

15. Leskovec J., Rajaraman A., Ullman J.D. Mining of Massive Datasets. – Cambridge University Press, 3rd edition, 2019. – 583 p.
16. Redmon J., Farhadi A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017. – 7263-7271 pp.
17. Deep Reinforcement Learning Doesn't Work Yet <https://www.alexirpan.com/2018/02/14/trl-hard.html> (Data obrashcheniya 16.12.2019)
18. Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangel'skaya E. Glubokoe obuchenie. – SPb.: Piter, 2018. – 480 s.
19. Kwanghyun K., Sungjun H., Baehoon C., Euntai K. Probabilistic Ship Detection and Classification Using Deep Learning. *Applied Sciences*, vol. 8, no. 936, 2018. – 1-17 pp.
20. Zhenfeng Shao, Wenjing Wu, Zhongyuan Wang, Wan Du, Chengyuan Li. SeaShips: a large-scale precisely annotated dataset for ship detection. *IEEE transactions on multimedia*, vol. 20, no. 10, 2018. – 2593-2604 pp.
21. Recent advances on memetic algorithms and its applications in image processing. Editors: Hemanth D.J., Kumar B.V., Karpagam Manavalan G.R. – Springer, 2020. – 199 p.

УДК 621.3

DOI: 10.34046/aumsuomt94/30

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЁЖНОСТИ БЕРЕГОВОЙ СТАНЦИИ АИС КАК ПОДСИСТЕМЫ СУДС В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ E-NAVIGATION

*Н.В. Старжинская, кандидат технических наук, доцент
А.И. Чернова, кандидат технических наук, доцент*

Современные информационные системы связи являются составной частью береговой инфраструктуры, обеспечивающей безопасность мореплавания и являющейся неотъемлемым компонентом внедряемой концепции e-Navigation, которую можно считать перспективным путем развития информационных технологий на морском транспорте. В связи с этим обеспечение надёжности берегового радиооборудования связи, входящего в состав таких систем как СУДС, является одной из важнейших эксплуатационных задач. В статье рассмотрено оборудование береговой станции АИС, являющейся компонентом СУДС, проведён анализ особенностей его эксплуатации и функционирования. Предложена математическая модель, позволяющая провести количественную оценку влияния основных параметров, характеризующих процесс функционирования и условия применения оборудования базовой станции АИС на его готовность.

Ключевые слова: надёжность, математическое моделирование, береговое радиооборудование, АИС, e-Навигация, готовность к применению, динамика функционирования, марковский процесс.

Modern information communication systems are an integral part of the coastal infrastructure that ensures the safety of navigation and is an integral component of the implemented e-Navigation concept, which can be considered a promising way to develop information technologies in Maritime transport. In this regard, ensuring the reliability of coastal radio communication equipment, which is part of such systems as VTS, is one of the most important operational tasks. The article considers the equipment of the coastal AIS station, which is a component of the VTS, and analyzes the features of its operation and functioning. A mathematical model is proposed that allows us to conduct a quantitative assessment of the influence of the main parameters that characterize the process of functioning and conditions for using the AIS base station equipment on its readiness.

Key words: reliability, mathematical modeling, coastal radio equipment, AIS, *e-Navigation*, readiness for use, dynamics of functioning, Markov process.

Развитие современных информационных технологий и систем связи охватило практически все сферы человеческой деятельности. Они стали неотъемлемой частью современного мира, существенно изменив роль человека-оператора в сложных технических системах. В том числе такие системы были внедрены и на морском транспорте для выполнения функций предупреждения и предотвращения аварийных ситуаций на море, что особенно актуально в условиях стремительного роста интенсивности судоходства, увеличения тоннажа морских судов и грузооборота морских портов. К таким системам можно отнести:

Глобальную морскую систему связи при бедствии и для обеспечения безопасности (GMDSS – Global Maritime Distress Safety System), автоматические идентификационные системы (AIS – Automatic Identification System), Системы управления движением судов (СУДС) и др. В совокупности эти системы являются составной частью береговой инфраструктуры, обеспечивающей безопасность мореплавания и являющейся неотъемлемым компонентом внедряемой концепции e-Navigation, которую можно считать перспективным путем развития информационных технологий на морском транспорте [1].

Эффективность использования навигационной информации, полученной от вышеприведенных систем, зависит напрямую от надежного комплексного функционирования береговых и судовых средств связи, работающих по единым стандартам. Поэтому перечисленные системы полностью должны соответствовать международным требованиям и обеспечивать международные стандарты по безопасности мореплавания.



Рисунок 1 – Общий принцип функционирования автоматической идентификационной системы

Автоматическая идентификационная система посредством эффективного сотрудничества с СУДС обеспечивает повышение безопасности мореплавания и жизни на море путем идентификации морских судов и других надводных объектов с помощью передачи как статической, так и динамической информации о них. Общий принцип функционирования автоматической идентификационной системы представлен на рис. 1.

Береговое оборудование АИС представляет собой элемент АИС и входит в состав СУДС. Оно осуществляет автоматическую идентификацию судов, находящихся в зоне действия СУДС. А также дополнительно предоставляет следующие функциональные возможности [2]:

- передача координат и UTC (сообщение 4);
- выдача данных (VDM), принятых из радиоканала от объектов АИС, для отображения на ПК (или дисплее АИС – опция);
- управление режимами работы судовых АИС класса А и В, АИС средств навигационного оборудования (задает сообщениями 22 и 23: регион, частоты, мощность излучения, слоты, интервалы передач сообщений 1, 18, 21);
- передача информации от имени AtoN (виртуальных и синтетических);
- обмен данными с другими объектами АИС в соответствии с установленными стандартами;
- передача и прием бинарных сообщений (6, 8, 25, 26), сообщений, касающихся безопасности плавания (12, 14), прием сообщения 9 от воздушных судов (SAR);
- выдача информации о работоспособности и режиме работы оборудования;

- передача дифференциальных поправок ГЛОНАСС/GPS в канале УКВ (сообщение 17 – опция);
- передача метеорологических данных (опция);
- передача данных о целях, не оборудованных АИС;
- ретрансляция заданных сообщений (1, 2, 3, 15, 16, 18, 25, 26);
- выдача команды АИС класса А передавать сообщение 27 в спутниковых каналах 75 и 76 в зоне действия берегового оборудования.

Оборудование АИС, применяемое в СУДС, должно соответствовать применимым эксплуатационным и техническим требованиям, отраженным в действующих международных и национальных нормативных документах, касающихся АИС. Требования к надёжности оборудования, входящего в состав СУДС согласно [3, 4] следующие: не менее 0,997 для СУДС второй категории; не менее 0,999 для СУДС первой категории; не менее 0,9995 для СУДС высшей категории.

Для обеспечения эксплуатационной надёжности берегового оборудования АИС, а также его эффективного использования, необходимо правильно и своевременно оценивать его эксплуата-

ционные показатели, учитывать динамику функционирования, а также наличие дестабилизирующих факторов.

На практике наиболее часто в качестве показателей готовности используют комплексные показатели надёжности (коэффициент готовности K_r и простоя K_n). Однако эти показатели справедливы для систем, которые могут находиться поочередно только в двух состояниях: работоспособном (выполнение заданных функций) и неработоспособном (восстановление работоспособности).

В то же время оборудование информационных систем имеет более сложную схему функционирования и большое число состояний, в которых может находиться, например, рабочий режим, режим готовности, режим технического обслуживания, восстановления работоспособности и применяется в более сложных условиях (режим воздействия помех) и др. Поэтому при анализе и оценке эксплуатационной надёжности оборудования береговой станции (БС) АИС необходимо выбрать такой показатель, который учитывал бы временные параметры указанных выше режимов, условия применения, динамику функционирования оборудования, а также наличие дестабилизирующих факторов.

С учетом вышесказанного, для анализа состояния берегового радиоборудования следует использовать такое свойство как готовность к применению, которое характеризует его приспособленность к переводу из любого исходного состояния в состояние готовности.

В результате анализа особенностей эксплуатации и функционирования берегового оборудования АИС, а также на основании соответствующей эксплуатационной документации к нему, выделим следующие основные состояния его функционирования.

1. Рабочее состояние S_0 – состояние, при котором оборудование береговой станции АИС исправно и применяется по назначению.
2. Состояние готовности S_1 – состояние, при котором аппаратура береговой станции АИС исправна, подготовлена и готова к применению, а также не занята решением навигационных задач.
3. Состояние регламентного технического обслуживания (ТО) S_2 – проведение регламентных работ по техническому обслуживанию оборудования береговой станции АИС.
4. Состояние воздействия помех S_3 – режим работы оборудования береговой станции АИС, при котором на его функционирование влияют различные виды помех (искусственного или естественного происхождения).

5. Состояние отказа S_4 – отказ и ожидание восстановления оборудования.

6. Состояние S_5 – включение резервного оборудования в случае отказа работающего.

7. Состояние S_6 – восстановление отказавших модулей.

Модель функционирования берегового оборудования АИС, в соответствии с перечисленными выше состояниями, представим с помощью графа состояний, описывающего состояния оборудования и переходы между ними (рис. 2) [5].

В качестве показателя готовности береговой станции АИС выберем вероятность её пребывания в состоянии S_1 (состояние готовности). При этом исправное состояние является необходимым, но недостаточным условием готовности береговой станции к применению в требуемый момент времени. Если оборудование береговой станции в момент t_k находится в состоянии S_0 (рабочее состояние) или S_1 , то задача по сигналу $(k+1)$ не будет выполнена, т.к. оборудование не готово к этому. Таким образом, береговое оборудование станции АИС будет готово к применению только при нахождении в состоянии S_1 , т.е. когда оно исправно, подготовлено и не занято выполнением целевых задач.

Ниже приведены обозначения и физический смысл интенсивностей переходов между состояниями графа, приведенного на рис. 2:

- λ_i – интенсивность отказов аппаратуры в i -м режиме;
- γ_0, γ_1 – интенсивности поступления команд на проведение технического обслуживания;
- γ_2 – интенсивность перехода из состояния регламентного ТО в состояние готовности;
- γ_4 – интенсивность вывода оборудования на восстановление;
- μ_2 – интенсивность перехода из состояния регламентного ТО в рабочее состояние;
- μ_6 – интенсивность восстановления аппаратуры;
- α_0 – интенсивность с состояние готовности при отсутствии информации от судов;
- α_1 – интенсивность поступления команд на применение по назначению;
- α_2, α_4 – интенсивности включения резервного оборудования;
- μ_5 – интенсивность перехода в режим готовности после включения резервного оборудования;
- $\xi_0, \xi_1 (\alpha_3, \gamma_3)$ – интенсивность воздействия помех в рабочем режиме, режиме готовности соответственно.

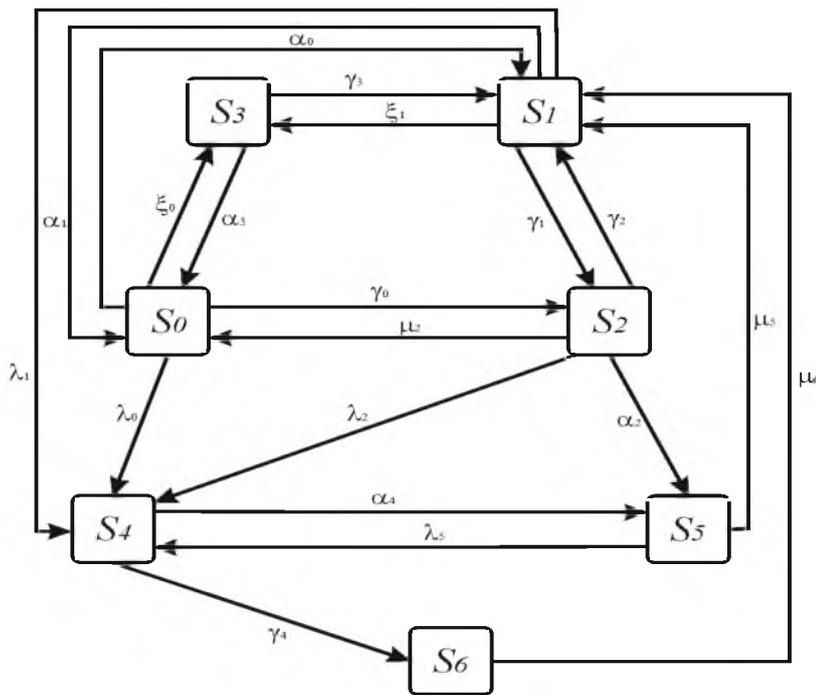


Рисунок 2 – Граф состояний, описывающий модель функционирования берегового оборудования АИС

В соответствии с составленным графом состояний и введенными обозначениями процесс функционирования оборудования береговой станции АИС описывается системой алгебраических уравнений для вероятностей P_i (1).

$$\begin{aligned}
 &-(\alpha_0 + \xi_0 + \gamma_0 + \lambda_0)P_0(t) + \alpha_1 P_1(t) + \mu_2 P_2(t) + \alpha_3 P_3(t) = 0 \\
 &-(\alpha_1 + \lambda_1 + \gamma_1 + \xi_1)P_1(t) + \alpha_0 P_0(t) + \gamma_2 P_2(t) + \gamma_3 P_3(t) + \mu_5 P_5(t) + \mu_6 P_6(t) = 0 \\
 &-(\mu_2 + \gamma_2 + \lambda_2 + \alpha_2)P_2(t) + \gamma_0 P_0(t) + \gamma_1 P_1(t) = 0 \\
 &-(\alpha_3 + \gamma_3)P_3(t) + \xi_0 P_0(t) + \xi_1 P_1(t) = 0 \\
 &-(\alpha_4 + \gamma_4)P_4(t) + \lambda_0 P_0(t) + \lambda_1 P_1(t) + \lambda_2 P_2(t) + \lambda_5 P_5(t) = 0 \\
 &-(\lambda_5 + \mu_5)P_5(t) + \alpha_2 P_2(t) + \alpha_4 P_4(t) = 0 \\
 &-\mu_6 P_6(t) + \gamma_4 P_4(t) = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

Таким образом, показатель готовности P_1 для оборудования береговой станции АИС следует трактовать как вероятность того, что оборудование исправно, подготовлено и не занято решением задач, т.е. готово к выполнению целевых задач. Эта вероятность, в свою очередь, численно равна вероятности того, что оборудование береговой станции АИС находится в режиме готовности (S_1). Следовательно, задача оценивания показателя готовности оборудования береговой станции АИС к применению сводится к определению этой вероятности.

Решая систему уравнений (1) можно определить вероятности нахождения рассматриваемой системы в различных состояниях, а также их аналитические зависимости.

Так, в результате решения системы уравнений (1) получим аналитическое выражение для показателя готовности оборудования АИС к применению P_1 :

$$P_1 = -\mu_6 \cdot (\mu_5 \lambda_4 + \gamma_4 \lambda_5 + \mu_5 \gamma_4) \frac{(K_{10} K_1 - \alpha_3 K_{11})}{(-\lambda_4 K_{17} \mu_5 - \lambda_4 \mu_6 \mu_5 - \gamma_4 K_{17} \mu_5 - \gamma_4 \lambda_5 \mu_6 - \gamma_4 \mu_6 \mu_5 - K_{16} \lambda_5 \mu_6 - K_{16} \mu_6 \mu_5 + K_{16} \mu_5 \lambda_4 + \lambda_5 \mu_6 K_{17}) \cdot K_{11} K_2} \tag{2}$$

где

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{[(\alpha_0 + \xi_0 + \gamma_0 + \lambda_0) \cdot (\mu_2 + \gamma_2 + \lambda_2 + \alpha_2) + \mu_2 \gamma_0]}{\gamma_0}, & K_2 &= \frac{[(\alpha_0 + \xi_0 + \gamma_0 + \lambda_0) \gamma_1 + \alpha_1 \gamma_0]}{\gamma_0}, \\
 K_3 &= \frac{[(\alpha_1 + \lambda_1 + \xi_1 + \gamma_1) \gamma_0 + \alpha_1 \gamma_1]}{\gamma_0}, & K_4 &= \frac{[\alpha_0 (\mu_2 + \gamma_2 + \lambda_2 + \alpha_2) + \gamma_2 \gamma_0]}{\gamma_0}, & K_5 &= \frac{(-\xi_0 \gamma_1 + \xi_1 \gamma_0)}{\gamma_0}, \\
 K_6 &= \xi_0 \frac{(\mu_2 + \gamma_2 + \lambda_2 + \alpha_2)}{\gamma_0}, & K_7 &= \frac{(-\lambda_0 \gamma_1 + \lambda_1 \gamma_0)}{\gamma_0}, & K_8 &= \frac{[\lambda_0 (\mu_2 + \gamma_2 + \lambda_2 + \alpha_2) + \gamma_2 \gamma_0]}{\gamma_0}, & K_9 &= \frac{(K_3 \alpha_3 + \gamma_3 K_2)}{K_2},
 \end{aligned}$$

$$K_{10} = \frac{(\alpha_3 + \gamma_3) \cdot K_2 + \alpha_3 K_5}{K_2}, K_{11} = \frac{K_5 K_1 + K_6 K_2}{K_2}, K_{12} = \frac{K_3 K_1 + K_4 K_2}{K_2}, K_{13} = \frac{K_7 K_1 + K_8 K_2}{K_2}, K_{14} = \frac{K_{10} K_{12} + K_9 K_{11}}{K_{11}},$$

$$K_{15} = \frac{K_{10} K_{13} K_2 - \alpha_3 K_7 K_{11}}{K_2 K_{11}}, K_{16} = \frac{\mu_5 K_{15} + \lambda_5 K_{14}}{\mu_5}, K_{17} = \frac{(\lambda_5 + \mu_5) \cdot K_{14} K_{11} + \alpha_2 K_{10} \mu_5}{\mu_5 K_{11}}.$$

Результаты расчетов с помощью представленной математической модели оценки показателей функционирования оборудования береговой станции АИС представлены на рис. 3.

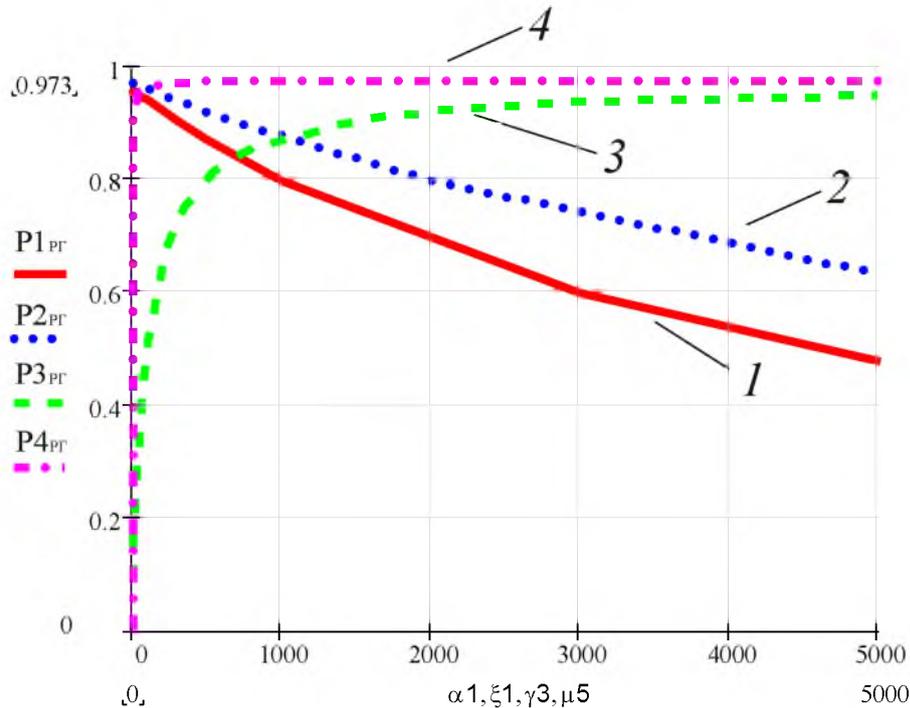


Рисунок 3 – Зависимости вероятности нахождения оборудования береговой станции АИС в режиме готовности от интенсивностей:

1 – α_2 (интенсивность поступления команд на применение), 2 – ξ_1 (интенсивность воздействия помех в режиме готовности), 3 – ξ_0 (интенсивность прекращения воздействия помех в режиме готовности), 4 – μ_5 (интенсивность перехода в режим готовности после включения резервного оборудования)

На рис. 3 приведены зависимости вероятности нахождения оборудования береговой станции АИС в состоянии готовности P_i от интенсивности поступления команд на применение α_2 , интенсивности воздействия помех в режиме готовности ξ_1 , интенсивности прекращения воздействия помех в режиме готовности ξ_0 , интенсивности перехода в режим готовности после включения резервного оборудования μ_5 . Аналогично можно построить зависимости вероятности нахождения оборудования береговой станции АИС в режиме готовности от других параметров. Кроме того, можно найти и построить зависимости вероятности нахождения оборудования БС АИС в других режимах в зависимости от изменения интересующих параметров.

Приведенная модель оценки особенностей эксплуатации оборудования береговой станции АИС по целевому назначению позволяет представить процесс его функционирования в виде графа состояний и переходов между ними. Данная математическая модель позволяет оценить показатели различных эксплуатационных свойств рассматри-

ваемого берегового оборудования, а также влияние на его работу, как нескольких отдельных факторов, так и их совокупности. Предложенная математическая модель позволяет учесть значительное количество факторов, которые влияют на готовность оборудования береговой станции АИС и с учетом этого рассчитывать коэффициент готовности в стационарном режиме. Кроме того, данная модель может быть использована для планирования применения и мероприятий по поддержанию готовности на требуемом уровне.

Таким образом, рассмотренная математическая модель оценивания готовности берегового оборудования станции АИС к применению и полученные аналитические зависимости позволяют провести количественную оценку как совместного, так и индивидуального влияния основных параметров, характеризующих процесс функционирования и условия применения оборудования АИС на их готовность, и с учетом этого определять, за счет изменения каких управляемых параметров и на какую величину можно достигнуть увеличения P_i до заданного уровня в тех или иных условиях. Это, в свою очередь, позволит находить оптимальные

пути повышения готовности оборудования АИС с учетом реальных возможностей, а также решать ряд других практических задач, возникающих при его эксплуатации.

Литература

1. Чернова А.И., Старжинская Н.В. Аналитическое моделирование эксплуатационной надёжности программного обеспечения СУДС// Механизм сбалансированного развития транспортного комплекса Юга России в условиях глобализации и санкций: материалы XIV-ой Международной научно-практической конференции 24-25 ноября 2017 г. – Новороссийск: РИО ГМУ Ф.Ф. Ушакова, 2017.
2. Береговое оборудование АИС «Транзас Т214» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.transas.ru/products/vtms/shore-based-ais-solutions/AISBaseStation>. Дата обращения: 17.03.2020.
3. Приказ Минтранса РФ от 23.07.2015 № 226.
4. Техничко-эксплуатационные требования к оборудованию автоматической идентификационной системы в составе СУДС (дополнение к ТЭТ «Системы управления движением судов» № МФ 02-22/848-70).
5. Ярлыков, М.С. Марковская теория оценивания случайных процессов / М.С. Ярлыков, М.А. Миронов. – М.: Радио и связь, 1993. – 464 с. – ил.

REFERENCES

1. Chernova A.I., Starzhinskaja N.V. Analiticheskoe modelirovanie jekspluatacionnoj nadjozhnosti programmnogo obespechenija SUDS// Mehanizm sbalansirovannogo razvitija transportnogo kompleksa Juga Rossii v uslovijah globalizacii i sankcij: materialy HIV-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 24-25 nojabrja 2017 g. – Novorossijsk: RIO GMU F.F. Ushakova, 2017.
2. Beregovoe oborudovanie AIS «Transas T214» [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.transas.ru/products/vtms/shore-based-ais-solutions/AISBaseStation>. Data obrashhenija: 17.03.2020.
3. Prikaz Mintransa RF ot 23.07.2015 № 226.
4. Tehniko-jekspluatacionnye trebovanija k oborudovaniju avtomaticheskoi identifikacionnoj sistemy v sostave SUDS (dopolnenie k TJeT «Sistemy upravlenija dvizheniem sudov» № MF 02-22/848-70).
5. Jarlykov, M.S. Markovskaja teorija ocenivanja sluchajnyh processov / M.S. Jarlykov, M.A. Mironov. – M.: Radio i svjaz', 1993. – 464 s. – il.