

УДК 621.436.1

DOI: 10.37890/jwt.vi70.237

## **Формирование информационных потоков при диагностировании судовых энергетических установок**

**А.В. Кулагин**

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0271-4771>

*Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований  
материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации)  
Военной академии материально-технического обеспечения, С.-Петербург, Россия*

**Аннотация:** В статье рассмотрен системный подход к вопросу формирования информационных потоков по техническому состоянию судовой энергетической установки (СЭУ) для различных потребителей информации. Приведена методика оценки технического состояния СЭУ на основе вероятностных показателей состояния ее структурных элементов. Сущность предлагаемой методики сводится к последовательному применению метода декомпозиции СЭУ для определения наиболее информативных диагностических параметров (ДП), технического контроля ее составных элементов, обработки результатов диагностирования и предоставления информации потребителям. На примере структурных элементов главной энергетической установки теплохода сформулированы требования по периодичности контроля и определены наиболее информативные ДП.

**Ключевые слова:** судовая энергетическая установка, главная энергетическая установка, техническое диагностирование, система, системный подход, информация, модель.

## **Formation of information flows during diagnostics of ship power plants**

**Andrey V. Kulagin**

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0271-4771>

*Research Institute (Military-System Research of Material and Technical Support of Armed Forces of the Russian Federation) of Military Academy of Material and Technical Support; Russia*

**Abstract:** The article considers a systematic approach to the issue of the formation of information flows concerning the technical condition of the ship's power plant, for various consumers of information. The methodology for assessing the technical condition of the ship's power plant based on probabilistic indicators of the state of its structural elements is given. The essence of the proposed methodology consists in the coherent application of the ship's power plant decomposition method to determine the most informative diagnostic parameters (DPs), technical control of its constituent elements, processing of diagnostic results and providing information to consumers. On the example of the structural elements of the main power plant of the ship, the requirements for the frequency of monitoring are formulated and the most informative DPs are determined.

**Keywords:** ship power plant, main power plant, technical diagnostics, system, system approach, information, model.

## **Введение**

Развитие морских перевозок, климатические изменения, загрязнение Мирового океана, [1,2,3] обострили проблему диагностирования судовых энергетических установок (СЭУ) и их элементов. В частности, ряд производителей диагностического оборудования [4] пошел по пути контроля рабочих процессов. Алгоритмы контроля параметров индикаторной диаграммы являются основой диагностических комплексов зарубежных A.V.L. (Австрия), Kestler (Германия), Autronica (Норвегия) и отечественных НПК «Гарант», ООО «Техтранс Д» производителей. В основу работы этих систем положен контроль, прежде всего, внутрицилиндрового давления. Другими контролируруемыми параметрами могут быть: температуры охлаждающей жидкости и выпускных газов, контроль вибрации (по определению момента впрыска топлива) и др.

Однако до настоящего времени прогнозирование работоспособности СЭУ основывается на вероятностных показателях. Значит существует необходимость комплексной оценки возможности эксплуатации СЭУ и их составных элементов в процессе эксплуатации судна.

**Целью данной статьи является:** разработка методики оценки технического состояния СЭУ по результатам технического диагностирования ее составных элементов.

## **Вербальная постановка задачи**

Приступая к вербальной постановке задачи исследования, необходимо определить, что должно получиться в результате исследования [5]. Эксплуатацией СЭУ занимаются две группы людей; с одной стороны, это экипаж судна (точнее, обслуживающий СЭУ персонал), с другой стороны, это судовладелец, осуществляющий планирование ремонтов и осуществляющий снабжение судна. Это различные люди, отличающиеся идеологией, мотивацией, профессиональной ориентацией и др. Соответственно, методика оценки технического состояния СЭУ должна отвечать ряду требований, обусловленных необходимостью постоянного контроля технического состояния СЭУ, основными из которых являются:

- назначенная достоверность;
- живучесть диагностического оборудования;
- надежность диагностической системы;
- минимальное время обработки информации;
- малая стоимость оборудования и затрат на эксплуатацию.

Следовательно, разрабатываемая методика должна быть: автоматизированной, то есть иметь возможность отображать результаты технической диагностики как на судне (как правило в центральном посту управления), так и у судовладельца; достоверной, то есть позволять эффективно планировать мероприятия восстановления технической готовности оборудования; надежной, то есть долговечной, ремонтпригодной, безотказной и сохраняемой; иметь привлекательную цену и малые затраты на эксплуатацию.

Объектом исследования является СЭУ, представляющая совокупность судовых технических средств, предназначенных для обеспечения движения судна, а также его снабжения различными энергосредами (электричеством, теплом, пресной водой) [6].

Предметом исследования являются *информационные потоки*, характеризующие техническое состояние составных элементов СЭУ.

**СЭУ как объект технического диагностирования**

В общем случае СЭУ состоит из главной энергетической установки (ГЭУ), вспомогательной энергетической установки (ВЭУ) и электроэнергетической системы (ЭЭС), рис.1. Каждая составная часть СЭУ обеспечивает критически важные для судна и экипажа действия и генерирует энергоресурсы. С точки зрения формирования информационных потоков необходимо выделять критически важные сведения из общей массы сведений. Например, для грузового судна с ГЭУ на органическом топливе на основе углерода критически важные сведения приведены в табл.1.

Определение критически важных сведений о состоянии СЭУ может производиться различными методами. Для решения задач поддержки принятия решений, целесообразно использовать метод анализа иерархий [7]. Не останавливаясь подробно на методе, необходимо пояснить выбор шкалы сравнений для оценки приоритетов выбора решений. При выборе шкалы сравнений для определения приоритета выбора оценка производится через «веса» альтернативных решений. При этом физически «веса» определяются предпочтительностью и значимостью выбора.



Рис. 1. Составные элементы судовой энергетической установки

Следующим шагом является определение временных параметров формирования информационных потоков. Иными словами, необходимо определить какая информация в какой временной интервал должна поступать для формирования объективной оценки технического состояния СЭУ. Ряд исследований [8,9,10] не дают ответа на вопрос, как часто необходимо проводить исследования диагностических параметров для технической оценки состояния исследуемого оборудования, в частности дизельного двигателя. Другие исследования [11,12] показывают, что контроль диагностических параметров необходимо осуществлять постоянно.

*Таблица 1*

**Пример критически важных сведений о состоянии СЭУ теплохода для формирования информационных потоков**

Сведения о ВЭУ	Сведения о ГЭУ	Сведения о ЭЭС
Сведения о состоянии водоопреснительной установки Сведения о состоянии компрессорной установки	Сведения о состоянии главного двигателя Сведения о состоянии главного упорного подшипника	Сведения о дизель-генераторе (первичного двигателя и генераторной частей) Сведения о коммутационной аппаратуре

Анализ опыта эксплуатации СЭУ позволяет сделать вывод, что различные элементы и, прежде всего, поршневые машины, требуют различной интенсивности контроля. Применительно к судовым дизельным двигателям постоянный контроль требуется осуществлять за параметрами моторного масла, температуры охлаждающей жидкости и выхлопных газов, а периодический контроль должен осуществляться за внутрицилиндровым давлением, частотой вращения коленчатого вала и вибрацией, табл. 2.

*Таблица 2*

**Периодичность контроля диагностических параметров судового дизельного двигателя**

Диагностический параметр	Периодичность контроля
Температура моторного масла	постоянно
Давление моторного масла в масляной системе	постоянно
Изменение объема моторного масла в масляной системе	не реже 1 раза в 4 часа
Содержание в моторном масле примесей (воды, металла и т.д.)	не реже 1 раза в сутки
Перепад температуры охлаждающей жидкости (на входе и выходе из дизельного двигателя)	постоянно
Температура выхлопных газов	постоянно
Оценка компрессии в цилиндро-поршневой группе	в период проведения ППО и ППР
Оценка разрежения или роста давления в картере	в период проведения ППО и ППР
Изменение расхода топлива, на каждом режиме работы дизельного двигателя	как правило, не реже 1 раза в 4 часа
Изменение давления в топливной системе	постоянно
Измерение зазора в сопряжениях коленчатого вала	в период проведения ППО и ППР
Измерение разницы давлений в камерах сгорания цилиндров	как правило, не реже 1 раза в сутки
Вибрация коленчатого вала	в период проведения ППО и ППР

### Информационные потоки как основа технической диагностики СЭУ

С целью структурирования и определения взаимосвязей в информационных потоках по техническому состоянию СЭУ потребителям необходимо представить эти потоки как системную модель. Под *моделью* будем рассматривать логическое представление об объекте, объединяющие наиболее значимые закономерности в ее структуре и закономерности в процессе ее функционирования [13]. Рассматривая модель информационных потоков, необходимо ее классифицировать как материальную, искусственную [14]. Иными словами, система рассматривается как объект реального мира, созданный человеком, при этом роль человека в процессах функционирования, по мере совершенствования системы, уменьшается. Основными элементами модели следует определить ее ценность, информационный ресурс и организационную архитектуру [15].

Тут под *ценностью системной модели* понимается инфраструктура, используемая для формирования и передачи информационного потока потребителям.

Под *информационным ресурсом модели* понимается инфраструктура, используемая для обработки, хранения и распределения информации.

Под *организационной архитектурой модели* понимается организационная структура, используемая для обслуживания и управления системной модели.

Таким образом, рассматривая информационные потоки, необходимо систематизировать их структурные элементы, проанализировать финансовые затраты на их формирование и передачу информации, а также оценить их эффективность, с точки зрения информативности для оценки технического состояния структурных элементов СЭУ, рис. 2.

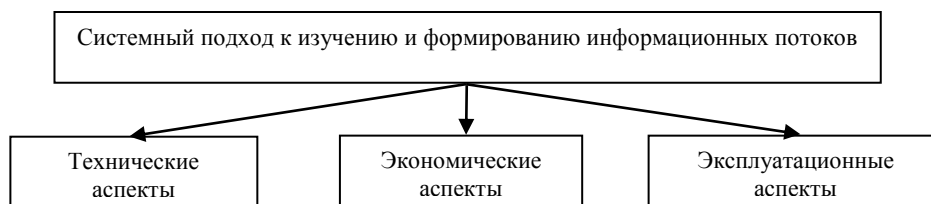


Рис. 2. Системный подход к изучению и формированию информационных потоков

Применительно к теплоходам, информационные потоки должны формироваться исходя из критериев оптимальной достаточности информации, скорости ее сбора, передачи и обработки, кроме того, ее достоверности. Например, для оценки технического состояния системы «главный двигатель – гребной винт», необходимо продиагностировать пять структурных элементов, рис. 3. При этом необходимо учитывать качественные показатели информационных потоков. Судовладельца, находящегося за сотни тысяч миль от эксплуатируемого судна, будут интересовать вопросы: оборудование исправно или неисправно и остаточный ресурс (прежде всего для планирования судоремонта). Эксплуатирующий СЭУ персонал нуждается в большем объеме информации, для прогнозирования работоспособности отдельных узлов и деталей оборудования СЭУ, оценки их надежности (а для специальных судов, кроме того, и оценки их живучести).

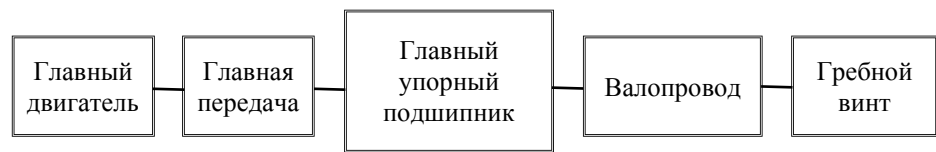


Рис. 3. Диагностическая модель технического состояния системы «главный двигатель – гребной винт»

Экономически целесообразно создать единую диагностическую модель СЭУ. Исходными данными для этой работы могут служить: трудоемкость сбора и обработки информации (преимущественно с использованием автоматического режима, где невозможно собрать данные в автоматическом режиме данные собираются обслуживающим персоналом и в ручном режиме, затем вводятся в программно-аппаратный комплекс для последующей обработки, например данные по измерениям разницы давлений в камерах сгорания цилиндров), затраты ресурсов на формирование двух информационных потоков (обслуживающему персоналу и судовладельцу), трудозатраты на обработку информации по техническому состоянию СЭУ (автоматическую или полуавтоматическую), кроме того, формирование заявки на поставку материалов, необходимых для ремонта, а так же заказ необходимых для этого мощностей на судоремонтном предприятии.

#### Вероятностная модель диагностирования судовой энергетической установки

Рассматривая любую диагностическую модель оценки технического состояния системы, необходимо определить требования потребителей информации к самой информации. Так, потребителями информации о функционировании системы «главный двигатель – гребной винт» являются экипаж судна и судовладелец, к другим потребителям можно отнести надзорные органы, в частности портовые службы, транспортную и природоохранную прокуратуры и т.д. Информация, необходимая для каждого потребителя, разнится и отличается по количеству, качеству и времени обновления.

Особенностью формирования информационных потоков для судовладельца является: необходимость передачи информационных массивов при помощи систем беспроводной связи. С целью оптимального планирования использования судна, судовладельцу необходимо знать исправно оборудование или нет и прогнозируемый ресурс сохранения оборудованием работоспособного состояния.

Ответ на первый вопрос можно представить в виде *бинарной системы* двух событий  $x$ , выраженной через вероятность их наступлений:

$$P(x_1) + P(x_2) = 1 \quad (1)$$

где  $x$  – событие, выражаемое через состояние оборудования;

$P$  – вероятность нахождения оборудования в одном из двух возможных состояний.

Ответ на второй вопрос получается путем обработки информации о техническом состоянии элементов системы. Иными словами, мы имеем *неопределенность* распределения вероятности, количественно выраженную *энтропией* информации [16]. Тогда по теории информации, информационный поток о состоянии системы в каждую единицу времени, можно представить уравнением, характеризующим ее состояние:

$$H = \sum_{i=1}^n P_i \log_2 \frac{1}{P_i}, \quad n \in R \quad (2)$$

где  $H$  – информационная энтропия;  
 $P_i$  – вероятность нахождения системы в состоянии  $i$ ;  
 $n$  – число возможных состояний системы.

Энтропия является математическим ожиданием количества информации в рассматриваемом событии, дающая минимальное количество информации, для определения количества символов, выбираемых из распределения  $P_i$  (2).

В выражении (2),  $\log_2$  означает, что за количественную оценку степени неопределённости принимается неопределённость, отражающая состояние элементов системы. При этом каждый элемент системы имеет две равновероятных оценки ("исправно" или "неисправно").

Если преобразовать уравнение (2) для информационной энтропии несвязанных событий, имеющих случайный характер, то информационная энтропия, характеризующая состояние системы определяется следующим выражением:

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i, \quad n \in R \quad (3)$$

### **Выводы**

Применяя автоматизированные (полуавтоматизированные) системы сбора, хранения и обработки информации о техническом состоянии судовых сложных технических систем и в первую очередь о СЭУ, возможно добиться существенного снижения эксплуатационных затрат. Главным преимуществом предложенной модели является возможность прогнозировать остаточный ресурс оборудования и на основании этой информации осуществлять планирование мероприятий судоремонта, включая:

- определение требуемого количества запасных частей и принадлежностей (ЗИП), их номенклатуры;
- своевременная закупка ЗИП с минимизацией затрат на хранение;
- планирование аренды (выделения) судоремонтных мощностей;
- поиск исполнителей судоремонтных работ;
- уточнение технологии производства судоремонтных работ и т.д.

При формировании информационных потоков особое внимание необходимо уделять их качественной оценке. Необходимая для обслуживающего персонала по техническому состоянию СЭУ, скорее всего, будет излишней для судовладельцев. При этом, на данном этапе развития, применение технологий искусственного интеллекта по экономическим причинам нецелесообразно.

### **Список литературы**

1. Валиуллина К.Б. Международно-правовая охрана и защита Мирового океана от загрязнения: Дис. кандидата юридических наук: 12.00.10 / Валиуллина Ксения Борисовна; ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» - Казань, 2018 - 251 с.
2. Craik N. The International Law of Environmental Impact Assessment: Process, Substance and Integration / N. Craik. - Cambridge: Cambridge University press, 2008. - 358 p.,

3. Bastmeijer K., Koivurova T. Conclusions: globalisation of transboundary environmental impact assessment / K. Bastmeijer, T. Koivurova // Theory and Practise of Transboundary Environmental Impact Assessment. - Leiden: Martinus Nijhoff. 2008. - P. 347-389.
4. Соловьев А.В. Системы мониторинга судовых дизелей в эксплуатации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. – Астрахань: АГТУ, 2018.— №1. – С. 87–92.
5. Воловиков, Б. П. Стратегическое бизнес-планирование на промышленном предприятии с применением динамических моделей и сценарного анализа: Монография / Б.П. Воловиков - Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 226 с. (Научная мысль) ISBN 978-5-16-010608-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/496225> (дата обращения: 06.01.2022),
6. Богатырева Е.В., Ивановская А.В. Поисковые методы оптимизации параметров судовых энергетических установок «Общество, образование, наука в современных парадигмах развития» Материалы Национальной научно-практической конференции ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь 16 ноября 2020 года г. Керчь,
7. Saaty T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process // Management Science, 1986, July. – Vol, 32 N7 – P.841-855
8. Гаврилов В. В. Принципы построения иерархического комплекса систем диагностирования судового дизеля / Владимир Васильевич Гаврилов, Владимир Юрьевич Машенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. - 2016. - № 3(37). - С. 155-166. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-155-166,
9. Якимов И.В. Метод диагностики электрогидравлических форсунок автомобиля с дизельным двигателем по параметрам давления и расхода топлива в общей обратной магистрали: Автореферат дис. кандидата технических наук: 05.22.10 // Якимов Игорь Владимирович; ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» - Иркутск, 2020 - 20 с.
10. Конькова И.Д. Диагностирование тепловозного дизеля по сигналу скорости изменения внутрицилиндрового давления: Дис. кандидата технических наук: 05.22.07 // Конькова Ирина Дмитриевна; ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» - Хабаровск, 2020 - 146 с.,
11. Алехин А.С. Оценка технического состояния судовых двигателей внутреннего сгорания по неравномерности частоты вращения коленчатого вала: Автореферат дис. кандидата технических наук: 05.08.05 // Алехин Алексей Сергеевич; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» - Новосибирск, 2017 - 19 с.,
12. Минаков В.А. Совершенствование технологии диагностирования тепловозного дизеля по результатам контроля содержания продуктов износа в моторном масле: Автореферат дис. кандидата технических наук: 05.22.07 // Минаков Виталий Анатольевич; ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения» - Омск, 2019 - 19 с.,
13. Горлушкина Н.Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем. – СПб: Университет ИТМО, 2016 – 120 с.,
14. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем СПб, Моринтех, 2001 с. 432,
15. Меняев М.Ф. Системное моделирование информационных процессов производственной организации // «Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана» Электронный журнал - 2011. - № 5. - <http://technomag.edu.ru/doc/180680.html>, (дата обращения 08.01.2022),
16. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / перевод с англ. А.А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с.



### References

1. Valiullina K.B. International legal protection and protection of the World ocean from pollution: Dis. Candidate of Legal Sciences: 12.00.10 / Valiullina Ksenia Borisovna; Kazan (Volga Region) Federal University - Kazan, 2018 - 251 p.
2. Craik N. The International Law of Environmental Impact Assessment: Process, Substance and Integration / N. Craik. - Cambridge: Cambridge University press, 2008. - 358 p.,
3. Bastmeijer K., Koivurova T. Conclusions: globalisation of transboundary environmental impact assessment / K. Bastmeijer, T. Koivurova // Theory and Practise of Transboundary Environmental Impact Assessment. - Leiden: Martinus Nijhoff. 2008. - P. 347-389.,
4. Soloviev A.V. Monitoring systems of marine diesel engines in operation // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Ser. Marine engineering and technology. - Astrakhan: AGTU, 2018. - No. 1. - pp. 87-92,
5. Volovikov, B. P. Strategic business planning at an industrial enterprise using dynamic models and scenario analysis: Monograph / B.P. Volovikov - Moscow : SIC INFRA-M, 2015. - 226 p. (Scientific Thought) ISBN 978-5-16-010608-3. - Text : electronic. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/496225> (accessed: 06.01.2022),
6. Bogatyreva E.V., Ivanovskaya A.V. Search methods for optimizing parameters of ship power plants "Society, education, science in modern development paradigms" Materials of the National Scientific and Practical Conference of the Kerch State Marine Technological University, Kerch, November 16, 2020 Kerch,
7. Saaty T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process // Management Science, 1986, July. – Vol, 32 N7 – P.841-855,
8. Gavrilov V. V. Principles of building a hierarchical complex of ship diesel diagnostics systems / Vladimir Vasilyevich Gavrilov, Vladimir Yuryevich Mashchenko // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of the Sea and River Fleet. - 2016. - № 3(37). - C. 155-166. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-155-166,
9. Yakimov I.V. Method of diagnostics of electrohydraulic injectors of a car with a diesel engine according to the parameters of pressure and fuel consumption in the common return line: Abstract of the dissertation of the Candidate of technical sciences: 05.22.10 // Yakimov Igor Vladimirovich; Irkutsk National Research Technical University - Irkutsk, 2020 - 20 p.,
10. Konkova I.D., Diesel locomotive diagnostics by the signal of the rate of change of the intracylinder pressure: Dis. Candidate of Technical Sciences: 05.22.07 // Konkova Irina Dmitrievna; Far Eastern State University of Railway Engineering - Khabarovsk, 2020 - 146 p.,
11. Alekhin A.S. Assessment of the technical condition of marine internal combustion engines by the uneven rotation frequency of the crankshaft: Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences: 05.08.05 // Alekhin Alexey Sergeevich; Siberian State University of Water Transport - Novosibirsk, 2017 - 19 p.,
12. Minakov V.A. Improving the technology of diesel locomotive diagnostics based on the results of monitoring the content of wear products in engine oil: Abstract of the dissertation of Candidate of Technical Sciences: 05.22.07 // Minakov Vitaly Anatolyevich; Omsk State University of Railway Engineering - Omsk, 2019 - 19 p.,
13. Gorlushkina N.N. System analysis and modeling of information processes and systems. - St. Petersburg: ITMO University, 2016 - 120 p.,
14. Gaikovich A.I. Fundamentals of the theory of designing complex technical systems St. Petersburg, Morintech, 2001 p. 432,
15. Menyayev M.F. System modeling of information processes of a production organization // "Science and education: scientific edition of Bauman Moscow State Technical University" Electronic journal - 2011. - No. 5. - <http://technomag.edu.ru/doc/180680.html>, (accessed 08.01.2022),
16. Goodfellow Ya., Benjio I., Courville A. Deep learning / translated from the English by A.A. Slinkin. M.: DMK Press, 2018. P. 652.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Кулагин Андрей Владимирович**  
научный сотрудник; Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации) Военной академии материально-технического обеспечения; Российская Федерация, 191123, г. Санкт-Петербург, Вознесенская набережная, 10 а, e-mail: Ku199121@mail.ru

**Andrey V. Kulagin**  
Researcher; Research Institute (Military-System Research of Material and Technical Support of Armed Forces of the Russian Federation) of Military Academy of Material and Technical Support; Russian Federation, 191123, St. Petersburg, Voznesenskaya embankment, 10 a, e-mail: Ku199121@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.01.2022; опубликована онлайн 21.03.2022.  
Received 18.01.2022; published online 21.03.2022.