

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ И АГРЕГАТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО УРОВНЯМ ИХ ХРАНЕНИЯ

**Николай Александрович Озерной
Владимир Владимирович Дронов
Алексей Викторович Крымов**

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Министерства обороны Российской Федерации

Одним из основных условий эффективного функционирования предприятий АПК является создание системы технического обслуживания отдельных агрегатов, оборудования, сельскохозяйственных машин, технологических систем, а также оказания технологических, транспортных и других услуг. Если такие работы, как техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственного оборудования, являются прогнозируемыми, то мероприятия, связанные с восстановлением работоспособности или замены агрегатов при отказах, сопровождаются их долгим простоем из-за отсутствия запасных частей, а также долгим рассмотрением заявок на восстановление исправности техники, что может привести к снижению производства сельскохозяйственной продукции. Для решения вопроса, связанного с сокращением времени простоя при отказах, а также своевременного проведения планового обслуживания необходимо определить количество запасных частей и агрегатов, которое обеспечит требуемую готовность к применению техники, используемой в АПК, с учетом стоимости закупки, доставки и хранения. Рассматривая систему, состоящую из n -го количества предприятий АПК (отрасли, подотрасли, интегрированные формирования и т.п.), для снижения объема запасов, предназначенных для обеспечения эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники, необходима их централизация, а также поддержание на складе уровня запасов не ниже минимальной нормы, которая обеспечивает требуемую готовность к применению сельскохозяйственной техники. Целью работы является повышение эффективности технического сервиса регионального АПК (или отраслевого кластера) на основе вероятностной модели оптимального распределения запасных частей и агрегатов по трем уровням их хранения с учетом стоимости закупки, доставки и хранения, при условии поддержания требуемого уровня готовности эксплуатируемой сельскохозяйственной техники не ниже нормы. Также рассмотрены стратегии пополнения запасов и методики определения рационального местоположения распределительных центров, обеспечивающих предприятия АПК запасными частями и агрегатами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: агропромышленный комплекс, запасы, уровни хранения, оптимальное распределение, спрос на запасные части, технический сервис.

LOGISTIC APPROACH TO OPTIMIZING THE DISTRIBUTION OF SPARE PARTS AND MAJOR COMPONENTS OF ENGINEERING SYSTEMS BY STORAGE LEVELS

**Nikolay A. Ozernoy
Vladimir V. Dronov
Aleksey V. Krymov**

Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky
and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation

One of the main conditions for the efficient functioning of agricultural enterprises is the creation of a maintenance system for individual units, equipment, agricultural machinery and engineering systems and the provision of technological, transportation and other services. Such works as technical maintenance and repair of agricultural equipment are predictable, unlike the activities related to the restoration of serviceability or replacement of units in case of failures that are accompanied by long downtime due to the absence of spare parts and long processing of applications for the restoration of serviceability of machinery. This can lead to a decline in the production of agricultural products. In order to solve the problem of reducing the downtime for failures and providing timely sched-

uled maintenance it is necessary to determine the required number of spare parts and major components that will ensure the required readiness for the use of machinery in Agro-Industrial Complex, taking into account the costs of procurement, delivery and storage. Considering the system composed by n number of agroindustrial enterprises (industries, subsectors, integrated formations, etc.), in order to reduce the stocks intended for maintenance and repairs of agricultural machinery it is necessary to centralize them and maintain the stocks at the level not below the minimum standard, which ensures the required readiness for the use of agricultural machinery. The objective of this work is to increase the efficiency of technical servicing of regional Agro-Industrial Complex (or industrial cluster) on the basis of the probabilistic model of optimal distribution of spare parts and major components by three storage levels taking into account the costs of procurement, delivery and storage, provided that the required level of readiness of the operating agricultural machinery is not below the norm. The authors have also considered strategies of stock replenishment and methods for determining the rational location of distribution centers that supply agroindustrial enterprises with spare parts and major components.

KEY WORDS: Agro-Industrial Complex, stocks, storage levels, optimal distribution, demand for spare parts, technical service.

Научно-технический прогресс в сельском хозяйстве, насыщение его современной техникой становятся главным фактором повышения эффективности всего агропромышленного комплекса. Для обеспечения бесперебойной работы технических систем предусматривается создание системы технического обслуживания и оказания технологических, транспортных и других услуг.

Своевременность и бесперебойность снабжения запасными частями предприятий АПК любого уровня, отраслевых кластерных структур, интегрированных агропромышленных формирований и т.п., эксплуатирующих сельскохозяйственную технику, является одним из необходимых условий их функционирования [10].

Для обеспечения эффективного технического сервиса при проведении планового технического обслуживания и восстановления сельскохозяйственной техники при отказах создаются запасы агрегатов и их комплектующих. Для снижения объема этих запасов, предназначенных для обеспечения эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники, необходима их централизация. С другой стороны, при централизации на показатели готовности к применению сельскохозяйственной техники сказывается время доставки запасов с центральных складов и распределительных центров [4, 7].

Этим обусловлена необходимость поддержания на складе агропромышленного комплекса уровней запасов не ниже минимальной нормы, которая обеспечивает требуемую готовность к применению сельскохозяйственной техники [8].

Цель работы – разработка вероятностной модели формирования и распределения запасных частей и агрегатов агропромышленного комплекса по уровням их хранения, с учетом стоимости закупки, доставки и хранения, при условии поддержания требуемого уровня готовности к применению эксплуатируемой сельскохозяйственной техники не ниже нормы.

Складская сеть, через которую осуществляется распределение материальных потоков, является значимым элементом логистической системы. Далее представлено практическое предложение по рациональному расположению распределительного центра на обслуживаемой территории с учетом разновидности транспорта.

Рассмотрим модель системы распределения материального потока (рис. 1 [3]).

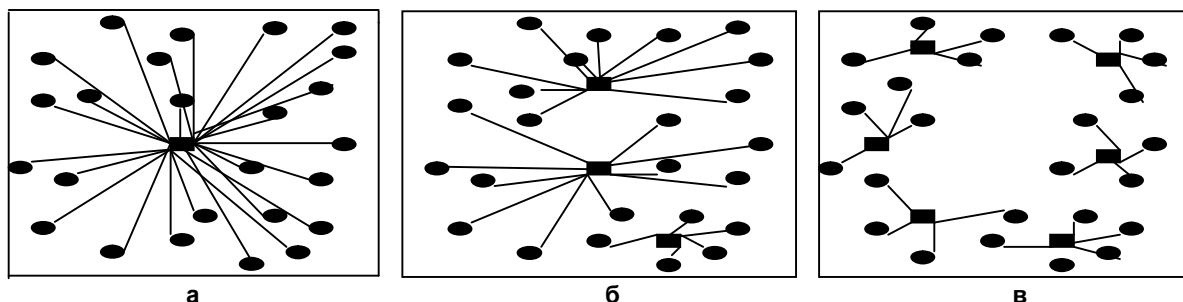


Рис. 1. Варианты организации распределения материального потока

На рисунке 1 представлены три варианта организации распределения, реализуемые с помощью одного, трех или шести складов (рис. 1, а, б и в соответственно).

Вариант «а» предполагает, что транспортные расходы по доставке будут наибольшими, вариант «в» – транспортные расходы по доставке грузов будут минимальными, при этом увеличиваются эксплуатационные расходы, затраты на доставку на склады, на управление всей распределительной системой. Возможно, что предпочтительнее окажется вариант «б», согласно которому обслуживание производится тремя складами.

Однако величина транспортных расходов может существенно меняться в зависимости не только от количества складов, но также и от места расположения этих складов на обслуживаемой территории.

Тесную зависимость транспортных издержек по товароснабжению от расположения распределительного центра иллюстрирует пример, приведенный на рисунке 2 [3]. Представленная здесь модель системы распределения содержит один склад, который, очевидно, целесообразно разместить в центре района, а не на окраине.

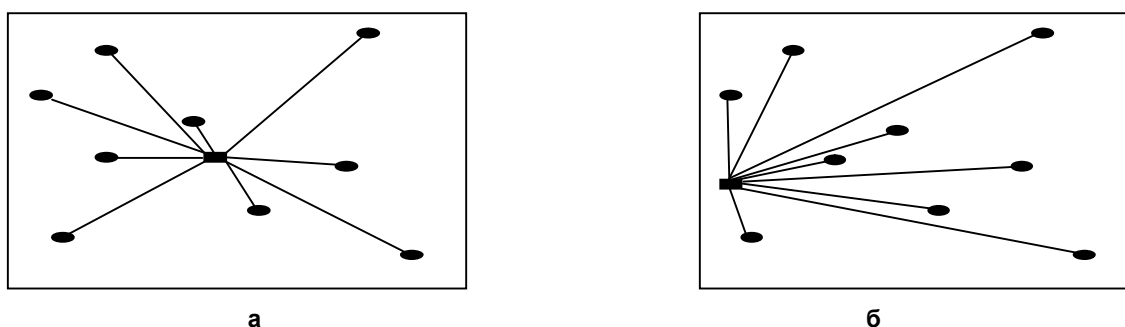


Рис. 2. Варианты размещения распределительного центра на обслуживаемой территории: а – рациональный; б – нерациональный (пробег транспорта увеличен в 1,75 раза)

Задача размещения распределительных центров может формулироваться как поиск оптимального или же субоптимального решения.

Наукой и практикой выработаны разнообразные методы решения задач обоих видов. Кратко охарактеризуем некоторые из них [3, 5].

1. Метод полного перебора.

Данная задача решается методом полного перебора и оценкой всех возможных вариантов размещения распределительных центров. Ввиду разветвленных транспортных сетей этот метод может оказаться неприменимым, вследствие увеличения масштабов транспортной сети, что связано с увеличением количества возможных вариантов и трудоемкостью решения.

2. Эвристический метод.

В основе данного метода заложены человеческий опыт и интуиция. По существу, метод основан на «правиле большого пальца» (метод Палетто, или АВС-метод), т.е. на предварительном отказе от очевидных неприемлемых вариантов. Благодаря этому задача сокращается до управляемых размеров количества альтернатив, которые необходимо оценить.

3. Метод определения центра тяжести.

Используется для определения места расположения одного распределительного центра. Метод аналогичен определению центра тяжести физического тела.

При выборе местоположения распределительного центра наибольшее внимание уделяется транспортным расходам, связанным с доставкой материальных средств распределительному центру и с центра потребителям. Чем ниже эти совокупные расходы, тем эффективнее вариант выбора.

Задача определения точки территории, соответствующей распределительному складу, может быть решена при помощи соответствующих формул.

Определение центра массы или центра равновесной системы рассчитывается по формуле

$$M_{x(y)} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{Pi} X_{Pi} (Y_{Pi}) Q_{Pi} + \sum_{j=1}^n T_{Kj} X_{Kj} (Y_{Kj}) Q_{Kj}}{\sum_{i=1}^m T_{Pi} Q_{Pi} + \sum_{j=1}^n T_{Kj} Q_{Kj}}, \quad (1)$$

где M – центр массы или центр равновесной системы транспортных затрат;

T_{Pi} – транспортный тариф для поставщика на перевозку груза;

T_{Kj} – транспортный тариф для клиента на перевозку груза;

X_{Pi} – расстояние от начала выбранной системы координат до i -го поставщика ($i = 1, 2, \dots, m$);

R_{Kj} – расстояние от начала выбранной системы координат до j -го клиента ($j = 1, 2, \dots, n$);

Q_{Pi} – вес (объём) МС, отправляемый i -м поставщиком ($i = 1, 2, \dots, m$);

Q_{Kj} – вес (объём) МС, получаемый j -м клиентом ($j = 1, 2, \dots, n$).

При решении задачи рационального расположения распределительного центра будем считать:

1) транспортные тарифы одинаковы на всём пути перемещения материальных средств выбранным видом транспорта;

2) воздушные перевозки осуществляются по кратчайшим расстояниям между пунктами назначения;

3) распределительный центр выбирается из множества мест расположения авиационных частей объединения.

Для осуществления перевозок местоположение распределительного центра будем искать по минимальному значению функционала

$$F = \min_l \left[\sum_{i=1}^m a_i R_{Pli} + \sum_{j=1}^n b_j R_{Klj} \right], \quad (2)$$

где R_{Pli} – расстояние (в соответствии с транспортной сетью) от i -го поставщика до l -го предполагаемого распределительного центра;

R_{Klj} – расстояние (в соответствии с транспортной сетью) от j -го клиента до l -го предполагаемого распределительного центра;

a_i – масса перевозимых материальных средств от i -го поставщика до предполагаемого распределительного центра;

b_j – масса перевозимых материальных средств от распределительного центра до j -го клиента.

Необходимо отметить тот факт, что в качестве R_{Pli} и R_{Klj} выбираются кратчайшие расстояния в имеющейся транспортной сети.

Для обоснования, разработки и применения методик расчета и оценки запасных частей должны быть учтены стратегии пополнения запасов.

Предлагается использовать четыре варианта стратегий пополнения запасов:

- вариант 1 – периодическое пополнение (условный индекс $\alpha_i = 1$);

- вариант 2 – периодическое пополнение с экстренными доставками ($\alpha_i = 2$);

- вариант 3 – непрерывное пополнение ($\alpha_i = 3$);

- вариант 4 – пополнение по уровню неснижаемого запаса ($\alpha_i = 4$).

Каждый отдельный запас может пополняться в общем случае по своей отдельной стратегии, отличающейся от других как типом, так и значениями числовых параметров. В практических расчетах целесообразно запасы составных частей (СЧ), имеющих примерно одинаковые характеристики (интенсивность замен, стоимость, габариты, возможность восстановления после отказа и др.), объединять в группы с одинаковой стратегией пополнения.

Стратегия периодического пополнения с экстренными доставками предусматривает условие, при котором, кроме планового пополнения запаса с периодичностью T_{ni} , в случае отказа по i -му запасу может быть осуществлено экстренное пополнение до начального уровня за время экстренной доставки $T_{\partial i}$. Указанную стратегию рекомендуется применять для тех запасов, которые при стратегии $\alpha_i = 1$ оказываются большими по затратам (например, по массогабаритным параметрам или стоимости), т.е. для запасов крупногабаритных, дорогих и относительно ненадежных СЧ. Применять данную стратегию целесообразно, когда дополнительные финансовые затраты на реализацию экстренных доставок имеют приемлемую величину (например, не менее чем в два раза ниже стоимости дополнительных запасных частей, которые следовало бы включить в запас при периодическом пополнении).

Стратегию непрерывного пополнения применяют для запасов восстанавливаемых СЧ, которые восстанавливаются в ремонтном органе и возвращаются в тот комплект ЗИП, из которого были взяты. Данную стратегию следует использовать также в двухуровневых системах запаса для пополнения запасов в одиночных комплектах из группового комплекта запасов системы.

Характерным для стратегии непрерывного пополнения является то, что заявка на пополнение формируется по каждой отказавшей ЗЧ отдельно, а время доставки (ремонта) при этом отсчитывается от момента изъятия из запаса (отказа СЧ в изделии) и поэтому может быть существенно меньшим, чем T_{ni} при периодическом пополнении.

Стратегия пополнения по уровню неснижаемого запаса предусматривает условие, при котором каждый раз после последнего обращения к запасу данного типа в нем остается k_i запасных частей. Запас пополняется до начального уровня за время $T_{\partial i}$. Данную стратегию рекомендуется применять для запасов относительно ненадежных, но дорогих СЧ в тех случаях, когда длительные простои системы из-за их отсутствия в запасе приводят к недопустимому снижению эффективности или недопустимым технико-экономическим потерям.

Рассмотрим стохастическую модель управления запасами, у которой спрос на запасные части является дискретным и случайным. Сделаем допущение, что спрос на запасные части является простейшим случайным потоком (стационарным, без последствия и ординарным) [1].

Рассмотрим три уровня хранения: склад j -го агропромышленного комплекса, k -й распределительный центр (РЦ) и m -й поставщик.

Технические системы (агрегаты) в разной степени влияют на обеспечение выполнения задач, стоящих перед АПК по предназначению в целом. Поэтому при планировании потребности и управлении запасами необходимо учитывать степень важности той или иной технической системы (агрегата).

Рассмотрим условия выбора коэффициента, определяющего степень важности технической системы (агрегата):

$$K_j^{зад} = \prod_{l=1}^L K_{lj}^{зад}; \quad (3)$$

$$K_{jcp}^{зад} = \sqrt[L]{K_j^{зад}}; \quad (4)$$

$$K_{lj}^{зад} = \lambda_{lj} K_{lcp}^{зад}; \quad (5)$$

$$\prod_{l=1}^L \lambda_{lj} = 1, \quad (6)$$

где $K_{lj}^{зад}$ – заданная вероятность восстановления l -й технической системы (агрегата) j -го АПК за счет собственного склада;

$K_j^{зад}$ – заданная вероятность восстановления j -го АПК за счет собственного склада,

λ_{lj} – коэффициент значимости l -й технической системы.

Таким образом, коэффициенты значимости выбираются с учетом влияния технических систем (агрегатов) на производство в целом, с соблюдением условия (6) и неравенства $K_{ij}^{зад} < 1$.

Задача оптимизации распределения запасных частей и агрегатов решается поиском минимума функционала [6]

$$G_i^{jk} = \min_{n_{ijk}+1} \frac{C_{ijk}}{\Delta T_i^{jk}}. \quad (7)$$

Выражение (7) является приближенным рекуррентным уравнением оптимизации запасных частей и агрегатов, а метод оптимизации, реализуемый с его помощью, называется приближенным методом динамического программирования.

Величина ΔT_i^{jk} представляет собой сокращение времени простоя техники при добавлении запаса i -й номенклатуры на тот или иной склад

$$\Delta T_i^{jk} \begin{cases} \Delta T_i^j = T_i(n_i^j, n_i^k) - T_i(n_i^j + 1, n_i^k); \\ \Delta T_i^k = T_i(n_i^j, n_i^k) - T_i(n_i^j, n_i^k + 1). \end{cases} \quad (8)$$

Время простоя из-за отсутствия i -го агрегата определяется формулой

$$T_i^{jkm} = V_i^j P_{ij} + V_i^k P_{ik} + V_i^m P_{im}, \quad (9)$$

где i, j, k, m – номер соответственно номенклатуры агрегата, склада агропромышленного комплекса, распределительного центра, поставщика,

C_i^{jk} – общая стоимость агрегата i -й номенклатуры, который хранится на складе j -го агропромышленного комплекса или k -го распределительного центра,

T_i^{jkm} – время восстановления исправности по простоям техники за счет агрегата i -й номенклатуры,

$V_i^j, P_{ij}, V_i^k, P_{ik}, V_i^m, P_{im}$ – время и вероятность восстановления исправности технической системы (агрегата) за счет соответственно агрегата i -й номенклатуры, поставляемого с собственного склада, распределительного центра, поставщика.

Поиск оптимального распределения начинается с того момента, когда запасные агрегаты отсутствуют на складе агропромышленного комплекса и РЦ. На каждом этапе добавляется запасной агрегат на тот или иной склад исходя из условия (7).

В идеальном случае должно быть выполнено условие, т. е. система будет восстановлена за счет собственного склада или РЦ, или поставщика

$$P_{ij} + P_{ik} + P_{im} = 1. \quad (10)$$

Введем следующие обозначения:

H_j, H_k, H_m – событие, заключающееся в наличии требуемого агрегата на складе j -го агропромышленного комплекса, k -м распределительном центре, m -м поставщике соответственно,

$\bar{H}_j, \bar{H}_k, \bar{H}_m$ – событие, заключающееся в отказе в требовании на запасной агрегат соответственно складом j -го агропромышленного комплекса, k -го распределительным центром, m -м поставщиком.

С учетом введенных обозначений вероятности, входящие в уравнение (9), будут определяться следующим образом:

$$\begin{cases} P_{ij} = P_i(H_j); \\ P_{ik} = P_i(\bar{H}_j)P_i(H_k); \\ P_{im} = P_i(\bar{H}_j)P_i(\bar{H}_k)P_i(H_m). \end{cases} \quad (11)$$

На основании формулы полной вероятности можно записать

$$P_i(\bar{H}_j) = P_i(H_k)P_i(\bar{H}_j / H_k) + P_i(\bar{H}_k)P_i(\bar{H}_j / \bar{H}_k); \quad (12)$$

$$P_i(\bar{H}_k) = P_i(H_m)P_i(\bar{H}_k / H_m) + P_i(\bar{H}_m)P_i(\bar{H}_k / \bar{H}_m). \quad (13)$$

Вероятности, входящие в (6) и (7), можно записать в следующем виде [2, 9]:

$$P_i(\bar{H}_j / H_k) = \frac{(\tau_{ijk} a_{ij})^{(n_{ij}+1)}}{(n_{ij} + 1)! \sum_{S=0}^{n_{ij}} \frac{(\tau_{ijk} a_{ij})^S}{S!}}; \quad (14)$$

$$P_i(\bar{H}_k / H_m) = \frac{(\tau_{ikm} a_{ik})^{n_{ik}}}{n_{ik}! \sum_{S=0}^{n_{ik}} \frac{(\tau_{ikm} a_{ik})^S}{S!}}; \quad (15)$$

$$P_i(\bar{H}_j / \bar{H}_k) = \frac{[(\tau_{ijk} + \tau_{ikm}) a_{ij}]^{(n_{ij}+1)}}{(n_{ij} + 1)! \sum_{S=0}^{n_{ij}} \frac{[(\tau_{ijk} + \tau_{ikm}) a_{ij}]^S}{S!}}, \quad (16)$$

где τ_{ijk}, τ_{ikm} – периодичность поставки агрегатов i -й номенклатуры соответственно складу j -го агропромышленного комплекса с k -го распределительного центра, k -му распределительному центру с m -го поставщика.

$$a_{ik} = \sum_{k=1}^K a_{ij}, \quad (17)$$

где $a_{ij} = mn_i$ – средний годовой расход агрегатов i -й номенклатуры в j -м агропромышленном комплексе (определяется нормами расхода и планируемой наработкой);

n_i – норма расхода i -го агрегата;

m – количество агрегатов i -й номенклатуры;

K – количество технических комплексов, обеспечиваемых k -м распределительным центром.

Будем считать, что $P_i(H_m) = 1$.

Поиск оптимального распределения запасных частей и агрегатов по уровням их хранения будем осуществлять исходя из условия

$$K_{ij} \geq K_{ij}^{зад}. \quad (18)$$

Когда будет выполнено условие (18), процесс оптимизации будет завершен, т. е. будет определено, сколько запасных агрегатов, каких номенклатур и на каких уровнях необходимо хранить

$$K_{lj} = \prod_{i=1}^l P_i(H_j), \quad (19)$$

где K_{lj} , $K_{lj}^{зад}$ – соответственно текущий и заданный коэффициенты готовности запасов склада j -го агропромышленного комплекса к обеспечению исправности l -й технической системы.

Таким образом, получены уравнения, которые позволили рассчитать оптимальное количество запасных частей и агрегатов по уровням их хранения с учетом их потребности и стоимости.

Библиографический список

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей : учебник для вузов / Е.С. Вентцель. – Москва : Академия, 2003. – 576 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – Москва : Наука, 1988. – 480 с.
3. Гаджинский А.М. Логистика / А.М. Гаджинский. – Москва : Дашков и К°, 2008. – 484 с.
4. Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – Москва : Наука, 1987. – 329 с.
5. Дроздов П.А. Основы логистика : учеб. пособие / П.А. Дроздов. – Минск : Изд-во Гревцова, 2008. – 207 с.
6. Мельник М.М. Экономико-математические методы и модели в планировании и управлении материально-техническим снабжением / М.М. Мельник. – Москва : Высшая школа, 1990. – 246 с.
7. Озерной Н.А. Тактико-технико-экономические аспекты обоснования требований к системе технического обеспечения системы жизнеобеспечения защищенных пунктов управления / Н.А. Озерной, В.В. Дронов // Инновационные материалы и технологии в дорожном и аэродромном строительстве : сб. статей по материалам региональной науч.-практ. конф. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. – С. 168–176.
8. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами / Ю.И. Рыжиков. – Санкт-Петербург : Питер, 2001. – 384 с.
9. Ушаков И.А. Надежность технических систем: справочник / И.А. Ушаков. – Москва : Радио и связь, 1985. – 360 с.
10. Федоренко И.Я. Проектирование технических устройств и систем: принципы, методы, процедуры : учеб. пособие / И.Я. Федоренко, А.А. Смышляев. – Москва : Форум, 2014. – 320 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Николай Александрович Озерной – кандидат технических наук, доцент кафедры защитных сооружений, ФГКВБОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: Nikoz72@mail.ru.

Владимир Владимирович Дронов – адъюнкт кафедры защитных сооружений, ФГКВБОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: dronovdv@mail.ru.

Алексей Викторович Крымов – адъюнкт кафедры защитных сооружений, ФГКВБОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: krymovxxx@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 27.02.2018

Дата принятия к печати 12.03.2018

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Nikolay A. Ozernoy – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Protective Construction, Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russian Federation, Voronezh, e-mail: Nikoz72@mail.ru.

Vladimir V. Dronov – Adjunct, the Dept. of Protective Construction, Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russian Federation, Voronezh, e-mail: dronovdv@mail.ru.

Aleksey V. Krymov – Adjunct, the Dept. of Protective Construction, Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russian Federation, Voronezh, e-mail: krymovxxx@yandex.ru.

Received February 27, 2018

Accepted March 12, 2018