

УДК 519.874

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-95-100

## Модель динамического управления запасами для замены оборудования при вероятностном распределении отказов

М. Ю. Захарычев, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В. А. Тенев, доктор физико-математических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

С. В. Вологдин, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*В статье рассматриваются вопросы моделирования управления запасами комплектующих для обеспечения оперативной замены установок глубинных насосов для нефтепромысловой отрасли в случае выхода из строя оборудования. Приводится обзор литературных источников по тематике исследования, постановка задачи. Приводится обоснование выбора математической модели для решения поставленной задачи. Задача динамического управления запасами заключается в обеспечении необходимого запаса с минимальными временными потерями от вынужденного простоя при минимальных затратах на хранение и поставку комплектующих для ремонта или замены. Горизонт планирования делится на несколько временных отрезков, для которых необходимо обеспечить оптимальное количество запасов. Указывается, что при планировании запасов в случае работы большого количества единиц оборудования в разных условиях целесообразно использовать вероятностный подход. При вероятностном потоке остановки оборудования задается функция распределения событий. При детерминированном потоке событий задача решается для каждого отрезка с определением величины запаса с использованием модели Уилсона.*

*Представлены результаты имитационного моделирования по отказам установок электроприводного центробежного насоса на скважинах Вынгапуровского месторождения. Приводится гистограмма частот остановки оборудования за различные промежутки времени. Построена функция наилучшего приближения экспоненциального вида для аппроксимации количества остановок от времени монтажа до остановки оборудования, рассчитаны коэффициенты функции и среднеквадратическая ошибка аппроксимации. Приведена графическая зависимость относительной доли требующего замены работающего оборудования, а также планируемого количества установок, поставляемых для замены оборудования, от времени. Представлена динамика изменения страховочного запаса, обеспечивающего гарантированную замену вышедшего из строя оборудования в срок, в зависимости от времени.*

**Ключевые слова:** управление запасами, планирование, модель, целевая функция, вероятность, оборудование, отказы.

### Введение

Повышение эффективности производственных процессов при эксплуатации нефтепромыслового оборудования является важной задачей для реализации программ оптимизации производства, сокращения издержек и повышения уровня добычи нефтедобывающих компаний. Одним из способов повышения эффективности бизнес-процессов является, во-первых, обеспечение минимального запаса установок глубинных насосов для оперативной замены вышедшего из строя оборудования, а во-вторых, оптимального запаса комплектующих для ремонта установок в необходимый срок.

При наличии данных о периодичности замены какой-либо единицы оборудования, функционирующей в конкретных условиях, можно было бы сформулировать задачу планирования на основе применения методов продолжения временных рядов. Но для этого требуется достаточно продолжительный период наблюдения. При планировании запасов в случае работы большого количества единиц оборудования в разных условиях целесообразно использовать вероятностный подход [1].

В работе В. Короленко [2] представлена методика оптимизации запасов комплектующих изделий при управлении материально-техническим обеспечением авиационной техники, в основу которой положена концепция минимизации суммарных затрат на поставку и хранение. В современной литературе выделяют 8 мето-

дов анализа ассортимента и запасов предприятия: ABC, XYZ, FSN/FNS/FMR, RFM, VED/VEN, QRS, HML, SDE [3]. Классический ABC-анализ – метод, позволяющий классифицировать ресурсы компании по степени их важности [4]. Данный анализ является одним из методов рационализации и может быть применен в сфере деятельности любой компании. В исследовании рассмотрены проблемы использования методов ABC и HML для прогнозирования объема аварийного запаса компонентов основного оборудования на основе статистических данных энергокомпании [5]. Авторами разработана новая методика на примере определения необходимых складских запасов для производства ремонта электрооборудования. Многокритериальный ABC-анализ с использованием методов классификации на основе машинного обучения рассмотрен в работе [6]. Проведено сравнение известных методов классификации на основе искусственного интеллекта: метод опорных векторов (SVM), сети обратного распространения (BPN) и алгоритм k-ближайшего соседа (k-NN) с традиционным множественным дискриминантным анализом (MDA). Классификация запасов запасных частей с использованием нечеткого метода EDAS (Evaluation Based on Distance from Average Solution) в авиационной промышленности рассматривается в работе [7]. Основная концепция метода EDAS заключается в том, чтобы иметь дело с «отношениями превосходства» и определить приоритеты, используя положительные и отрицательные расстояния от среднего решения для оценки

выбранных альтернатив. Сравнение новых методов принятия многокритериальных решений при выборе погрузочно-разгрузочного оборудования рассмотрено в работе [8]. В работе были решены задачи выбора погрузочно-разгрузочного оборудования с использованием различных недавно разработанных многокритериальных методов принятия решений (MCDM). Вероятностный подход к многокритериальному ABC-анализу с допуском неправильной классификации рассматривается в работе [9]. Авторами предлагается метод, основанный на смешанной модели и использующий сеточный поиск для нахождения оптимальных параметров модели, называемый смешанной моделью с сеточным поиском (MMGS).

В статье Н. Макаркина [10] решается задача по оптимизации количества запасных элементов технических систем для проведения плановых и аварийных ремонтов восстанавливаемой техники и соответствующие им методы решения. В качестве критерия оптимальности рассматривается минимум суммарных затрат потребителя на приобретение, оформление заказа и издержки хранения запасных частей. Вопросы оптимального управления запасами при сокращении эксплуатационных расходов рассмотрено в монографии известного логиста Дж. Шрайбфедер [11]. Шрайбфедер указывает, что эффективное управление запасами позволяет организации удовлетворять и превышать ожидания покупателей и предлагает методику создания программы управления запасами, позволяющую добиться высокой рентабельности вложений в складские запасы.

Вопросы по допустимости использования классической модели теории управления запасами Харриса (Уилсона) при решении прикладных задач рассматривается в работах Д. Заруднева, Д. Мацюк, А. Стерлиговой и др. В частности, в работе [12] при анализе особенностей использования модели оптимального размера заказа указывается, что модель, предложенная Харрисом (Уилсоном), является одним из наиболее простых и наглядных примеров применения математического аппарата для принятия решений в экономической области. Формула Уилсона активно применяется на различных этапах производства и распределения продукции, поскольку оказывается практически полезной для принятия решений при управлении запасами, в частности приносящей определенный экономический эффект. В монографии А. Стерлиговой [13] делается вывод, что при строгом экономико-математическом анализе модель Уилсона не всегда дает возможности рассчитать оптимальный размер заказа из-за ряда допущений. Автор в работе приводит модификации формулы Уилсона для различных сценариев: с постепенным пополнением запасов, с учетом потерь от нехватки на складе, расчетом изменения размера заказа из нескольких позиций, с учетом оптовых скидок, с учетом затрат на хранение единицы площади или объема, с учетом полного объема затрат на складирование.

Вопросы обеспечения работоспособности установок глубинных насосов для нефтепромысловой отрасли

важны и нашли свое отражение в научных публикациях и в прикладных информационных системах. В частности, в информационной системе анализа отклонений и предупреждения аварийных ситуаций установок электроприводного центробежного насоса [14] решается задача определения вероятности возникновения отказов, факторов и причин прогнозируемого отказа установок электроприводного центробежного насоса (УЭЦН) и возможности принятия решений по проведению корректирующего воздействия на работу системы. В монографии [15] рассмотрены теоретические основы и практические вопросы эксплуатации энергоэффективной эксплуатации УЭЦН на объектах нефтедобывающих предприятий, приведено сравнение показателей энергоэффективности УЭЦН российского и импортного производства.

### Постановка задачи

Оборудование УЭЦН состоит из погружной части, спускаемой в скважину вертикально на колонне НКТ (насосно-компрессорная труба), и наземной части, соединенных между собой погружным силовым кабелем. Данное оборудование установлено в большом количестве скважин. При остановке оборудования заменяется на новое. Задача заключается в обеспечении необходимого запаса с минимальными потерями от вынужденного простоя при минимальных затратах на хранение и поставку комплектующих для ремонта или замены. Горизонт планирования делится на несколько временных отрезков, для которых необходимо обеспечить оптимальное количество запасов. Таким образом, ставится задача динамического управления запасами.

Обозначим  $\Delta t_i$  продолжительность  $i$ -го периода планирования. Запас, создаваемый в период  $\Delta t_i$ , обозначим  $z_i$ , остаток запаса от предыдущего периода обозначим  $q_i$ . Будем считать, что за рассматриваемый период  $\Delta t_i$  произойдет  $x_i$  случаев, требующих замены оборудования. Потери, связанные с остановкой работы незаменного оборудования, примем пропорциональными величине  $x_i - z_i$  с коэффициентом  $H$ . Затраты на хранение пропорциональны  $z_i - q_i$  с коэффициентом  $C$ . Расходы на пополнение запасов представим в виде  $(R + ax_i)(z_i - q_i)$ . Необходимо минимизировать все потери за рассматриваемое время  $T = \sum_{i=1}^k \Delta t_i$ .

### Математическая модель

При детерминированном потоке событий  $x_i$  эта задача решается для каждого отрезка  $\Delta t_i$  с определением величины запаса по формуле Уилсона.

При вероятностном потоке остановки оборудования требуется задание функции распределения событий. Для отдельно взятого промежутка времени эта задача рассмотрена в [16]. Рассмотрим имеющиеся результаты по остановкам УЭЦН на примере скважин Вынгапуровского нефтегазового месторождения. На рис. 1 показана гистограмма частот остановок оборудования за различные промежутки времени.

Аппроксимация количества остановок от времени монтажа до остановки оборудования показана на рис. 2.

Аппроксимирующая зависимость имеет вид:

$$f(t) = N \frac{\left(\frac{t}{T}\right)^\alpha}{\beta^2} \exp\left[-\gamma\left(\frac{t}{T\beta}\right)^2\right], \quad (1)$$

где коэффициенты  $\alpha = 0,231$ ;  $\beta = 4,317$ ;  $\gamma = 35,02$ ;  $N$  – общее количество остановок за время  $T$ . Среднеквадратичное отклонение точек от аппроксимирующей зависимости  $\sigma = 14,2$ .

Зависимость (1) обобщает распределение Рэля введением двух коэффициентов  $\alpha > 1$ ;  $\gamma > 1$ .

Распределение отклонения и кривая нормального распределения показаны на рис. 3.

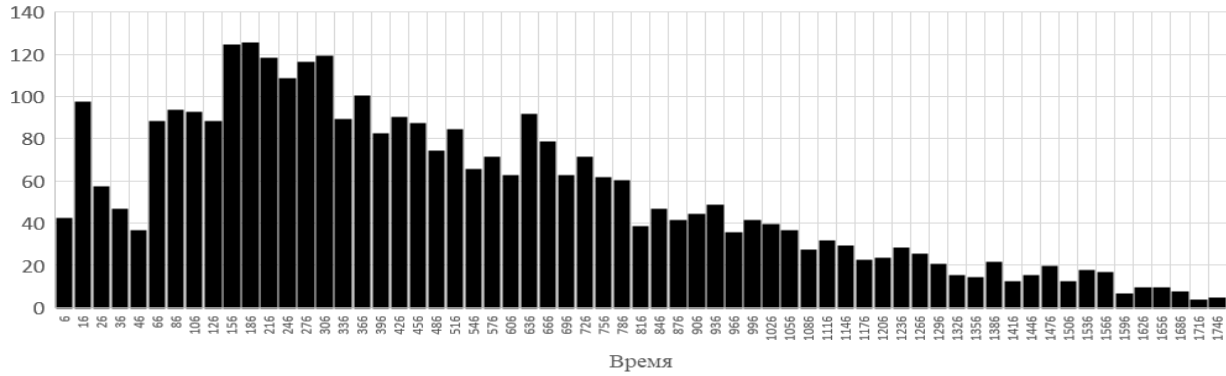


Рис. 1. Гистограмма частот остановки оборудования

Fig. 1. Histogram of equipment shutdown frequencies

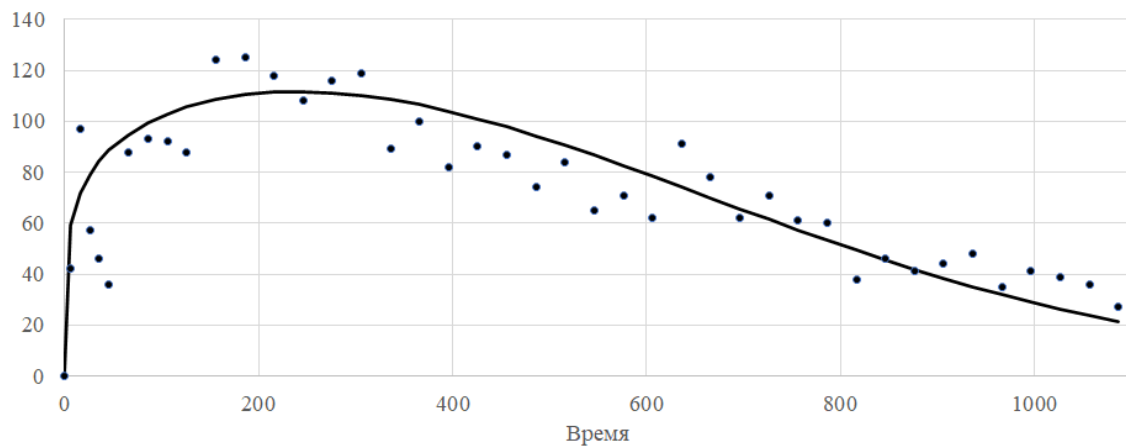


Рис. 2. Аппроксимация количества остановок от времени монтажа до остановки оборудования

Fig. 2. Approximation of the number of stops from the installation time to the equipment stop

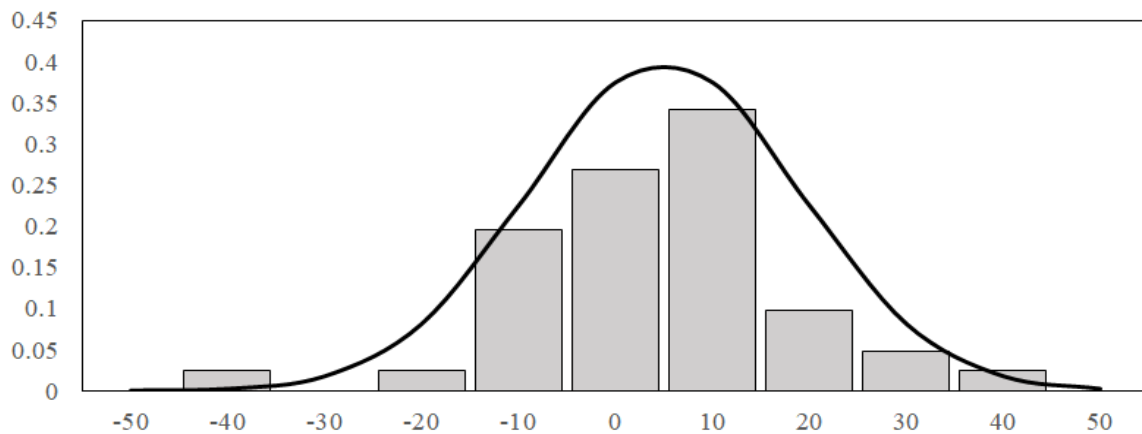


Рис. 3. Распределение отклонения и кривая нормального распределения

Fig. 3. Deviation distribution and normal distribution curve

Проверка гипотезы о нормальности распределения отклонения показала уровень доверительной вероятности 0,95.

На основе формулы (1) определим предполагаемый график замены вышедшего из строя оборудования. Формула (1) показывает зависимость количества остановок от величины промежутка времени. В течение планируемого периода  $T$  в некоторых промежутках замена оборудования потребует несколько раз. Ожидаемая потребность в оборудовании для замены в каждом интервале  $\Delta t_i$  определяется выражением:

$$x_i = \sum_{k=0}^i x_k \frac{f(\Delta t_{i-k})}{N}, \quad i = \overline{1, K}. \quad (2)$$

Целевая функция, определяющая суммарные потери за планируемый интервал  $T$ , имеет вид:

$$P(z) = \sum_{i=1}^K H \int_{z_i}^{\infty} (x_i - z_i) \varphi(\xi) d\xi + C \int_0^{z_i} (z_i - x_i) \varphi(\xi) d\xi + (R + ax_i)(z_i - q_i), \quad (3)$$

где  $\mathbf{z} = (z_i)^T$  – вектор запасов;  $q_i = z_i - x_i$  – остаток запаса; функция плотности нормального распределения:

$$\varphi(\xi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-0,5\left(\frac{\xi - x_i}{\sigma}\right)^2\right).$$

Условие минимума целевой функции (3):

$$\frac{\partial P}{\partial z_i} = 0, \quad i = \overline{1, K}, \quad \text{что дает уравнения}$$

$$H(F_i - 1) + CF_i - (R + ax_i)F_i + R = 0, \quad i = \overline{1, K} \quad (4)$$

Здесь  $F_i = F(z_i)$  – интегральная функция вероятности. Обозначив  $F_i^{-1}$  значение обратной функции и  $y_i = \frac{H - R}{H + C - ax_i}$ , получим из (4) выражение для оптимальных запасов в каждом периоде  $\Delta t_i$ :

$$z_i = x_i + \sqrt{2\sigma} F_i^{-1}(y_i), \quad i = \overline{1, K}. \quad (5)$$

**Результаты расчетов**

Продолжительность плановых отрезков  $\Delta t_i$  составляет 30 дней. Расчетная ожидаемая потребность в оборудовании для замены в каждом интервале представлена на рис. 4.

На рис. 4 показана относительная доля требующего замены работающего оборудования в зависимости от времени (тонкая линия). Жирной линией показано планируемое количество установок, поставляемое для замены, также отнесенное к общему количеству обслуживаемых скважин.

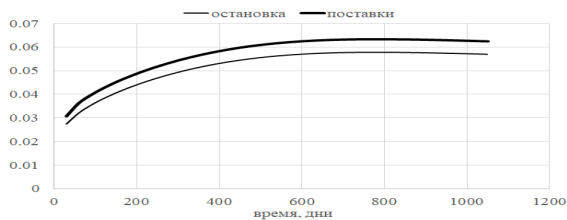


Рис. 4. Ожидаемая потребность в оборудовании

Fig. 4. Expected demand for equipment

Страховочный запас, обеспечивающий гарантированную замену вышедшего из строя оборудования в срок, обусловленный случайным характером остановок, приведен на рис. 5

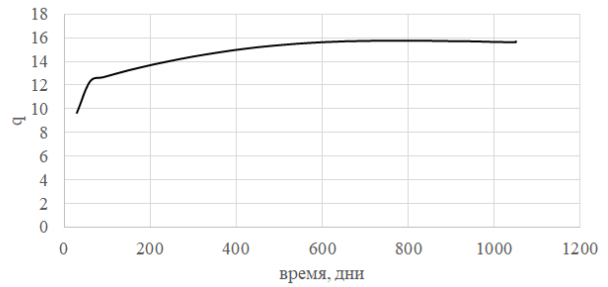


Рис. 5. Остаток оборудования на складе

Fig. 5. The rest of the equipment in the warehouse

Величина целевой функции определяется коэффициентами  $H, C, R, a$ .

Для значений коэффициентов  $H = 1, C = 1, R = 0,5$  приведена оптимальная величина потерь в зависимости от величины коэффициента  $a$  (рис. 6).

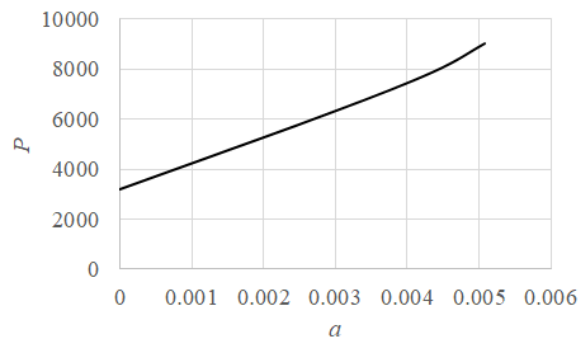


Рис. 6. Оптимальное значение потерь в зависимости от величины  $a$

Fig. 6. The optimal value of losses depending on the value of  $a$

**Заключение**

В работе рассмотрена задача обеспечения необходимого запаса оборудования с минимальными потерями от вынужденного простоя при минимальных затратах на хранение и поставку комплектующих для ремонта или замены при вероятностном потоке распределения количества вышедшего из строя оборудования.

Составлена математическая модель выбора запасов необходимого для замены нефтепромыслового оборудования и предложен алгоритм решения задачи.

Приведен анализ результатов имитационного моделирования на примере скважин одного из крупных месторождений нефтедобычи. В частности, приведена графическая зависимость относительной доли требующего замены работающего оборудования, а также планируемого количества установок, поставляемых для замены оборудования, от времени. Представлена динамика изменения страховочного запаса, обеспечивающего гарантированную замену вышедше-

го из строя оборудования в срок, в зависимости от времени. Проведенная проверка гипотезы о нормальности распределения отклонения показала уровень достоверной вероятности 0,95, таким образом, полученные данные можно считать надежными (достоверными).

#### Библиографические ссылки

1. Бром А. Е., Сидельников И. Д. Оптимизация многономенклатурного запаса для техники военного и специального назначения при заданных условиях отказа // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 3 (81). С. 80–84.
2. Короленко В. В., Грибанов В. В., Дорошенко А. Б. Методика оптимизации запасов комплектующих изделий при управлении материально-техническим обеспечением авиационной техники // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2019. № 11. С. 104–113.
3. Быстрицкая Я. М. Логистические методы анализа и управления ассортиментом предприятий розничной торговли // Управление. 2015. № 1 (53). С. 69–73.
4. Ultsch Alfred, Lötsch Jörn. Computed ABC Analysis for Rational Selection of Most Informative Variables in Multivariate Data // PloS ONE. 2015 10(6): e0129767. DOI 10.1371/journal.pone.0129767.
5. Применение ABC и HML-методик для определения и оптимизации запаса комплектующих электротехнического оборудования / А. В. Белоглазов, А. Г. Русина, О. В. Фоменко и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 3. С. 103–115. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-103-115.
6. Yu, Min-Chun. Multi-criteria ABC analysis using artificial-intelligence-based classification techniques // Expert Systems with Applications. 2011. 38. Pp. 3416-3421. DOI 10.1016/j.eswa.2010.08.127.
7. Cakmak Emre, Güney Eda. Spare Parts Inventory Classification Using Neutrosophic Fuzzy Edas Method in the Aviation Industry // Expert Systems with Applications. 2023. 224. 120008. DOI 10.1016/j.eswa.2023.120008.
8. Mathew Manoj, Sahu Sagar. Comparison of new multi-criteria decision making methods for material handling equipment selection // Management Science Letters. 2018. 8. 139-150. DOI 10.5267/j.msl.2018.1.004.
9. Zhang Zeyu, Li Kevin, Guo Xiaolei, Huang Jun. A probability approach to multiple criteria ABC analysis with misclassification tolerance // International Journal of Production Economics. 2020. 229. 107858. DOI 10.1016/j.ijpe.2020.107858.
10. Макаркин Н. П. Экономическая оптимизация количества запасных элементов технических систем с учетом фактора надежности // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 448–461. DOI 10.15507/0236-2910.026.201604.448-461.
11. Шрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами. М. : Альпина Бизнес Букс, 2016. 304 с.
12. Заруднев Д. И., Мацюк Д. А. Особенности использования модели оптимального размера заказа // Техника и технологии строительства. 2019. № 1 (17). С. 39–42.
13. Стерлигова А. Н. Управление запасами в цепях поставок. М. : НИЦ ИНФРА-М, 2022. 430 с.
14. Свидетельство № 2021666122. Информационная система анализа отклонений и предупреждения аварийных ситуаций установок электроприводного центробежного насоса: программа для ЭВМ / П. С. Музычук, А. Н. Умнов, В. Э. Нестеренко [и др.]; правообладатель публичное акционерное общество «Газпром нефть». Заявл. 19.09.2021; опублик. 08.10.2021.
15. Теория и практика энергоэффективной эксплуатации установок электроприводных центробежных насосов

для добычи нефти / С. А. Нонява, А. В. Куршев, А. А. Ишмурзин, В. У. Ямалиев. Уфа : Башкирская энциклопедия, 2020. 288 с. ISBN 978-5-88185-470-6.

16. Зайченко Ю. П. Исследование операций. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1988. 562 с. ISBN 5-11-00226-6

#### References

1. Brom A.E., Sidel'nikov I.D. *Optimizatsiya mnogomenklaturnogo zapasa dlya tekhniki voennogo i spetsial'nogo naznacheniya pri zadannykh usloviyakh otказа* [Optimization of a multi-item stock for military and special-purpose equipment under specified failure conditions]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2018, vol. 81, no. 3, pp. 80-84 (in Russ.).
2. Korolenko V.V., Griбанov V.V., Doroshenko A.B. *Metodika optimizatsii zapasov komplektuyushchikh izdelii pri upravlenii material'no-tekhnicheskim obespecheniem aviatsionnoi tekhniki* [Methodology for optimizing inventories of components when managing the logistics of aviation equipment]. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2019, no. 11, pp. 104-113 (in Russ.).
3. Bystritskaya Ya. M. *Logisticheskie metody analiza i upravleniya assortimentom predpriyatii roznicnoi torgovli* [Logistics methods for analyzing and managing the assortment of retail enterprises]. *Upravlenets*, 2015, vol. 53, no. 1, pp. 69-73 (in Russ.).
4. Ultsch Alfred, Lötsch Jörn. [Computed ABC Analysis for Rational Selection of Most Informative Variables in Multivariate Data]. *PloS ONE*, 2015 vol. 10, no. 6, 0129767. DOI 10.1371/journal.pone.0129767.
5. Beloglazov A.V., Rusina A.G., Fomenko O.V. i dr. *Primenenie ABC i HML-metodik dlya opredeleniya i optimizatsii zapasa komplektuyushchikh elektrotekhnicheskogo oborudovaniya* [Application of ABC and HML methods to determine and optimize the inventory of electrical equipment components]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*, 2021, vol. 23, no. 3, pp. 103-115 (in Russ.). DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-103-115.
6. Yu, Min-Chun. [Multi-criteria ABC analysis using artificial-intelligence-based classification techniques]. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38, pp. 3416-3421. DOI 10.1016/j.eswa.2010.08.127.
7. Cakmak Emre, Güney Eda. [Spare Parts Inventory Classification Using Neutrosophic Fuzzy Edas Method in the Aviation Industry]. *Expert Systems with Applications*, 2023, vol. 224, 120008. DOI 10.1016/j.eswa.2023.120008.
8. Mathew Manoj, Sahu Sagar. [Comparison of new multi-criteria decision making methods for material handling equipment selection]. *Management Science Letters*, 2018, vol. 8, pp. 139-150. DOI 10.5267/j.msl.2018.1.004.
9. Zhang Zeyu, Li Kevin, Guo Xiaolei, Huang Jun. [A probability approach to multiple criteria ABC analysis with misclassification tolerance]. *International Journal of Production Economics*, 2020, vol. 229, 107858. DOI 10.1016/j.ijpe.2020.107858.
10. Makarkin N.P. *Ekonomicheskaya optimizatsiya kolichestva zapasnykh elementov tekhnicheskikh sistem s uchetom faktora nadezhnosti* [Economic optimization of the number of spare elements of technical systems taking into account the reliability factor]. *Vestnik Mordovskogo universiteta*, 2016, vol. 26, no. 4, pp. 448-461 (in Russ.). DOI 10.15507/0236-2910.026.201604.448-461.
11. Shraibfeder Dzh. *Effektivnoe upravlenie zapasami* [Operations Research]. Moscow, Al'pina Biznes Buks Publ., 2016, 304 p. (in Russ.).
12. Zarusnev D. I., Matsyuk D. A. *Osobennosti ispol'zovaniya modeli optimal'nogo razmera zakaza* [Features of using the optimal order size model]. *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva*, 2019, vol. 17, no. 1, pp. 39-42 (in Russ.).

13. Sterligova A. N. Upravlenie zapasami v tsepyakh postavok [Inventory management in supply chains]. Moscow, NITs INFRA-M Publ., 2022, 430 p. (in Russ.).

14. Muzychuk P.S., Umnov A.N., Nesterenko V.E. i dr. Informatsionnaya sistema analiza otklonenii i preduprezhdeniya avariinykh situatsii ustanovok elektroprivodnogo tsentrobezhnogo nasosa [Information system for analysis of deviations and prevention of emergency situations of electric centrifugal pump installations]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM RF, no. 2021666122, 2021.

15. Nonyava S.A., Kurshev A.V., Ishmurzin A.A., Yamaliev V.U. Teoriya i praktika energoeffektivnoi ekspluatatsii ustanovok elektroprivodnykh tsentrobezhnykh nasosov dlya dobychi nefi [Theory and practice of energy-efficient operation of electric centrifugal pumps for oil production]. Ufa: Bashkirskaya entsiklopediya Publ., 2020, 288 p. (in Russ.). ISBN 978-5-88185-470-6.

16. Zaichenko Yu. P. Issledovanie operatsii [Operations Research]. Kiev: Vishcha shkola. Golovnoe Publ., 1988, 562 p. (in Russ.). ISBN 5-11-00226-6.

\* \* \*

### Dynamic Inventory Management Model for Equipment Replacement with Probabilistic Distribution of Failures

*M. Yu. Zakharychev*, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

*V. A. Tenenev*, DSc. in Physics and Mathematics, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

*S. V. Vologdin*, DSc. in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

*The article deals with the issues of inventory management modeling of components to ensure the prompt replacement of deep-water pump installations for the oilfield industry in case of equipment failure. The review of literary sources on the subject of the study and the problem statement is given. The rationale for choosing a mathematical model for problem solution is given. The task of dynamic inventory management is to provide the necessary stock with minimal temporary losses from forced downtime at minimal component storage and supply cost for repair or replacement. The planning horizon is divided into several time periods where optimal amount of inventory is to be ensured. It is indicated that when planning stocks in the case of a large number of pieces of equipment operating under different conditions, it is advisable to use a probabilistic approach. An event distribution function is set for probabilistic flow of equipment shutdown. The problem is solved for each segment defining the margin value by means of the Wilson model for deterministic flow of events.*

*The results of simulation modeling on the shutdowns of electric drive centrifugal pump installations at the wells of the Vyngapurovskoye field are presented. A histogram of equipment shutdown frequencies for various time intervals is given. An exponential best approximation function is constructed to approximate the number of stops from installation time to equipment stop, the function coefficients and the standard approximation error are calculated. The characteristic curve of the relative proportion of the operating equipment requiring replacement, as well as the planned number of installations supplied for equipment replacement, with time is given. The dynamics of safety margin changes, which ensures the guaranteed replacement of failed equipment on time with respect to time, is presented.*

**Keywords:** inventory management, planning, model, objective function, probability, equipment, failures.

Получено: 13.11.23

#### Образец цитирования

*Захарычев М. Ю., Тенев В. А., Вологдин С. В.* Модель динамического управления запасами для замены оборудования при вероятностном распределении отказов // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 4. С. 95–100. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-95-100.

#### For Citation

*Zakharychev M.Yu., Tenenev V.A., Vologdin S.V.* [Dynamic Inventory Management Model for Equipment Replacement with Probabilistic Distribution of Failures]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 4, pp. 95-100. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-95-100.