

На правах рукописи



Оршуу Чимэд

**РАЗРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ
НА ОСНОВЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОЙ МЕТОДОЛОГИИ**

Специальность 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их
энергетические системы и агрегаты

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Новосибирск – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ноздренко Геннадий Васильевич

доктор технических наук, профессор
Щинников Павел Александрович

Официальные оппоненты: **Огуречников Лев Александрович**
доктор технических наук, старший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе» Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория процессов переноса, ведущий научный сотрудник

Ларин Евгений Александрович
кандидат технических наук, доцент
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., профессор кафедры "Тепловая и атомная энергетика"

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск

Защита диссертации состоится «22» сентября 2017 г. в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212. 173. 02 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирском государственном техническом университете» по адресу: 630073, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирском государственном техническом университете» и на сайте www.nstu.ru.

Автореферат разослан « ____ » июля 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



А.В. Чичиндаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одним из путей повышения эффективности топливоиспользования на ТЭЦ является обеспечение их в системах управления технологическими процессами современными методами и алгоритмами эксергетического анализа режимов работы.

В настоящее время наиболее распространенным видом топлива, обеспечивающим энергетические потребности хозяйственной деятельности Монголии, является уголь. Разведанные запасы угля в стране составляют свыше 17 млрд. т. они сосредоточены примерно в 150 угольных месторождениях.

На сегодняшний день в стадии строительства находятся несколько тепловых электростанций (ТЭС) небольшой мощности (от 18 до 60 МВт) в южном и западном районах страны. Планируется сооружение ТЭС вблизи Баганурского (около 270 МВт) и Тавантолгойского (около 400 МВт) угольных разрезах, а также ТЭЦ № 5 (первая очередь 450 МВт, вторая – 350 МВт, проектная мощность 800 МВт) в г. Улан – Баторе. Дальнейшее развитие энергетической отрасли Монголии предусматривает строительство угольной ТЭС большой мощности (на уровне 3600 – 4800 МВт) в южном районе.

В диссертации разработаны методические подходы, алгоритмы, оценки системной эффективности ТЭЦ, которые могут быть использованы для анализа работы Улан – Баторской ТЭЦ – 4.

Традиционные методики анализа режимов работы ТЭЦ строятся на базе «физического метода», который не позволяет термодинамически корректно оценить эффективность режимов работы и КПД котельного, турбинного отделений ТЭЦ и в целом ТЭЦ по отпуску тепло- и электроэнергии, что не даёт в полной мере использовать новые технические возможности оборудования.

По «физическому» методу КПД энергоблока по отпуску теплоэнергии оценивается произведением КПД котла и транспорта, что практически не изменяет эффективность отпуска теплоэнергии ТЭЦ на различных режимах.

Таким образом, актуальна разработка эксергетических положений и методики, позволяющей расширить анализ и получить дополнительные термодинамически строгие показатели работы ТЭЦ на различных режимах.

Цель работы: разработка методического подхода, математической модели, метода расчета для технико-экономического анализа параметров энергоблоков и их подсистем, определения условий функционирования, распределения топлива, энергии и затрат между энергопродуктами при их комплексном производстве энергоблоком, оценки технического уровня энергооборудования по показателям эксергетической эффективности, определения наивыгоднейших режимов эксплуатации энергооборудования.

Задачи исследования:

1. В развитие эксергетической методологии с использованием дифференциально-эксергетического подхода предложить основные положения эксергетического расчёта и анализа показателей работы ТЭЦ на разных режимах и с различным составом энергоблоков.

2. Изложить практические методики определения показателей эксергетической эффективности, эксергетических характеристик ТЭЦ, дифференциально-эксергетического распределения топливных затрат между энергопродуктами (электроэнергией и теплоэнергией) при их комплексном производстве на ТЭЦ.

3. Выполнить дифференциально-эксергетические расчёты и анализ показателей работы ТЭЦ на разных режимах с энергоблоками 80...250 МВт, в том числе работы Улан – Баторской ТЭЦ – 4 (УБ ТЭЦ – 4).

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые получены и разработаны: методический подход и метод определения технико-экономических показателей эффективности ТЭЦ, который позволяет термодинамически корректно определять эффективность режимов работы ТЭЦ, так как использует эксергетическую функцию; предложен показатель технико-экономической эффективности на основе применения дифференциально-эксергетического метода.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод расчета и исследования технико-экономических показателей и эффективности ТЭЦ при производстве тепло-, электроэнергии, которые позволяют определить эксергетические КПД агрегатов, отдельных процессов и ТЭЦ в целом, эксергетические характеристики взаимосвязей между агрегатами, влияние расходно-термодинамических и режимных параметров на эксергетические КПД.

2. Комплексный эксергетический анализ энергоблоков ТЭЦ с применением вероятностной оптимизации их функционирования в реальных условиях.

3. Результаты расчетов эксергетической и технико-экономической эффективности УБ ТЭЦ – 4 по отпуску электроэнергии и теплоэксергии, которые могут служить основой для разработки технических условий перевооружения, организации и управления эксплуатацией ТЭЦ, определения путей экономии топлива.

Методы исследования: методология системных исследований в энергетике, математическое и компьютерное моделирование ТЭЦ, методы комплексного эксергетического анализа.

Практическая значимость работы: разработанная методика, методический подход, математическая модель, алгоритмы, программы расчета и разработанные рекомендации позволяют получать необходимую информацию для анализа работы действующих энергоблоков ТЭЦ и принятия решений по повышению их эффективности.

Личный вклад автора: все разработки и результаты исследований, изложенные в основном тексте диссертации без ссылок на другие источники, получены автором.

Апробация работы: результаты работы докладывались на всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации» (НГТУ, г. Новосибирск в 2014 г. и 2015 г.), десятой международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «ЭНЕРГИЯ–2015» (ИГЭУ, г. Иваново, 2015 г.), монгольской научно-технической конференции

молодых учёных «Хүрэл тогоот – 2014», «Хүрэл тогоот – 2015» (МГУТиН, Монголия в 2014 г. и 2015 г.), международных конференциях «Proceedings of the Third International Forum on Strategic Technology IFOST – 2014» Bangladesh, 2014; IFOST – 2015 Bali, Indonesia 2015; IFOST – 2016 г. Новосибирск, 2016 г.

Публикации: по материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 2 научные статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, 1 – в сборниках научных трудов, 8 – в сборниках трудов всероссийских и международных конференций, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы: диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 88 наименований и трёх приложений. Общий объем работы составляет 88 страниц и содержит 19 рисунков и 9 таблиц.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертационной работы обосновывается использованием известных законов термодинамики и апробированных методов энергетического и эксергетического анализа. Сформулированные в диссертации рекомендации получены с использованием фактических режимных и параметрических характеристик энергетического оборудования УБ ТЭЦ – 4.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели исследования, определена научная новизна и практическая ценность работы, аннотируются основные положения работы.

В **первой главе** проведен обзор энергетического хозяйства Монголии и показано, что пылеугольные ТЭЦ являются фактором энергобезопасности страны, изложены основополагающие принципы методологии эксергетического исследования, которая является развитием подобных работ, проводимых А.И. Андрющенко, Д.П. Гохштейна, В.М. Бродянского, Я. Шаргута, Г. Баера,

М. Трайбуса, Р. Эванса, Е.Я. Соколова, Ю.М. Хлебалина, А.И. Попова, З. Ранда, Н. Эльснера.

Вместе с тем разработанные методики не учитывают дифференциально-эксергетического подхода при расчёте и анализе показателей работы ТЭЦ.

Сформулированы цели и задачи исследования.

Во **второй главе** разработаны основы методических подходов к расчёту и анализу ТЭЦ, которые являются расширением эксергетической методологии путём учёта и формирования показателей эксергетической эффективности, эксергетических характеристик в целом ТЭЦ, распределения топливных затрат между энергопродуктами (теплоэксергией и электроэнергией) при их комплексном производстве на ТЭЦ.

Основные методические положения предлагаемого подхода к расчёту и анализу ТЭЦ – следующие:

Во-первых, это – условное разбиение энергоблока ТЭЦ на несколько функционирующих частей (подсистем), и представление в виде эксергетической структурной схемы. Во-вторых – математическое моделирование работы ТЭЦ и использование этой модели в многовариантных расчетах. В-третьих – определение и анализ эксергетических показателей работы ТЭЦ.

Эксергетическая эффективность функционирующей подсистемы определяется как:

$$\eta_i = \frac{E_i^y}{E_i^x}, \quad i \in I_2, \quad (1)$$

где $I_2 \in I$ – множество функционирующих подсистем энергоблока; множество I включает кроме этого множество источников топлива I_1 и энергопотребителей I_3 ;

$E_i^x = \sum_{k \in V(i)} E_{ki}^x$ – подводимая эксергия; E_{ki}^x – эксергия, подводимая к подсистеме с

k -ым энергоносителем по k -му каналу связи; $V(i)$ – множество входов;

$E_i^y = \sum_{j \in W(i)} E_{ij}^y$ – эксергетическая производительность подсистемы; E_{ij}^y – эксергия,

отводимая с j -ым энергоносителем по j -му каналу связи; $W(i)$ – множество выходов.

Из решения уравнений получаем технико-экономическую эксерго-эффективность ТЭЦ:

$$\theta_{\text{ТЭЦ}} = \frac{\sum(\text{Ц}_N N + \text{Ц}_E E_T)}{0,123 \cdot \sum \text{Ц}_B \cdot 10^{-3} \left(\frac{N}{\eta_{4N}} + \frac{E_T}{\eta_{6T}} \right)} > 1, \quad (2)$$

где Ц_B , Ц_N , Ц_E – цена условного топлива, руб./т у.т., цена (для ТЭЦ) отпускаемых электроэнергии (N) и теплоэнергии (E_T), руб./(кВт.ч).

При этом технико-экономическая эксергоэффективность энергоблока по отпуску электроэнергии и теплоэнергии:

$$\theta_N = \frac{\text{Ц}_N \cdot N}{0,123 \cdot \text{Ц}_B \cdot 10^{-3} \frac{N}{\eta_{4N}}} > 1; \quad (3)$$

$$\theta_E = \frac{\text{Ц}_E \cdot E_T}{0,123 \cdot \text{Ц}_B \cdot 10^{-3} \frac{E_T}{\eta_{6T}}} > 1. \quad (4)$$

Технико-экономическая эксергоэффективность энергоблока в целом:

$$\theta_i = \frac{(\text{Ц}_N N + \text{Ц}_E E_T)}{0,123 \cdot \text{Ц}_B \cdot 10^{-3} \left(\frac{N}{\eta_{4N}} + \frac{E_T}{\eta_{6T}} \right)} > 1. \quad (5)$$

Соотношение $\text{Ц}_E / \text{Ц}_N$ для энергоблока может быть оценено на основе дифференциального эксергетического подхода с использованием функции Лагранжа:

$$\text{Ц}_E / \text{Ц}_N \approx \lambda_6 / \lambda_4. \quad (6)$$

здесь λ_6 и λ_4 множители Лагранжа, характеризующие себестоимость отпускаемой энергоблоком теплоэнергии и электроэнергии соответственно.

В **третьей главе** показано, что для рассматриваемого энергоблока ТЭЦ (или эквивалентного энергоблока – для ТЭЦ с поперечными связями) при номинальных электрической и тепловой мощности задаются: электрическая

мощность N_r на r -ом режиме работы в соответствии с электрическим графиком нагрузки; температура окружающего воздуха, для которой (при качественном регулировании отпуска тепла) рассчитывается температурный и тепловой графики нагрузки при заданном коэффициенте теплофикации и определяется отпуск теплоты Q_{Tr} , температуры прямой и обратной сетевой воды, давление пара в Т – отборе на r -ом режиме.

Для известных (независимых) параметров $x_i \in X$ (i характеризует принадлежность параметра к какой-либо подсистеме энергоблока): начальных и конечных параметров пара, параметров промперегрева, питательной воды, П и Т – отборов, коэффициента теплофикации рассчитывается тепловая схема энергоблока ТЭЦ. Функционально зависимые параметры – $y_i \in Y$. К этим параметрам, в частности, относятся расходы рабочих сред, температурные напоры, передаваемые тепловые потоки, всевозможные коэффициенты и т. д. Многомерное вещественное пространство R^n включает множество независимых X и зависимых Y параметров. Условия протекания процессов в энергоблоке и физико-технические ограничения представлены в виде равенств и неравенств:

$$\begin{aligned} H(X, Y) &= 0, \\ F(X, Y) &\geq 0, \\ X^* &\leq X \leq X^{**}, \end{aligned} \tag{7}$$

где X^* , X^{**} – векторы наименьших и наибольших значений, H , F – вектор-функции ограничений в форме равенств (уравнения энергетического и расходного балансов и др.) и в форме неравенств.

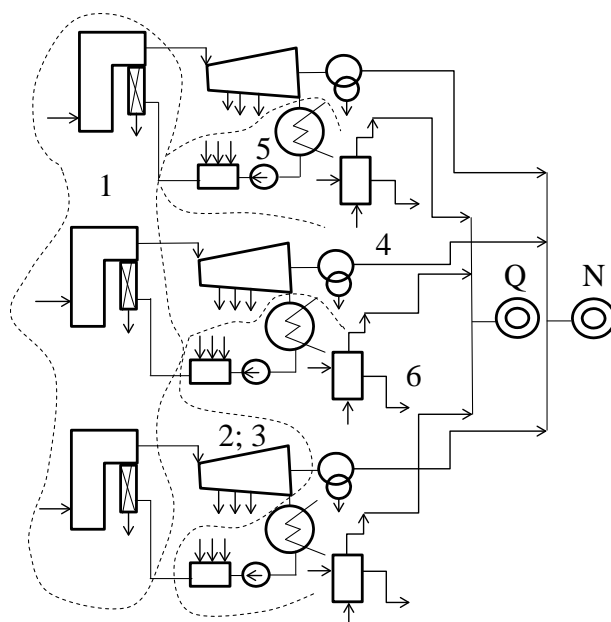


Рисунок 1 – Принципиальная схема ТЭЦ:

1 – парогенераторная подсистема; 2, 3 – турбогенераторная подсистема; 4 – электротехническая подсистема, 5 – подсистема регенерации и технического водоснабжения, 6 – подсистема отпуска теплоэнергии (сетевая установка); Q , N – тепло- и электроэнергия.

Энергоблок (или эквивалентный энергоблок) ТЭЦ представляется шестью подсистемами. Первая функционирующая подсистема (с эффективностью η_1 и эксергетической производительностью E_1) включает в себя парогенератор со всеми вспомогательными энергетическими системами – топлиподачи и топливподготовки, очистки дымовых газов, и пр. Вторая подсистема (с эффективностью η_2 и эксергетической производительностью E_2) состоит из ЧВД паровой турбины. Третья (с эффективностью η_3 и эксергетической производительностью E_3) – из ЧСНД турбины. Четвертая (с эффективностью η_4 и эксергетической производительностью E_4) объединяет электрическое оборудование. Пятая (с эффективностью η_5 и эксергетической производительностью E_5) представляет собой системы технического водоснабжения и регенерации питательной воды. Шестая (с эффективностью η_6 и эксергетической производительностью E_6) включает оборудование (сетевую установку) по отпуску теплоэнергии потребителю.

Эксергетические производительности и КПД подсистем:

$$E_1 = E_{12} + E_{13}; \quad \eta_1 = (E_{12} + E_{13}) / (E_0 + E_{21} + E_{41} + E_{51}); \quad (8)$$

$$E_2 = E_{21} + E_{23} + E_{24} + E_{25}; \quad \eta_2 = (E_{21} + E_{23} + E_{24} + E_{25}) / E_{12}; \quad (9)$$

$$E_3 = E_{34} + E_{35} + E_{36}; \quad \eta_3 = (E_{34} + E_{35} + E_{36}) / E_{23}; \quad (10)$$

$$E_4 = E_{41} + E_{45} + E_{46} + N; \quad \eta_4 = (E_{41} + E_{45} + E_{46} + N) / (E_{24} + E_{34}); \quad (11)$$

$$E_5 = E_{51}; \quad \eta_5 = E_{51} / (E_{25} + E_{35} + E_{45} + E_{65}); \quad (12)$$

$$E_6 = E_T + E_{65}; \quad \eta_6 = (E_T + E_{65}) / (E_{36} + E_{46}). \quad (13)$$

Эксергетические КПД энергоблока по отпуску электроэнергии и теплоэксергии (с технологическим паром и сетевой водой) оцениваются по выражениям:

$$\eta_{4N} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \varepsilon_S \varepsilon_N; \quad (14)$$

$$\eta_{6T} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_6 \varepsilon_S \varepsilon_N; \quad (15)$$

где ε_S , ε_N – структурный коэффициент эксергетических связей, учитывающий взаимосвязи между подсистемами энергоблока; эксергетический коэффициент внутрициклового возврата потерь теплоты в турбоагрегате.

Для ТЭЦ в целом оценивается эксергетическая эффективность котельной и турбинной подсистем:

$$\eta_1^{\text{ТЭЦ}} = \sum(\eta_1 E_1) / \sum E_1; \quad (16)$$

$$\eta_{2,3}^{\text{ТЭЦ}} = \sum(\eta_2 E_2 + \eta_3 E_3) / \sum(E_2 + E_3); \quad (17)$$

подсистемы регенерации и сетевой установки:

$$\eta_5^{\text{ТЭЦ}} = \sum(\eta_5 E_5) / \sum E_5; \quad (18)$$

$$\eta_6^{\text{ТЭЦ}} = \sum(\eta_6 E_6) / \sum E_6. \quad (19)$$

Структурный коэффициент эксергетических связей между подсистемами энергоблока:

$$\varepsilon_S^{\text{ТЭЦ}} = \sum[\varepsilon_S (N + E_T)] / \sum(N + E_T). \quad (20)$$

Эксергетические КПД и удельные расходы условного топлива ТЭЦ по отпуску электроэнергии и теплоэксергии:

$$\eta_N^{\text{ТЭЦ}} = \sum[\eta_{4N}N] / \sum N, \quad b_N^{\text{ТЭЦ}} = 0,123 / \eta_N^{\text{ТЭЦ}}. \quad (21)$$

$$\eta_E^{\text{ТЭЦ}} = \sum[\eta_{6T}E] / E, \quad b_E^{\text{ТЭЦ}} = 0,123 / \eta_E^{\text{ТЭЦ}}. \quad (22)$$

Предлагаемая эксергетическая методология является развитием работ, проводимых на кафедре ТЭС НГТУ в последние годы (Ноздренко Г.В., Щинников П.А., Григорьева О.К., Дворцовой А.И., Сафранов А.В), и представляет собой совокупность математических моделей элементов (групп элементов) реально функционирующего энергоблока со связями.

Для ведения расчетов разработана компьютерная модель, содержащая процедуры, в которых использованы подпрограммы вычислительного комплекса оптимизационных расчетов ТЭС (ОРТЭС), моделирующие номинальный и переменные режимы работы теплофикационных энергоблоков. Принципиальная структурная схема ОРТЭС показана на рисунке 2. Функциональной частью вычислительного комплекса является программа TERPLOT.



Рисунок 2 – Структурная схема вычислительного комплекса ОРТЭС.

Блок функциональной программы TEPLOT выполняет следующие действия 1 – расчет графиков нагрузки и определение r -ого режима расчета; 2 – расчет тепловой схемы энергоблока и определение показателей тепловой экономичности; 3 – расчет показателей эксергетической экономичности функционирующих частей и в целом энергоблока; 4 – расчет надежностных показателей энергоблока, эквивалентирование энергосистемы и определение вероятного аварийного резерва; 5 – расчет математических ожиданий и дисперсий капиталовложений в агрегаты, технические системы в функционирующие части в целом в энергоблок; 6 – расчет математических ожиданий и дисперсии интегральных показателей.

В качестве результатов и иллюстрации разработанной методики приведены численные значения технико-экономических показателей для разных энергоблоков при разных режимах (см. рисунок 3).

Электрическая нагрузка ТЭЦ составляет 320...380 МВт, тепловая нагрузка 90...580 МВт. Во первых, при постоянной электрической и возрастающей тепловой нагрузке, эксергетические КПД котлоагрегата η_1 соответственно равны 0,600...0,585. Отметим, что энергобаланс котла учитывает только химическую энергию подводимого топлива, теплопроизводительность котла и нормативные потери, которые обычно находятся на уровне 10 %, в то время как эксергетический КПД, наряду с нормативными, учитывает потери от неравновесного процесса горения топлива и процесса теплообмена при генерировании пара, а приводная эксергия котла учитывает как химическую энергию топлива, так и теплоэксергию питательной воды и электроэнергию на собственные нужды котла.

Эксергетический КПД турбоагрегата $\eta_{2,3}$ изменяется в пределах от 0,890 до 0,932. При эксергетическом анализе эксергопроизводительность турбины включает не только механическую работу, передаваемую по валу электрогенератора, но и теплоэксергию, передаваемую из отборов турбины подсистеме регенерации и сетевой установке.

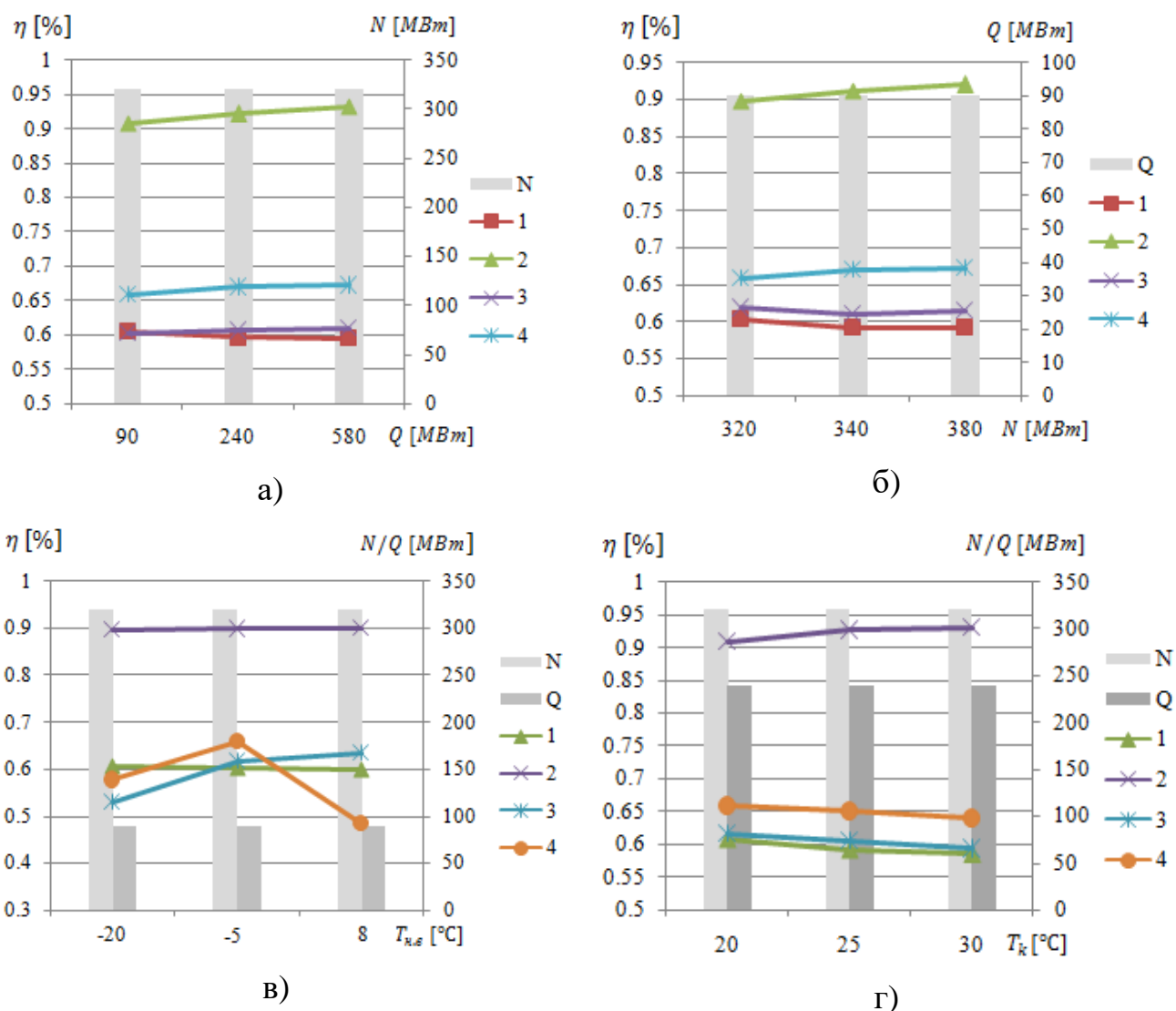


Рисунок 3 – Эксергетические КПД по отделениям:

1 – котельному, 2 – турбинному, 3 – систем регенерации, 4 – отпуску теплоты для условий: изменения нагрузки (а,б), зимних и летних режимов (в,г);

N – электрическая нагрузка, Q – тепловая нагрузка.

Эксергетический КПД подсистем регенерации и технического водоснабжения η_5 0,602...0,615. Эксергетический КПД в сетевой установке η_6 варьируется от 0,570 до 0,672. Работа подсистемы регенерации характеризуется эксергетическими потерями на уровне 40 % и обусловлена технологическими ограничениями по количеству подогревателей, что и вызывает повышенные потери от регенерации. При работе сетевой установки эксергетические потери практически приравниваются к потерям от

неравновесного процесса теплообмена при обеспечении температуры сетевой воды согласно температурному графику.

В этих условиях удельный расход условного топлива ТЭЦ по отпуску электроэнергии составит 0,368...0,330, а по отпуску теплоэнергии 0,429...0,406, эксергетический КПД ТЭЦ в целом 0,338...0,343. Структурный коэффициент эксергетических связей между подсистемами составляет 0,610...0,621.

Анализ работы энергоблоков традиционным путем обуславливает потери теплоты в котельной установке всего на уровне 10 – 15 %, а в конденсаторе около 60 %. При использовании эксергетического метода видно, что относительный перерасход топлива, вызванный процессами в котельной установке и конденсаторе, составляет 60 – 80 % и 5 – 7 % соответственно.

В **четвертой главе** представлен анализ работы и технико-экономическая эксергоэффективность Улан – Баторской ТЭЦ – 4. Электрическая мощность УБ ТЭЦ – 4 при составе энергооборудования 8хБКЗ-420-140 + 3хТ-110 + 3хПТ-80 – 570 МВт, тепловая – 1050 Гкал/ч.

Электрическая нагрузка ТЭЦ на рассматриваемом режиме (при отключённом из-за отсутствия в настоящее время технологических потребителей П-отборе) составляет 470 МВт, тепловая нагрузка – 620 МВт. При этом первый энергоблок (Т₁-110) работает с электрической нагрузкой 77 МВт и тепловой нагрузкой – 136 МВт, второй (Т₂-110) – с нагрузками 78 МВт и 138 МВт, третий (Т₃-110) – с нагрузками 75 МВт и 132 МВт, четвёртый (ПТ₄-80) и пятый (ПТ₅-80) – с электрической нагрузкой 80 МВт и тепловой нагрузкой – 78 МВт и шестой (ПТ₆-80) – с электрической нагрузкой 80 МВт и тепловой нагрузкой – 58 МВт.

В таблице 1 приведены основные эксергетические показатели режима работы УБ ТЭЦ – 4.

Теплоэксергетическая производительность котлов составляет для Т-110 – 134...143 МВт и для ПТ-80 – 133...137 МВт, а эксергетические КПД η_1 , соответственно, 0,549...0,552 и 0,552...0,556.

Таблица 1 – Основные эксергетические показатели режима работы УБ ТЭЦ – 4

Показатели	Т-110			ПТ-80			ТЭЦ
	1	2	3	4	5	6	
N , МВт	77	78	75	80	80	80	470
Q , МВт	136	138	132	78	78	58	620
η_1	0,549	0,552	0,552	0,556	0,556	0,552	0,552
η_2	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96
η_3	0,98	0,98	0,97	0,95	0,95	0,93	
η_5	0,40	0,48	0,459	0,535	0,555	0,556	0,505
η_6	0,76	0,75	0,75	0,73	0,73	0,73	0,74
η_{4N}	0,427	0,429	0,427	0,417	0,417	0,409	0,420
η_{6T}	0,323	0,324	0,322	0,304	0,304	0,298	0,315

Эксергетические производительности ЧВД и ЧСНД энергоблоков составляют 130...139 МВт и 90...95 МВт для Т-110, для ПТ-80 – 130...133 МВт и 85...89 МВт, а эксергетические КПД $\eta_{2,3}$ 0,930...0,980. При эксергетическом анализе эксергопроизводительность турбины включает не только механическую работу, передаваемую по валу электрогенератору, но и теплоэксергию, передаваемую из отборов турбины подсистеме регенерации и сетевой установке. Теплоэксергетическая производительность подсистемы регенерации и технического водоснабжения 11...18 МВт при эксергетическом КПД η_5 0,370...0,550. Эксергетическая производительность сетевой установки 9,7...24,0 МВт, а эксергетический КПД η_6 0,730...0,760. Эффективность подсистемы регенерации находится на уровне 45...60 % и обусловлена технологическими ограничениями по количеству подогревателей (не более восьми), что и вызывает повышенные потери от неравновесного процесса теплообмена при регенерации. При работе сетевой установки эксергетические потери практически являются только потерями от неравновесного процесса теплообмена при обеспечении температур сетевой воды согласно температурному графику.

Эксергетический КПД по отпуску электроэнергии η_{4N} оценивается на уровне 0,409...0,429, а для ТЭЦ 0,420. При этом эксергетический КПД η_{6T} по отпуску теплоэксергии составляет 0,298...0,324, что обусловлено включением в технологическую линию теплоэксергопроизводства сетевой установки и приводит в конечном итоге к КПД ТЭЦ 0,315.

По данным УБ ТЭЦ – 4 стоимость отпуска электроэнергии от Т-110 $\zeta_N = 0,01$ долл./кВт·ч, от ПТ-80 $\zeta_N = 0,012$ долл./кВт·ч. При $\zeta_E / \zeta_N \approx \lambda_6 / \lambda_4 = 2$ цена отпускаемой теплоэксергии от Т-110 составит $\zeta_E = 0,02$ долл./кВт·ч, от ПТ-80 $\zeta_E = 0,024$ долл./кВт·ч.

На рисунке 4 приведены значения технико-экономической эксергоэффективности УБ ТЭЦ – 4.

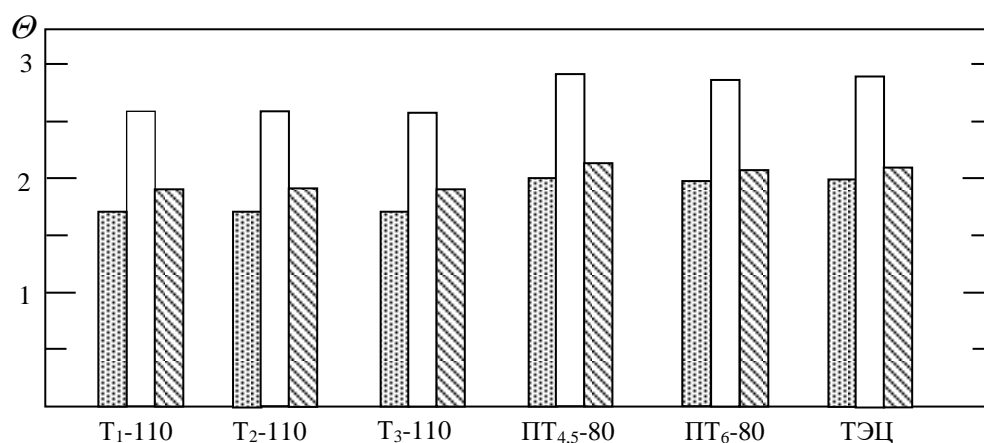


Рисунок 4 – Показатели технико-экономической эксергоэффективности работы УБ ТЭЦ – 4:

$\square, \square, \square$ $\theta_N, \theta_E, \theta_{TЭЦ}$ – технико-экономическая эксергоэффективность по отпуску электроэнергии, теплоэксергии, в целом энергоблоков и ТЭЦ.

Из представленных в работе данных видно, что эксергоэффективность УБ ТЭЦ – 4 по отпуску электроэнергии находится на уровне 1,90, а по отпуску теплоэксергии – 2,65, что обусловлено потреблением дешёвого Баганурского и Шивэ – Овоского угля. При увеличении стоимости угля даже в 1,5 раза и неизменной цене отпуска электроэнергии и теплоэксергии работа УБ ТЭЦ – 4 будет технико-экономически эффективна.

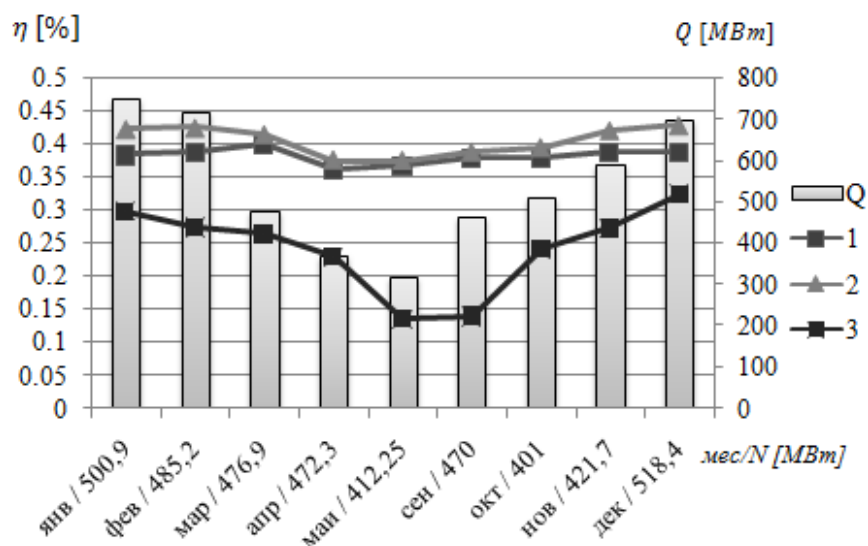


Рисунок 5 – Эксергетические КПД по отпуску электроэнергии и теплоэнергии:

1 – эксергетический КПД ТЭЦ в целом, 2 – эксергетический КПД по отпуску электроэнергии, 3 – эксергетический КПД по отпуску теплоэнергии;

N – электрическая нагрузка, Q – тепловая нагрузка.

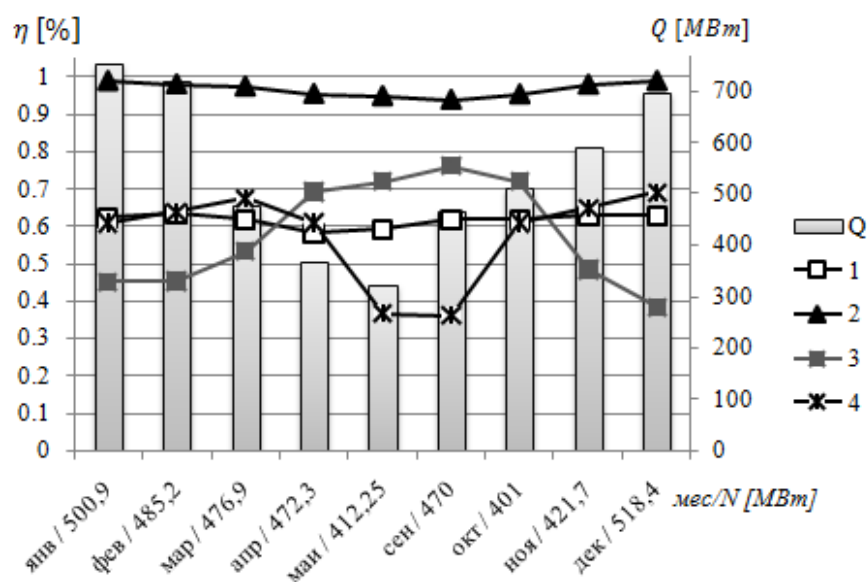


Рисунок 6 – Эксергетические КПД подсистем:

1- эксергетический КПД котлоагрегата, 2 – эксергетический КПД турбоагрегата, 3 – эксергетический КПД системы регенерации, 4 – эксергетический КПД сетевой установки; N – электрическая нагрузка, Q – тепловая нагрузка.

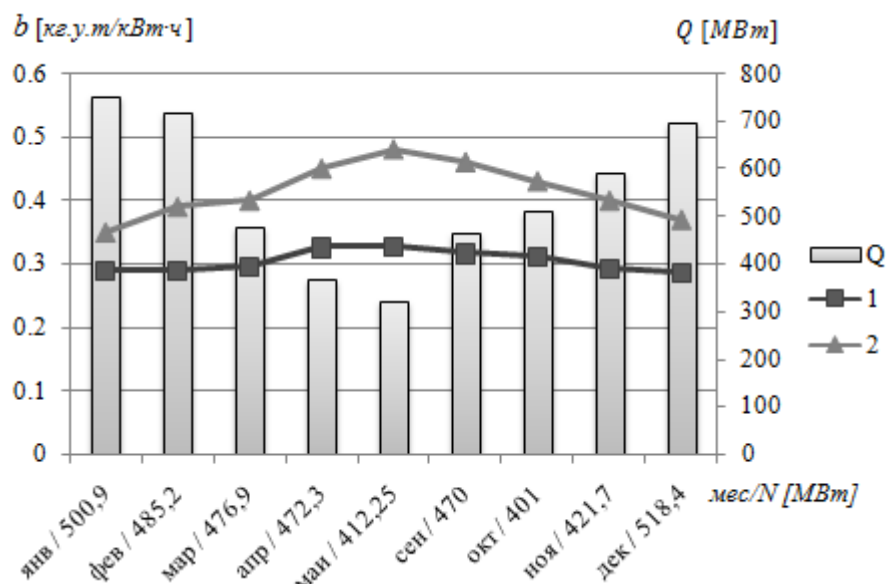


Рисунок 7 – Удельные расходы условного топлива ТЭЦ по отпуску:

1 – электроэнергии, 2 – теплоэнергии; N – электрическая нагрузка, Q – тепловая нагрузка.

При этом эксергетические характеристики ТЭЦ и ее систем, а также удельные расходы топлива меняются в течении года как показано на рисунках 5 – 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан методический подход, математическая модель и метод расчета для технико-экономического анализа параметров энергоблоков и их подсистем, определения условий функционирования, распределения топлива, энергии и затрат между энергопродуктами при их комплексном производстве энергоблоком, оценки технического уровня оборудования на основе показателей эксергетической эффективности. При этом:

1. В развитие эксергетической методологии с использованием дифференциально-эксергетического подхода предложены основные положения расчета и анализа показателей работы ТЭЦ на разных режимах.

2. Разработана методика определения показателей эксергетической эффективности ТЭЦ в виде КПД функционирующих котлов (η_1), турбин ($\eta_{2,3}$), систем регенерации (η_5) и отпуски теплоты (η_6).

3. Результаты расчетов показывают, что на эксергетические показатели эффективности теплофикационных энергоблоков для ТЭЦ мощностью 300 – 400 МВт с энергоблоками разного состава оборудования в общем случае влияет текущая мощность ТЭЦ и режим работы энергоблоков. Так при снижении нагрузки на $\sim 20\%$, КПД турбин ($\eta_{2,3}$) снижается на $\sim 2\%$, КПД системы регенерации снижается на $\sim 3\%$, КПД системы отпуски теплоты (η_6) и КПД котлов (η_1) остаются неизменными; КПД ТЭЦ по отпуску электроэнергии снижается на $\sim 2\%$, а по отпуску теплоты на $\sim 4\%$, что ведёт к увеличению соответствующих расходов топлива. В условиях зимне/летних режимов работы наибольшим колебаниям подвержены КПД систем отпуски теплоты (η_6) – от 3% в летнее время и до $\sim 40\%$ зимой.

4. По предложенной методике проведен анализ работы УБ ТЭЦ – 4. Показано, что эксергетическая эффективность УБ ТЭЦ – 4 по отпуску электроэнергии находится на уровне 0,42 а по отпуску теплоэксергии на уровне 0,315. Совокупный показатель технико-экономической эффективности по отпуску электроэнергии $\theta_N^{\text{ТЭЦ}} \approx 1,9$, а по отпуску теплоэксергии $\theta_E^{\text{ТЭЦ}} \approx 2,65$.

5. Показано, что наибольшим модернизационным потенциалом на УБ ТЭЦ – 4 располагают система регенерации ($\eta_5 = 0,40 \dots 0,556$) и котельная группа ($\eta_1 = 0,54 \dots 0,55$) в зависимости от агрегата, а наименьшими турбинная группа ($\eta_{2,3} = 0,93 \dots 0,98$).

6. Показано, что при увеличении стоимости газа даже в 1,5 раза и неизменной цене отпуски электроэнергии и теплоэксергии работа УБ ТЭЦ – 4 будет в зоне рентабельности.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:*Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Чимэд, О. Эксергетический анализ показателей режимов работы ТЭЦ / О. Чимэд, Г.В. Ноздренко, О.В. Боруш, П.А. Щинников, С.В. Зыков // Доклады АН ВШРФ. – 2015. – №1 (26). – С. 66 – 74.
2. Чимэд, О. Показатели режимов работы ТЭЦ при эксергетическом анализе / О. Чимэд, О. В. Боруш, С. В. Зыков, Г. В. Ноздренко, П. А. Щинников // Научный вестник НГТУ. – 2014. – №4 (57). – С.175 – 184.

Свидетельства о регистрации программ

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ "ЕА-СНРР" №2015660144 / О.Чимэд, Боруш О.В. – 28.07.2015. – М.: Роспатент, 2015. – С.1.

Материалы международных и всероссийских конференций:

4. Чимэд, О. Comparative Analysis Methods Efficiency of the Thermal Power Plant / О. Чимэд, Г. В. Ноздренко // Proceedings of the Third International Forum on Strategic Technology IFOST 2014. Bangladesh, 2014. – P. 201 – 203.
5. Чимэд, О. Сравнительный анализ методов расчета экономичности ТЭЦ / О. Чимэд, О. В. Боруш // Наука. Технологии. Инновации: материалы Всерос. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 02 – 06 дек. 2014г. – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2014. – С. 39 – 42.
6. Чимэд, О. Комплексные показатели эффективности работы ТЭЦ на основе дифференциальной эксергетической методологии / О. Чимэд, О. В. Боруш // Наука. Технологии. Инновации: материалы Всерос. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 2015 г. – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2015. – С. 155 – 157.
7. Чимэд, О. Разработка системы комплексных показателей эффективности работы ТЭЦ на основе эксергетической методологии / О. Чимэд, О. В. Боруш // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. Выпуск №19. – С. 50 – 57.

8. Чимэд, О. Методика расчета тепловой схемы и эксергетических показателей работы ТЭЦ / О. Чимэд, О. В. Боруш // Электротехника. Электро-технология. Энергетика: материалы VII Международная. конф. молодых ученых, Новосибирск, 09 – 12 июня. 2015 г. – Изд – во НГТУ, 2015. – С. 446 – 448.

9. Чимэд, О. Техничко-экономическая эффективность работы ТЭЦ на основе эксергетической методологии / О. Чимэд, О. В. Боруш // Энергия – 2015: материалы Международная. науч. тех. конф. молодых ученых, Иваново, 21 – 23 апр. 2015 г. – Иваново: Изд – во ИГЭУ, 2015. – С. 8 – 10.

10. Чимэд, О. Development Complex Efficiency of Central Heat and Power Plant (CHPP) on the Basis of Exergy Methodology / O. Chimed, O. V. Borush // Proceedings of the Third International Forum on Strategic Technology IFOST 2016. Novosibirsk, Russia, 2016. – P. 291 – 294.

11. Чимэд, О. Дулааны цахилгаан станцын ажиллагааны горимын үзүүлэлтийг эксергийн шинжилгээгээр тодорхойлох /О.В. Боруш, Г.В. Ноздренко, О. Чимэд, П. А. Щинников // Хүрэл тогоот – 2014. Техник, технологийн салбарын эрдэм шинжилгээний бага хурал, Улаанбаатар хот, 2014 г. –Изд – во Улан – Батор, 2014. – С. 251 – 254.

12. Chimed O. Technical And Economic Efficiency of Thermal Power Plant (TRP) on the Basis of Exergy Methodology / O. Chimed, O. V. Borush // Хүрэл тогоот – 2015. Техник, технологийн салбарын эрдэм шинжилгээний бага хурал, Улаанбаатар хот, 2015 г. –Изд – во Улан – Батор, 2015. – С. 251 – 254.

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
тел./факс (383) 346-08-57
формат 60 x 84 1/16 объем 1,5 п. л. Тираж 100 экз.
Заказ № 841 подписано в печать 22.06.2017