas consumption, heat output, and boiler efficiency. It was found that with an increase in gas flow, there is a steady rise in thermal power and efficiency, indicating high performance and reliability of the boiler when operating on gaseous fuel. The obtained results confirm the feasibility of switching boiler equipment to natural gas in terms of both energy efficiency and environmental safety.

Key words: gaseous fuel, thermal efficiency, fuel combustion, energy efficiency, heat loss, environmental safety.

Сведения об авторах

Шынғысхан Талгатович Серикказинов* – магистрант образовательной программы 7M07101-«Теплоэнергетика» кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: serikkazinov69@gmail.com.

Ольга Александровна Степанова – кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой «Техническая физика и теплоэнергетика»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: o.stepanova@shakarim.kz. ORCID: 0000-0001-5221-1772.

Елена Александровна Склярова – кандидат педагогических наук, доцент отделения экспериментальной физики; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия; e-mail: skea@tpu.ru. ORCID: 0000-0003-4401-356X.

Авторлар туралы мәліметтер

Шынғысхан Талгатович Серикказинов* – «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының 7M07101 «Жылу энергетикасы» білім беру бағдарламасының магистранты; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: serikkazinov69@gmail.com.

Ольга Александровна Степанова – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының меңгерушісі; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: o.stepanova@shakarim.kz. ORCID: 0000-0001-5221-1772.

Елена Александровна Склярова – педагогика ғылымдарының кандидаты, эксперименттік физика кафедрасының доценті; ФМАББМ ЖБ «Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті», Ресей; e-mail: skea@tpu.ru. ORCID: 0000-0003-4401-356X.

Information about the authors

Shyngyskhan Talgatovich Serikkazinov* – Master's student of the educational programme 7M07101 «Heat Power Engineering» of the Department «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: serikkazinov69@gmail.com.

Olga Aleksandrovna Stepanova – Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of Department «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: o.stepanova@shakarim.kz. ORCID: 0000-0001-5221-1772.

Elena Aleksandrovna Sklyarova – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Experimental Physics; National Research Tomsk Polytechnic University, Russia; e-mail: skea@tpu.ru. ORCID: 0000-0003-4401-356X.

*Поступила в редакцию 20.05.2025
Поступила после доработки 02.06.2025
Принята к публикации 03.06.2025*