

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МОРСКИХ ПЛАВЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ГАЗОТУРБИНЫМИ УСТАНОВКАМИ

А. П. Шевцов, д-р техн. наук, проф.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Приведены результаты оценки показателей экологической безопасности плавэлектростанций с газотурбинными установками, что позволяет при расчетах технико-экономической эффективности таких станций количественно учитывать экономические последствия.

Ключевые слова: экология, безопасность, плавэлектростанция, газотурбинная установка, атмосфера, акватория.

Анотація. Наведено результати оцінки показників екологічної безпеки плавелектростанцій з газотурбінними установками, що дозволяє при розрахунках техніко-економічної ефективності таких станцій кількісно враховувати економічні наслідки.

Ключові слова: екологія, безпека, плавелектростанція, газотурбінна установка, атмосфера, акваторія.

Abstract. Results of power-station surface ships ecological safety for gas turbine plants are presented.

Keywords: ecological safety, power-station, surface ships, gas turbine plant.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Последствия аварий на атомных и гидроэлектростанциях ограничивают ввод таких электростанций. Одновременно обеспечение электрической энергией потребителей возможно за счет плавэлектростанций (ПЛЭС). В настоящее время в мире эксплуатируется более 60 ПЛЭС суммарной мощностью около 4 ГВт. В качестве основных двигателей на плавэлектростанциях применяются дизельные и газотурбинные установки. Контактные газопаротурбинные установки (КПТУ) в диапазоне единичных мощностей до 30...40 МВт являются конкурентом бинарных газопаротурбинных установок (БПТУ) и могут

рассматриваться как перспективные энергоустановки для применения на плавэлектростанциях [2].

Экологическая безопасность энергетических установок с газотурбинными двигателями на морских объектах является важной научно-технической проблемой, актуальность которой сохранится длительное время. Это подтверждается сокращением площадей на континенте под строительство новых тепловых электростанций, борьбой с тепловыми и вредными выбросами при сжигании углеводородных топлив, освоением морского шельфа и реализацией долгосрочных программ альтернативных источников энергии.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксплуатация морских объектов, в том числе и ПЛЭС, осуществляется одновременно с другими видами деятельности в акватории морей: с освоением биологических ресурсов и морского шельфа, транспортировкой грузов и контролем над состоянием окружающей среды.

Анализ возможных воздействий показывает, что определяющее влияние ПЛЭС могут оказывать на освоение биологических, энергетических и материальных ресурсов. Основная экологическая опасность ПЛЭС при этом связана с возможными сбросами загрязняющих веществ в море и атмосферу, так как инженерные методы ее доставки и позиционирования в акватории влияние на окружающую среду практически не оказывают. Дополнительная опасность ПЛЭС для окружающей среды связана с гидрологической и метеорологической обстановкой акватории базирования. Влияние опасных и стихийных гидрометеорологических условий может привести не только к нарушению обеспечения электроэнергией, но и к аварийным ситуациям.

На экологические показатели ПЛЭС существенное влияние оказывают состав и режим эксплуатации газотурбинных двигателей (ГТД). При заданных показателях их мощности экологические риски зависят от агрегатного состояния топлива, способа его доставки, наличия в нем примесей и объемов потребления. Экологическая эффективность эксплуатации ПЛЭС определяется также природно-климатическими условиями, глубиной моря, удаленностью стоянки от береговых баз производственного обеспечения, подготовкой и транспортированием электроэнергии и топлива.

Наиболее употребляемым критерием экологической эффективности эксплуатации электростанции являются удельные выбросы вредных веществ на единицу потребляемого топлива. В аналогичных условиях удельные выбросы для электростанций большой мощности ниже, чем для электростанций меньшей мощности [1, 3, 4].

Так как эксплуатация ПЛЭС относится к хозяйственной деятельности с повышенной степенью экологической опасности, то современные требования к экологической безопасности такого объекта предусматривают необходимость интегральной оценки экологического риска. Методы комплексного количественного учета экологических последствий для морских объектов в настоящее время разработаны недостаточно. Особенно это относится к оценке вероятности влияния опасных и стихийных гидрометеорологических условий на ПЛЭС, которая требует тщательной проработки для ее экологической безопасности.

Интегральная оценка экологического риска при заданных показателях мощности газотурбинных двигателей должна учитывать также ее зависимость от физико-химических свойств топлива, способа его доставки и от объемов потребления.

ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ является обоснование интегральной оценки экологического риска и последствий загрязнения окружающей среды, которая позволяет при расчетах технико-экономической эффективности применения ПЛЭС с газотурбинными установками количественно учитывать экономические последствия нарушения экологической безопасности.

Достижение указанной цели сводится к решению следующих задач:

- 1) определение возможных факторов загрязнения окружающей среды и их

количественная оценка для ПЛЭС с газотурбинными двигателями в летнее и зимнее время года;

2) определение основных показателей экологического ущерба с учетом вероятностей отдельных событий, воздействующих на окружающую среду, объемов и сред загрязнения в пределах нормативного срока эксплуатации ПЛЭС;

3) определение основных количественных показателей экологического риска и экономических последствий эксплуатации ПЛЭС в условиях Черноморско-Азовского прибрежного региона Украины;

4) определение рациональных направлений совершенствования экологической безопасности ПЛЭС при ограничениях ресурсов на эти мероприятия.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Определение возможных факторов загрязнения окружающей среды и их количественная оценка для ПЛЭС с газотурбинными двигателями в летнее и зимнее время года. Загрязнение акватории при эксплуатации ПЛЭС существенно меньше, чем при добыче нефти и газа на морском шельфе, морских перевозках и стоках с континента. Однако эти загрязнения, концентрируясь длительное время в ограниченных акваториях, представляют серьезную экологическую угрозу.

Анализ технологических процессов на ПЛЭС показывает, что воздействие на окружающую среду зависит от условий эксплуатации, ремонтных работ и аварийных ситуаций, связанных с несанкционированными сбросами вредных и загрязняющих веществ (табл. 1).

Уровни тепловых и вредных выбросов в атмосферу и морскую среду при эксплуатации энергетических установок с малооборотными и среднеобо-

ротными дизелями (МОД и СОД), с газотурбинными двигателями простого цикла и газопаротурбинных установок представлены в табл. 2.

Уровни тепловых и вредных выбросов определяются совершенствованием процессов сжигания, агрегатным состоянием и химическим составом топлива; режимом эксплуатации двигателей при их заданных показателях мощности в составе энергетической установки и месторасположением ПЛЭС в акватории. Основная экологическая опасность при этом связана с возможными сбросами загрязняющих веществ в море.

Определение основных показателей экономического ущерба с учетом вероятностей отдельных событий, воздействующих на окружающую среду, объемов и сред загрязнения в пределах нормативного срока эксплуатации ПЛЭС. Воздействие на окружающую среду зависит от условий эксплуатации, ремонтных работ и аварийных ситуаций, которые обуславливают тепловые и вредные выбросы. Основные события, которые определяют эти воздействия, можно классифицировать как внутренние, связанные с состоянием энергетической установки; объектные, связанные с состоянием ПЛЭС; внешние, связанные с состоянием систем подвода и отвода энергоносителей, а также с гидрометеорологическими условиями. В совокупности эти события можно считать как независимые или зависимые. Тогда для совокупности независимых событий результат их воздействия на окружающую среду может быть определен на основании частной теоремы о повторении опытов и являться оптимистической оценкой, а для случая зависимых событий — на основании общей теоремы о повторении опытов и являться пессимистической оценкой.

Для первого варианта с появлением независимых событий C_i и отсутствием

Таблиця 1. Уривень впливння ПЛЭС на оуружающюю среду и смежные виды деятельности на море

Вид деятельности	Процессы	Влияние ПЛЭС					
		на атмосферу			на акваторию		
		Эксплуатация	Ремонт	Аварии	Эксплуатация	Ремонт	Аварии
Освоение биологических ресурсов	Рыболовство	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое	Значительное
	Промысел морепродуктов	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое	Значительное
	Воспроизводство морепродуктов	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое	Значительное
Освоение природных ресурсов на шельфе	Буровые работы	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое	Значительное
	Добыча	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое	Значительное
	Коммуникации	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Значительное
	Хранение	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Значительное
Морской транспорт	Водолазные работы	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Значительное
	Навигация	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое
	Землечерпательные работы	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое
Несанкционированные сбросы	Бункеровка	Отсутствует	Отсутствует	Слабая	Отсутствует	Отсутствует	Значительное
	Производственные отходы	Слабое	Слабое	Значительное	Слабое	Слабое	Значительное
	Бытовые отходы	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое
Стоки с прибрежной части континента	Вредные вещества	Слабое	Слабое	Значительные	Слабое	Слабое	Значительное
	Мусор	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое
	Бытовые отходы	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое
	Вредные вещества	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое
	Ливневые сбросы	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Слабое
	Канализация	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Слабое	Слабое	Значительное

Таблица 2. Основные показатели выбросов энергетических установок с различными двигателями

Показатель	МОД	СОД	ГТД	БГПУ	КГПУ
Тепловые выбросы с отработавшими газами, ГДж/(МВт·ч)	5,1...5,9	5,7...6,2	8,7...10,5	6,0...6,9	0,2...0,3
Тепловые выбросы с охлаждающей водой, ГДж/(МВт·ч)	2,6...3,0	2,9...3,2	1,0...1,2	2,6...2,9	6,5...8,3
Выбросы оксидов углерода, г/кг топлива	100...200	200...300	10...50	15...80	8...10
Выбросы углеводородов, г/кг топлива	60...70	70...90	6...30	8...40	3...10
Выбросы оксидов азота, г/кг топлива	0,2...0,9	0,2...1,0	0,5...1,5	0,4...1,5	0,4...1,2
Выбросы оксидов серы, г/кг топлива	20...40	10...25	2...5	5...10	2...7
Выбросы водяного пара, (г/кг топлива)·10 ⁻³	1,0...1,1	1,1...1,2	1,1...1,2	1,1...1,2	0,3...0,4
Выбросы сажи, г/кг топлива	0,4...0,8	0,5...0,9	0,2...0,7	0,3...0,8	0,1...0,3

независимых событий \bar{C}_i воздействие B_m с частотой m из n опытов, где n — продолжительность эксплуатации в часах в течение одного года, будет

$$B_{m1} = C_1 C_2 \dots C_m \bar{C}_{m+1} \dots \bar{C}_n + C_1 \bar{C}_2 \dots C_m \bar{C}_{m+1} \dots \bar{C}_{n-1} C_n + C_1 \bar{C}_2 \dots \bar{C}_{n-m} C_{n-m+1} \dots C_n.$$

Для жизненного цикла эксплуатации zn

$$B_{mz} = C_{12} C_{21} \dots C_{m1} \bar{C}_{m+1,1} \dots \bar{C}_{n1} + C_{11} \bar{C}_{21} \dots \dots C_{m1} \bar{C}_{m+1,1} \dots \bar{C}_{n-1,1} C_{n1} + C_{11} \bar{C}_{21} \dots \bar{C}_{n-m} C_{n-m+1} \dots \dots C_{n1} + C_{12} C_{22} \dots C_{m2} \bar{C}_{m+1,2} \dots \bar{C}_{n2} + C_{12} \bar{C}_{22} \dots \dots C_{m2} \bar{C}_{m+1,2} \dots \bar{C}_{n-1,2} C_{n2} + C_{12} \bar{C}_{22} \dots \dots \bar{C}_{n-m,2} C_{n-m+1,2} \dots C_{n2} + \dots + C_{1z} C_{2z} \dots C_{mz} \bar{C}_{m+1,z} \dots \bar{C}_{nz} + C_{1z} \bar{C}_{2z} \dots \dots C_{m,z} \bar{C}_{m+1,z} \dots \bar{C}_{n-1,z} C_{nz} + C_{1z} \bar{C}_{2z} \dots \dots \bar{C}_{n-m,z} C_{n-m+1,z} \dots C_{nz}$$

Если для рассматриваемого варианта события B_m несовместны, а события C_i независимы, вероятность события $P(B_m)$ при вероятностях $P(C_i) = p_i$, $P(\bar{C}_i) = q_i$ можно определить как

$$P(B_{m1}) = p_1 p_2 \dots p_m q_{m+1} \dots q_n + p_1 q_2 \dots \dots p_m q_{m+1} \dots q_{n-1} p_n + q_1 q_2 \dots q_{n-m} p_{n-m+1} \dots p_n, \\ P(B_{mz}) = p_{11} p_{21} \dots p_{m1} q_{m+1,1} \dots q_{n1} + p_{11} q_{21} \dots \dots p_{m1} q_{m+1,1} \dots q_{n-1,1} p_{n1} + q_{11} q_{21} \dots \dots q_{n-m,1} p_{n-m+1,1} \dots p_{n1} + p_{12} p_{22} \dots p_{m2} q_{m+1,2} \dots \dots q_{n2} + p_{12} q_{22} \dots p_{m2} q_{m+1,2} \dots q_{n-1,2} p_{n2} + q_{12} q_{22} \dots q_{n-m,2} p_{n-m+1,2} \dots p_{n2} + \dots +$$

$$+ p_{1z} p_{2z} \dots p_{mz} q_{m+1,z} \dots q_{nz} + p_{1z} q_{2z} \dots \dots p_{mz} q_{m+1,z} \dots q_{n-1,z} p_{nz} + q_{1z} q_{2z} \dots \dots q_{n-m,z} p_{n-m+1,z} \dots p_{nz}$$

В приведенных выражениях значения вероятностей p_i и q_i — величины постоянные, а для варианта зависимых событий они будут изменяться со временем эксплуатации $p_i(\tau)$ и $q_i(\tau)$, где τ — время эксплуатации:

$$P(B_{m1}) = p_1(\tau) p_2(\tau) \dots p_m(\tau) q_{m+1}(\tau) \dots \dots q_n(\tau) + p_1(\tau) q_2(\tau) \dots p_m(\tau) q_{m+1}(\tau) \dots \dots q_{n-1}(\tau) p_n(\tau) + q_1(\tau) q_2(\tau) \dots \dots q_{n-m}(\tau) p_{n-m+1}(\tau) \dots p_n(\tau),$$

$$P(B_{mz}) = p_{11}(\tau) p_{21}(\tau) \dots p_{m1}(\tau) q_{m+1,1}(\tau) \dots \dots q_{n1}(\tau) + p_{11}(\tau) q_{21}(\tau) \dots p_{m1}(\tau) q_{m+1,1}(\tau) \dots \dots q_{n-1,1}(\tau) p_{n1}(\tau) + q_{11}(\tau) q_{21}(\tau) \dots \dots q_{n-m,1}(\tau) p_{n-m+1,1}(\tau) \dots p_{n1}(\tau) + p_{12}(\tau) p_{22}(\tau) \dots \dots p_{m2}(\tau) q_{m+1,2}(\tau) \dots \dots q_{n2}(\tau) + p_{12}(\tau) q_{22}(\tau) \dots \dots p_{m2}(\tau) q_{m+1,2}(\tau) \dots \dots q_{n-1,2}(\tau) p_{n2}(\tau) + q_{12}(\tau) q_{22}(\tau) \dots \dots q_{n-m,2}(\tau) p_{n-m+1,2}(\tau) \dots \dots p_{n2}(\tau) + \dots + p_{1z}(\tau) p_{2z}(\tau) \dots p_{mz}(\tau) q_{m+1,z}(\tau) \dots \dots q_{nz}(\tau) + p_{1z}(\tau) q_{2z}(\tau) \dots p_{mz}(\tau) q_{m+1,z}(\tau) \dots \dots q_{n-1,z}(\tau) p_{nz}(\tau) + q_{1z}(\tau) q_{2z}(\tau) \dots q_{n-m,z}(\tau) p_{n-m+1,z}(\tau) \dots p_{nz}(\tau).$$

Производящая функция $\varphi(\tau) = \prod_{i=1}^n (q_i + p_i(\tau))$ и вероятности $P_m(B_{mz})$ образуют выражение

$$\prod_{i=1}^n (q_i + p_i(\tau)) = \sum_{m=0}^n P_m(B_{mz}) \tau^m,$$

преобразование которого путем раскрытия скобок в левой части и приведения подобных в правой части позволяет получить значения вероятностей $P(B_{0z}), P(B_{1z}), P(B_{2z}), \dots, P(B_{zz})$ как коэффициентов при соответствующих степенях t .

Определение основного показателя экологического ущерба целесообразно выполнять как комплексного критерия воздействий, исходя из условия экологического риска и относительных размеров экологических убытков для смежных видов деятельности на море:

$$R_m = \sum_{j=1}^k P(B_{mz}) Y_j(B_{mz}),$$

где $Y_j(B_{mz})$ — величина относительных экологических убытков для отдельных смежных видов деятельности на море.

Предлагаемый метод дает возможность спрогнозировать экономическую оценку риска. Для расчета экономических издержек от возможного экологического ущерба с вероятностью его появления в период эксплуатации ПЛЭС необходимо дополнительное предположение, что экологический ущерб имеет место в фиксированный момент времени, равный заданному периоду эксплуатации. Значение этого периода эксплуатации должно согласовываться с плотностью распределения вероятности аварий на ПЛЭС.

Определение основных количественных показателей экологического риска и экономических последствий эксплуатации ПЛЭС в условиях Черноморско-Азовского прибрежного региона Украины. Поскольку эксплуатация ПЛЭС предполагает исключение несанкционированных сбросов вредных и загрязняющих веществ, то относительно малая вероятность этих редких явлений позволяет принять их распределение для большинства событий согласно закону распределения Пуассона

$$P(B_m) = v_m^k e^{-v_m} / k_m!$$

Здесь v_m — относительный объем сбросов в течение года для m -го события; k_m — количество сбросов в течение года для m -го события.

Количественные показатели параметров закона Пуассона для расчетов экологического риска и экономических последствий при эксплуатации ПЛЭС для условий Черноморско-Азовского прибрежного региона Украины приняты согласно [3], а также результатам наблюдений за сбросами вредных и загрязняющих веществ в районах морских портов Юга Украины. На основании этих данных определялся среднегодовой объем сбросов вредных и загрязняющих веществ при эксплуатации ПЛЭС.

Относительный среднегодовой объем сбросов вредных и загрязняющих веществ при авариях подводных систем подвода и отвода энергоносителей определяется как

$$v_c = \sum_{j=1}^k \lambda l v_{lj} \tau_c,$$

где λ — параметр потока отказов; l — общая длина систем; v_{lj} — удельный объем сброса при единичном отказе; τ_c — сезонное время продолжительности сбросов.

Оценка величины относительных экологических убытков для отдельных смежных видов деятельности на море $Y_j(B_{mz})$, по данным мировой практики, колеблется в очень широких пределах — от 71 до 21000 дол./т — и зависит от большого числа факторов, прежде всего от связанных с географическим местом расположения объекта. Поэтому начальная оценка затрат при ликвидации загрязнения окружающей среды в море в основном учитывает стоимость затрат на очистку морской среды и береговой линии от сбросов и составляет в среднем 3830 дол./т нефтяных

разливов. Отсутствие аналогичных данных для Черноморско-Азовской акватории вынудило при дальнейших расчетах пользоваться этой средней величиной.

Если финансовые средства R_p для защиты от риска загрязнения окружающей среды инвестируются до времени появления ущерба, то оценка экономи-

ческого ущерба R_3 от сбросов позволяет рассчитать их размер как

$$R_p = P(B_m)R_3/(1+E)^t.$$

Результаты расчетов вариантов оценок возможных объемов сбросов жидких и газообразных углеводородов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Возможные объемы сбросов жидких и газообразных углеводородов, м³

Причина сбросов	Жидкие углеводороды		Газообразные углеводороды	
	Оценка			
	оптимистическая	пессимистическая	оптимистическая	пессимистическая
ГТД	< 0,01	0,12...0,18	6...11	14...34
ПЛЭС	9...14	300...1100	30...60	80...90
Системы	2...6	7...80	12...23	29...190

По расчетным данным величина экологических издержек для ПЛЭС мощностью 100 МВт с ГТД простого цикла может составлять до 3400000 дол. США. Таким образом, увеличение стоимости эксплуатации с учетом риска загрязнения акватории жидкими углеводородами в виде топлива и масел может составить до 0,94%, а для газообразных углеводородов — до 0,01% и не приведет к существенному снижению рентабельности ПЛЭС.

Определение рациональных направлений совершенствования экологической безопасности ПЛЭС при ограничениях ресурсов на эти мероприятия. Рациональное распределение ресурсов для минимизации уровня загрязнения акватории в процессе эксплуатации ПЛЭС возможно при соблюдении следующих условий: снижение вероятности сбросов в море при аварийных ситуациях; уменьшение относительных объемов сбросов; снижение затрат при ликвидации загрязнения окружающей среды в море. Качественный анализ этих направлений свидетельствует, что первые два связаны с совершенством морского объекта и определяются уровнем современных технологий проекти-

рования, производства и его эксплуатации. Поэтому можно предположить, что при ограниченности ресурсов направленность их для снижения уровня аварийности и относительных объемов сбросов с морских объектов будет менее эффективна, чем для мероприятий, связанных с ликвидацией загрязнения окружающей среды в море. К таким мероприятиям относятся технологии сбора и удаления углеводородов при очистке морской среды и береговой линии, экологического мониторинга акватории и экологического менеджмента при эксплуатации ПЛЭС.

Решение задачи выбора оптимального варианта распределения ресурсов между предлагаемыми мероприятиями относится к определению экстремума функционала от показателя экологического ущерба, представленного в виде комплексного критерия воздействий, и количества ресурсов для каждого мероприятия. Решения подобных задач выполняется методами динамического и линейного программирования.

ВЫВОДЫ

1. Основная экологическая опасность при эксплуатации ПЛЭС связана

с возможными сбросами загрязняющих веществ в море. 2. Основной показатель экологического ущерба от эксплуатации ПЛЭС может быть выражен в виде комплексного критерия суммы произведений вероятностей воздействий, вызывающих экологический риск, и относительных размеров экологических убытков для смежных видов деятельности на море. 3. Расчетная величина экологических издержек для ПЛЭС с ГТД простого цикла составляет до 34000 дол. США на 1 МВт мощности, что приводит к увеличению стоимости эксплуатации с учетом риска загрязнения акватории на жидком топливе до 0,94%, а на газообразном — до 0,01% при несущественном снижении рентабельности ПЛЭС. 4. Рациональное распределение ресурсов

для минимизации уровня загрязнения акватории в процессе эксплуатации ПЛЭС возможно за счет выбора оптимального варианта распределения ресурсов между мероприятиями сбора и удаления углеводородов при очистке морской среды и береговой линии, экологического мониторинга акватории и экологического менеджмента. 5. Решение задачи выбора оптимального варианта распределения ресурсов для минимизации уровня загрязнения акватории в процессе эксплуатации ПЛЭС может быть выполнено известными методами определения экстремума функционала от показателя экологического ущерба, представленного в виде комплексного критерия воздействий, и количества ресурсов для каждого мероприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Вяхирев, Р. И.** Обустройство и освоение морских нефтегазовых месторождений [Текст] / Р. И. Вяхирев, Б. А. Никитин, Д. А. Мирзоев. — М. : Изд-во Академии горных наук, 1999. — 373 с.
- [2] КГПТУ для плавэлектростанций [Текст] / С. Н. Мовчан, В. Н. Чобенко, С. А. Кузнецова, А. П. Шевцов // Газотурбинные технологии. — Рыбинск : ИД «Газотурбинные технологии», 2011. — № 8 (99). — С. 2–5.
- [3] **Мальцев, А. С.** Теория и практика безопасного управления судном при маневрировании [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / А. С. Мальцев. — О., 2007. — 386 с.
- [4] **Христич, В. А.** Газотурбинные двигатели и защита окружающей среды [Текст] / В. А. Христич, А. Г. Тумановский. — К. : Техніка, 1983. — 144 с.