

УДК 519.872, 621.391

А. М. Кириллов

«Сочинский государственный университет»
Сочи, Россия

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]. **Дронпорт** - 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 дронопорта: выбор оптимальных режимов работы и количества обслуживающих устройств (каналов обслуживания, например, зарядных станций) – это задача, выполнимая с применением ТМО.



Рис. 1. Дронопорты

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: дронопорт – 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),

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

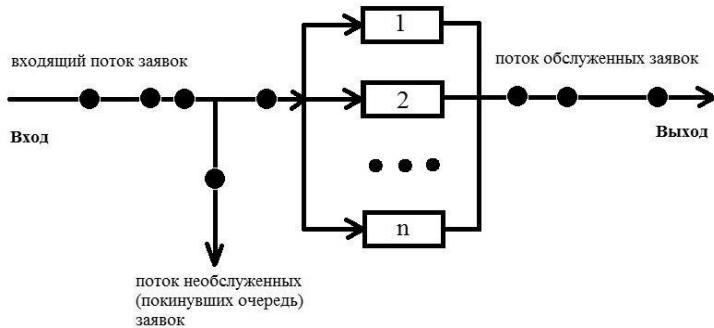


Рис. 2. Обобщенная структурная схема СМО

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. Найдем 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 $\lambda\tau=3 \cdot 0.5=1.5$. 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, обрабатываемых в единицу времени). Величина $\rho = \lambda/\mu$ – интенсивность нагрузки канала.

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

При $\lambda > \mu$ очередь неограниченно растет (в случае дронопорта очередь ограничена 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 обработана (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 $\bar{T}_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda} = \frac{3,2}{1,2} = 2,67$ часа=160 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

- Корабейников Д.Н. Дроны и беспилотные летательные аппараты. Преимущества и перспективы развития // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 31. – С. 138-146. – EDN DBQHWS.
- Беспилотные авиационные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn--80aaparmpemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy/>. [Дата обращения: 25.10.2025].
- 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 критерии для выбора пьезоэлектрика служит коэффициент электромеханической связи. Предлагается способ оценки коэффициента и выбора оптимальной ориентации пьезоэлектрика в устройстве для достижения его максимально 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.