

ДРОНОПОРТ – СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

***Аннотация.** Большой проблемой дронов является быстрое истощение их энергетического ресурса. Выходом из положения для дронов авиационного типа стало появление дронопортов, позволяющих в автономном или полуавтономном удаленном режиме обеспечивать эксплуатацию в местах, удаленных от соответствующей инженерной инфраструктуры.*

A M. Kirillov

Sochi State University
Sochi, Russian Federation

DRONEPORT – MASS SERVICE SYSTEM

***Abstract.** The pressing problem of depleting drone energy resources has led to the development of unique "hubs" for airborne drones—droneports. Droneports allow for autonomous or semi-autonomous remote operation without direct human intervention in locations remote from relevant engineering infrastructure (e.g., in the oil and gas industry).*

Введение

Беспилотные системы все шире проникают во все сферы хозяйствования [1]. В России в настоящее время осуществляется нацпроект «Беспилотные авиационные системы» [2].

Проблемой беспилотных систем является быстрое истощение их энергоресурса (разрядка аккумуляторных батарей и т.п.), одним из решений которой является создание сети дронопортов [3]. **Дронопорт** - стационарная или передвижная станция для приёма, отправки, базирования и обслуживания беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) (рис. 1). Она обеспечивает необходимый климатический режим для дронов, зарядку аккумуляторов, снаряжение грузами, диагностику и технический уход, передачу данных в центр управления и др.

Цель работы - демонстрация возможностей теории массового обслуживания (ТМО) для описания рабочих характеристик дронопорта, рассматриваемого как система массового обслуживания (СМО).

Задачами работы являются: 1) приведение выражений, с помощью которых можно оценивать: вероятности событий (прибытия дрона на зарядку в течение некоторого интервала времени и др.); среднее время ожидания дроном своей очереди на зарядку; длину очереди дронов, ожидающих зарядки и др.; 2) привести примеры соответствующих расчетов; 3) показать, что оптимизация работы дронапорта: выбор оптимальных режимов работы и количества обслуживающих устройств (каналов обслуживания, например, зарядных станций) – это задача, выполняемая с применением ТМО.



Рис. 1. Дронапорты

СМО - системы, многократно решающие однотипные задачи. Обслуживающие устройства в составе СМО (приборы, линии и т.п.) – каналы обслуживания. Это, например, люди, выполняющие соответствующие виды работ (операторы, парикмахеры, таксисты и т.п.), автомобили (такси, скорая помощь и др.), бензоколонки и т.п. В нашем случае: дронапорт – система массового обслуживания, а, например, одно его зарядное устройство – канал обслуживания.

На вход СМО поступает, чаще всего в случайные моменты времени, некоторый поток запросов (заявок) на обслуживание, который она должна выполнить. Обслуживание заявок, в общем случае, также длится случайное время. Оптимизация СМО состоит в ее «отладке», недопускающей скапливания больших очередей и значительных простоев каналов. Обобщенная структурная схема СМО изображена на рис. 2.

Дроны, например, нуждающиеся в подзарядке аккумуляторов, представляют входящий поток заявок. В зависимости от эффективности функционирования (пропускной способности),

определяемой количеством, например, зарядных устройств, может выстроиться очередь из дронов; зарядившие батареи дроны формируют поток обслуженных заявок.

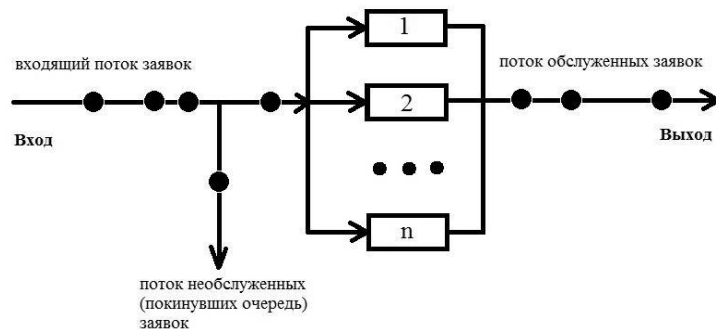


Рис. 2. Обобщенная структурная схема СМО

Эффективность СМО зависит от характера потока заявок, числа и производительности каналов, правил организации работы (параметров системы и потока заявок). Цель ТМО - разработка рекомендаций по рациональному построению и организации работы СМО, регулированию потока заявок для обеспечения высокоэффективного функционирования. К задачам ТМО относится установление зависимостей эффективности функционирования СМО от ее организации (параметров): характера потока заявок, числа каналов и их производительности, правил работы.

Будем считать поток прибывающих на зарядку (обслуживание) дронов простым (поток случайных и независимых событий). Тогда вероятность поступления m заявок за интервал времени τ [4]:

$$P_m(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^m}{m!} e^{-\lambda\tau}. \quad (1)$$

Например, пусть в дронопорт прилетает на зарядку 3 дрона в час, т.е. интенсивность потока $\lambda=3$ час⁻¹. Найдём вероятность того, что за 30 минут (0.5 часа): а) не прилетит ни один дрон; б) прилетит ровно один дрон; в) прилетит хотя бы один дрон.

а) Случайная величина X (число заявок на зарядку) распределена по закону Пуассона с параметром $\lambda\tau=3\cdot0.5=1.5$. Вероятность отсутствия заявок ($m=0$, не прилетит ни одного дрона), по формуле (1): $P_0(30) = e^{-1.5} \approx 0.223 \approx 22.3 \%$.

б) Вероятность ровно одной заявки ($m=1$, прилетит всего один дрон), согласно (1): $P_1(30) \approx \frac{(1.5)^1}{1!} e^{-1.5} \approx 1.5 \cdot 0,223 \approx 0,335 \approx 33,5 \%$.

в) Вероятность хотя бы одной заявки ($m \neq 0$, на зарядку прилетит хотя бы один дрон): $P(X \geq 1) = 1 - P(X=0) = 1 - P_0(30) \approx 1 - 0,223 \approx 0,777 \approx 77,7 \%$.

Дронопорт может быть представлен как СМО с ожиданием и без ограничения на длину очереди (каждый дрон должен быть заряжен).

Рассмотрим случай, когда дронопорт является одноканальной системой (например, имеет одно зарядное устройство). Потоки заявок и обслуживаний предполагаются простейшими с интенсивностями λ и μ (среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени). Величина $\rho = \lambda/\mu$ – интенсивность нагрузки канала.

Эффективность СМО оценим показателями: 1) абсолютная пропускная способность A (среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени); 2) относительная пропускная способность Q , (средняя доля обслуженных заявок или вероятность того, что пришедшая заявка будет обслужена); 3) вероятность отказа в обслуживании $P_{\text{отк}}$ (заявка покинет СМО необслуженной).

При $\lambda > \mu$ очередь неограниченно растет (в случае дронопорта очередь ограничится максимальным числом приписанных к нему дронов). В случае $\lambda = \mu$ при условии регулярности входящего и исходящего потоков (заявки поступают через равные интервалы времени, и время обслуживания одной заявки постоянно и равно интервалу времени между поступлениями заявок), очередь не возникает и заявки обслуживаются непрерывно. Однако, если входящий поток и/или поток обслуживаний приобретают случайность, очередь также начинает расти неограниченно.

Далее полагаем, что $\lambda < \mu$. Тогда с течением времени устанавливается предельный режим и существуют отличные от нуля предельные вероятности состояний СМО. При отсутствии ограничений на очередь каждая заявка будет обслужена (вероятность отказа в обслуживании $P_{\text{отк}} = 0$). Следовательно, вероятность принятия поступившей заявки в систему и относительная пропускная способность $Q = 1 - P_{\text{отк}} = 1$. Тогда абсолютная пропускная способность $A = \lambda \cdot Q = \lambda$.

Для среднего числа заявок в очереди $L_{\text{оч}}$ имеет место формула [4]:

$$L_{\text{оч}} = \frac{\rho^2}{1-\rho}. \quad (2)$$

Среднее время ожидания заявки в очереди (формула Литтла) [4]:

$$\bar{T}_{\text{оч}} = \frac{L_{\text{оч}}}{\lambda} = \frac{\rho^2}{\lambda(1-\rho)} = \frac{\rho^2}{\mu\rho(1-\rho)} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}. \quad (3)$$

Среднее время пребывания заявки в СМО $\bar{T}_{\text{СМО}}$ складывается из среднего времени заявки в очереди $\bar{T}_{\text{оч}}$ и среднего времени обслуживания заявки $\bar{T}_{\text{об}}$:

$$\bar{T}_{\text{СМО}} = \bar{T}_{\text{оч}} + \bar{T}_{\text{об}} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu(1-\rho)} = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)}. \quad (8)$$

Например, пусть дронопорт имеет одну зарядную станцию. Среднее время зарядки одного дрона 40 мин. Дроны в среднем прилетают на зарядку каждые 50 мин (5/6 часа). Тогда интенсивность

входящего потока $\lambda=1/(5/6)=1,2$ дрон/ч, интенсивность потока обслуживаний $\mu = \frac{1}{\bar{T}_{об}} = \frac{1}{40} \text{ мин}^{-1} = \frac{1}{2/3} \text{ час}^{-1} = 1,5$ дрона/ч.

Находим: 1) интенсивность нагрузки зарядной станции $\rho=\lambda/\mu=1.2/1.5=0,80$; 2) долю времени (вероятность) простоя станции $p_0=1-\rho=1-0,80=0,20$; 3) вероятность того, что станция занята зарядкой дрона $p_{зан}=1-p_0=1-0,20=0,80$; 4) среднее число дронов в очереди $L_{оч} = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{0,80^2}{1-0,80} = 3,2$ дрона; 5) среднее время ожидания в очереди $\bar{T}_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda} = \frac{3,2}{1,2} = 2,67 \text{ часа} = 160 \text{ мин}$; 6) среднее время пребывания дронов на обслуживании:

$$\bar{T}_{СМО} = \bar{T}_{оч} + \bar{T}_{об} = 160 + 40 = 200 \text{ мин} = 3 \text{ часа } 20 \text{ мин.}$$

Т.к. $\rho < 1$, то режим работы СМО устойчивый: 20% времени зарядная станция свободна, остальные 80% – занята зарядкой дронов. Длина очереди 3,2 дрона и время пребывания дрона на обслуживании 200 мин в зависимости от, например, срочности выполняемых ими работ может быть удовлетворительной или неудовлетворительной. В последнем случае необходимо увеличивать число зарядных станций в дронопорте.

Заключение

Основной результат работы заключается в демонстрации эффективности использования ТМО при расчете режимов работы как отдельных узлов (зарядная станция и др.), так и всего дронопорта в целом. Приведены примеры расчетов различных параметров СМО, результаты которых требуются для оптимизации работы дронопорта (например, выбор оптимального количества зарядных станций).

Список использованных источников

1. Корабейников Д.Н. Дроны и беспилотные летательные аппараты. Преимущества и перспективы развития // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 31. – С. 138-146. – EDN DBQHWS.
2. Беспилотные авиационные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--plai/new-projects/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy/>. [Дата обращения: 25.10.2025].
3. Яковлев, С.С., Хныченко К.Е. Исследование появления, развития и использования дронопортов в России и других странах // Совершенствование авиационно-спасательных технологий при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: Материалы XXXV Международной научно-практической конференции, Химки, 2025. – С. 129-134. – EDN HXNYSY.

4. Теория массового обслуживания: лекции. Саакян Г.Р. // Шахты: Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, 2006. С. 27.

УДК 699.84, 537.226.86, 621.3.082.73

А. М. Кириллов

«Сочинский государственный университет»
Сочи, Россия

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКИ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

***Аннотация.** Устройства на основе пьезоэлектриков широко используются в строительной отрасли. Одним из критериев для выбора пьезоэлектрика служит коэффициент электромеханической связи. Предлагается способ оценки коэффициента и выбора оптимальной ориентации пьезоэлектрика в устройстве для достижения его максимальной эффективности (чувствительности).*

A M. Kirillov

Sochi State University
Sochi, Russian Federation

PIEZOELECTRIC SYSTEMS IN EARTHQUAKE-RESISTANT CONSTRUCTION

***Abstract.** Piezoelectric devices are widely used in the construction industry. One of the criteria for selecting a piezoelectric is the electromechanical coupling coefficient. A method is proposed for estimating this coefficient and selecting the optimal orientation of the piezoelectric in the device to achieve maximum efficiency (sensitivity).*

Введение

Различного рода пьезоэлектрические датчики и устройства на основе пьезоэлектриков широко используются в строительной отрасли. В частности, серийно выпускаются пьезоэлектрические сейсмоприемники на основе хорошо зарекомендовавшего себя цирконата-титаната свинца (PZT). Сейсмоприемники применяются в сейсмостойком строительстве для регистрации и анализа сейсмических колебаний. Их применение актуально с чисто научной точки зрения, расширяя методологию сейсмологии. Актуальность присутствует и с прикладной точки зрения, т.к. эти устройства должны быть интегрированы в систему общего мониторинга состояния зданий и сооружений в сейсмоопасных регионах.