

УДК 621.391.512

Э.Е. Зайцева, Е.Г. Коваленко, Д.А. Ступаков
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра автоматизации и телекоммуникаций
E-mail: zaytseva.elina@gmail.com, kovalenko_evg@mail.ru

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ

Abstract

Zaytseva E.E., Kovalenko E.G., Stupakov D.A. Research and development of discrete-event transport system control algorithm. Existent transport systems control algorithm analysis. Modeling of two lifting-transport systems with different parameters work. Subsequent analysis of findings.

Keywords: equalizations of «max-plus» algebra, collective management, management algorithm, time of expectation, lifting-transport system.

Анотація

Зайцева Е.Є., Коваленко Є.Г., Ступаков Д.О. Розробка і дослідження алгоритму керування дискретно-безперервною транспортною системою. Дано аналіз існуючих алгоритмів керування транспортними системами. Проведене моделювання двох підіймально-транспортних систем з різними параметрами роботи. Наведено аналіз результатів.

Ключові слова: рівняння «max-plus» алгебри, збірне управління, алгоритм управління, час чекання, підіймно-транспортна система.

Аннотация

Зайцева Э.Е., Коваленко Е.Г., Ступаков Д.А. Разработка и исследование алгоритма управления дискретно-непрерывной транспортной системой. Дан анализ существующих алгоритмов управления транспортными системами. Проведено моделирование двух подъемно-транспортных систем с различными параметрами работы. Приведен последующий анализ результатов.

Ключевые слова: уравнения «max-plus» алгебры, собирательное управление, алгоритм управления, время ожидания, подъемно-транспортная система.

Общая постановка проблемы. Характерным примером дискретно-непрерывного объекта является многокабинная лифтовая подъемно-транспортная система. В настоящее время в Украине эксплуатируется два поколения микроэлектронных систем управления лифтами (станции «на жесткой логике» и микропроцессорные). На сегодняшний день в системах управления лифтами ведущих мировых фирм производителей реализованы следующие функции: собирательное управление в главном направлении движения, «специальное» движение, защита от перегрузки лебедки, индикатор направления движения, местоположение лифта и т.д. [1]. Среди всех вышеперечисленных функций есть ряд функций, которые являются необходимыми и обязательными для выполнения. Одна из таких функций — собирательное управление в главном направлении движения.

Анализ существующих решений. В настоящее время отечественные лифты в подавляющем большинстве оснащаются микропроцессорными системами управления типа УЛ, УКЛ и ШУЛК, также широкое распространение нашли лифтовые системы фирмы Otis [2]. Все эти системы прошли этапы последовательных модернизаций и на сегодняшний день вполне удовлетворяют требованиям лифтов для зданий массовой застройки. Системы разных

разработчиков весьма существенно различаются между собой по структуре, интерфейсам последовательных каналов, числу последовательных каналов обмена информацией, функциональным назначениям своих модулей — контроллеров, а также элементной базой. Общим является только принцип распределенного управления с использованием последовательных интерфейсов для организации каналов связи.

При этом программное обеспечение для каждой системы различное. Именно оно определяет корректность выполнения основных функций и надежность работы системы в целом. Однако в современных подъемно-транспортных системах программное обеспечение до сих пор не реализовано должным образом, в связи с чем некоторые функции находятся на «неудовлетворительном уровне сервиса». Так, для функции собирательного управления группой лифтов в главном направлении движения не разработан эффективный алгоритм управления. Вследствие чего для крупных офисных зданий характерны ситуации, при которых отдельный человек или группа людей ожидают подъемника более чем 1 минуту, что само по себе неприемлемо.

Такая ситуация вызвана неэффективным алгоритмом управления лифтовой системой, несогласованностью параметров подъемно-транспортной системы (количество лифтов, ограничение лифтов по грузоподъемности) и параметров самого здания (количества этажей и людей в здании), а главное отсутствием информационного обмена между управляющими устройствами разных лифтов, что обусловлено самой структурой существующих лифтовых систем управления. Ведь зачастую каждый лифт в современной лифтовой системе работает обособленно, т.е. независимо от других лифтов системы. Нерациональности такого рода приводят к излишнему перетиранию тросов, преждевременному износу оборудования, увеличению расхода электроэнергии и ухудшению уровня сервиса.

Постановка задачи исследования. Рассмотрим две подъемно-транспортные системы с одинаковым для обеих систем числом параллельно работающих лифтов.

Через S_1 обозначим систему, состоящую из четырех отдельно работающих лифтов, между управляющими устройствами которых нет взаимосвязи. В системе S_1 работа каждого лифта полностью автономна. При этом каждый лифт в системе S_1 имеет на этажах отдельные посты вызовов. Алгоритм работы для каждого из лифтов данной системы иллюстрирует блок-схема, представленная на рисунке 1.

Во второй системе, которую будем обозначать S_2 , между управляющими устройствами лифтов существует коммуникационное соединение, благодаря которому факт нажатия на кнопки поста вызова на одном из этажей фиксируется управляющими устройствами всех лифтов. Таким образом, в работе группового алгоритма управления учитывается информация о том, какой из лифтов принял данную заявку и будет ее обрабатывать, что исключает возможность приезда на один вызов сразу нескольких лифтов. Также учитывается информация о текущем месте расположения всех лифтов в системе S_2 . Т.е. при поступлении заявки с поста вызова, ее будет обрабатывать тот лифт, который на момент поступления данной заявки находится ближе всего к этому посту.

В рамках данной статьи рассматривается задача анализа динамики работы дискретно-непрерывной транспортной системы и разработка эффективного алгоритма управления, обеспечивающего заданный уровень качества обслуживания. Анализ проводится на примере сравнения работы систем S_1 и S_2 .

Формализация задачи. Рассмотрим здание, состоящее из n этажей ($n \in \mathbf{N}$). Предположим, что в здании одновременно находится P человек ($P \in \mathbf{N}$). В здании работает подъемно-транспортная система S , состоящая из четырех параллельно работающих лифтов. Положим, что грузоподъемность каждого лифта системы равна k ($k \in \mathbf{N}$) пассажиров. Циклом движения лифта назовем путь движения лифта от момента приема вызова с этажа до выхода последнего пассажира на необходимом этаже. Будем считать, что каждый лифт перемещается на 1 этаж за 1 секунду.

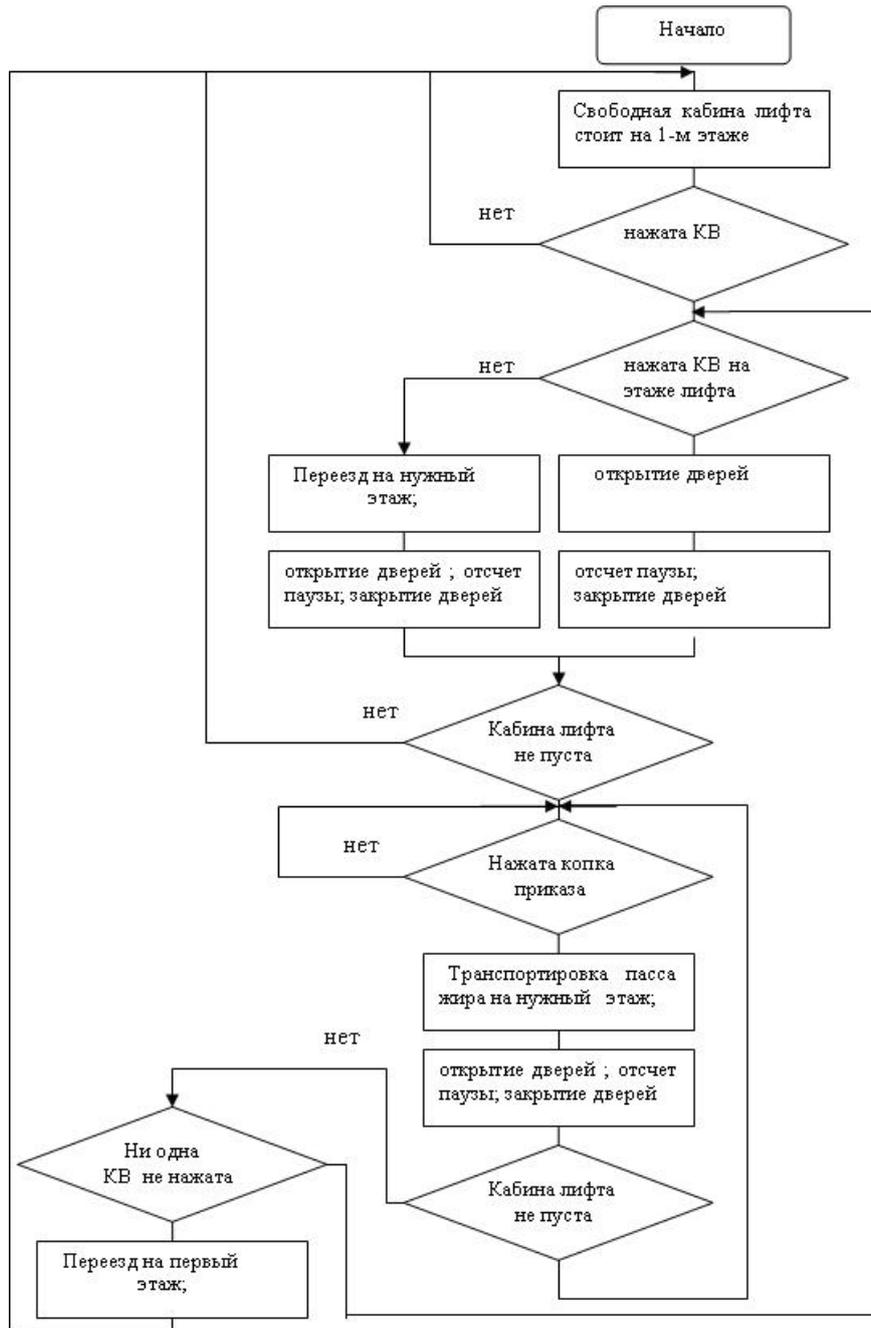


Рисунок 1 — Блок-схема работы лифта

Пусть P_S — количество заявок, поступивших в систему S за каждые 5 минут при предельном режиме работы системы [3]. Обозначим через $\mathbf{V} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1P_S} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2P_S} \end{pmatrix}$ ($1 \leq b_{im} \leq n, i = \overline{1, P_S}, m = 1, 2$) матрицу вызовов лифта, каждый элемент первой строки которой соответствует номеру этажа i -го вызова, а каждый элемент второй строки — номеру этажа, выбранного i -м пассажиром ($i = \overline{1, P_S}$). Для j -го цикла работы лифта ($j = 0, 1, 2, \dots$) из матрицы \mathbf{V} формируется матрица $\mathbf{V}^{(j)}$ для не обслуженных заявок:

$$\mathbf{B}^{(j)} = \begin{pmatrix} b_{11}^{(j)} & b_{12}^{(j)} & \dots & b_{1k}^{(j)} \\ b_{21}^{(j)} & b_{22}^{(j)} & \dots & b_{2k}^{(j)} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Через $\mathbf{T} = (t_1, t_2, \dots, t_{p_s})$ обозначим вектор заявок, каждый элемент которого соответствует времени поступления заявки сигнала вызова (в секундах). Без ограничения общности будем полагать, что элементы второй строки матрицы \mathbf{B} (а, соответственно, $\mathbf{B}^{(j)}$) и вектора \mathbf{T} упорядочены по возрастанию.

Рассмотрим вектор готовности $\mathbf{A} = (A_1, A_2, A_3, A_4)$, число элементов которого равно количеству лифтов в системе S . Для каждого $l = \overline{1,4}$ элемент A_l соответствует времени в секундах, за которое лифт l придет на этаж вызова при поступлении первой заявки на данный лифт. Положим, что $\mathbf{A}^{(j)}$ — вектор готовности в j -м цикле работы системы.

Обозначим через $\mathbf{X} = (x_{j,i})$ ($j = 1, 2, \dots, i = \overline{1,k}$) — совокупность k -мерных векторов-строк. Каждый элемент j -го вектора $\mathbf{X}(j)$ в совокупности соответствует времени прибытия лифта на этаж в j -м цикле по требованию i -го ($i = \overline{1,k}$) пассажира в лифте.

Необходимо для каждой из систем S_1 и S_2 найти соответствующую совокупность \mathbf{X} .

Рассмотрим систему S_1 . Поскольку система S_1 несвязна, достаточно найти выражение для \mathbf{X} для одного лифта системы, например, первого. Для j -й строки совокупности \mathbf{X} запишем:

$$\mathbf{X}(j) = (x_1(j) + b_{2,1}^{(j)} + t_0, x_{j,1} + b_{2,2}^{(j)} - b_{2,1}^{(j)} + t_0, \dots, x_{j,k-1} + b_{2,k}^{(j)} - b_{2,k-1}^{(j)} + t_0), \quad (2)$$

где $x_1(j) = \max\{t_{k+k \cdot j}, A_1^{(j)}\}$, а слагаемое t_0 показывает время в секундах блока операций «открытие дверей — отсчет паузы — закрытие дверей» (рис. 1).

После преобразований для $(j+1)$ -й строки совокупности \mathbf{X} получим:

$$\mathbf{X}(j+1) = (x_1(j+1) + b_{2,1}^{(j+1)} + t_0, x_{j+1,1} + b_{2,2}^{(j+1)} - b_{2,1}^{(j+1)} + t_0, \dots, x_{j+1,k-1} + b_{2,k}^{(j+1)} - b_{2,k-1}^{(j+1)} + t_0), \quad (3)$$

где $x_1(j+1) = \max\{t_{k+k \cdot (j+1)}, A_1^{(j+1)}\} = \max\{t_{k+k \cdot (j+1)}, x_1(j), x_{j,1}, x_{j,2}, \dots, x_{j,k}\}$.

Обозначим $b_{j,1}^* = b_{2,1}^{(j)} + t_0$, $b_{j,i}^* = b_{2,i}^{(j)} - b_{2,i-1}^{(j)} + t_0$ ($i = \overline{2,k}$). В терминах max-plus алгебры выражение для $x_1(j+1)$ примет вид:

$$x_1(j+1) = \oplus(t_{k+k \cdot (j+1)}, \mathbf{X}(j) \otimes \mathbf{B}^*), \quad (4)$$

где \mathbf{B}^* — матрица размерности $k \times k$, с элементами $b_{j+1,i}^*$ ($i = \overline{1,k}$) на главной диагонали и остальными элементами ε .

Заметим, что $b_{j,2}^* \otimes b_{j,3}^* \otimes \dots \otimes b_{j,k}^* = b_{2,k}^{(j)} - b_{2,1}^{(j)} + t_0(k-2)$.

Подставив (4) в (3) получим общий вид строки совокупности \mathbf{X} в терминах max-plus алгебры:

$$\mathbf{X}(j+1) = ((\oplus(t_{k+k \cdot (j+1)}, \mathbf{X}(j) \otimes \mathbf{B}^*)) \otimes b_{j+1,1}^* \otimes b_{j+1,2}^* \otimes \dots \otimes b_{j+1,k-1}^* \otimes b_{j+1,k}^*). \quad (5)$$

Рассмотрим связную систему S_2 . Для $(j+1)$ -й строки совокупности \mathbf{X} запишем:

$$\mathbf{X}(j+1) = (x_1(j+1) + d_{2,1}^{(j+1)} + t_0, x_{j+1,1} + d_{2,2}^{(j+1)} - d_{2,1}^{(j+1)} + t_0, \dots, x_{j+1,k-1} + d_{2,k}^{(j+1)} - d_{2,k-1}^{(j+1)} + t_0), \quad (6)$$

где $d_{2,i}^{(j+1)} = |b_{2,i}^{(j+1)} - L(l)|$ ($i = \overline{1,k}$), $L(l)$ — соответствует текущему расположению l -го лифта на момент поступления i -го вызова, $l = \overline{1,4}$.

Выражение для $x_1(j+1)$ имеет вид:

$$x_1(j+1) = \max\{t_i, A_l^{(j+1)}\}, \quad l = \overline{1,4}. \quad (7)$$

Здесь вектор готовности **A** отображает тот факт, что на вызов придет лифт, который в момент поступления вызова был свободен и находился на ближайшем относительно всех остальных лифтов этаже от этажа вызова:

$$A_l^{(j+1)} = |L(l) - b_{1,i}^{(j+1)}| \text{ для } l: \max\{x_1(j), x_{j,1}, x_{j,2}, \dots, x_{j,k}\} \leq t_i, \quad i = \overline{1,k}. \quad (8)$$

При этом продолжительность времени обработки отдельно взятого вызова, в зависимости от матрицы вызовов **B** и вектора **T**, т.е. суммарное время ожидания, может быть максимально снижено на $(n-1) \cdot P/4$, где P — количество людей в здании, а здание состоит из n этажей.

Моделирование работы систем S_1 и S_2 . Смоделируем работу систем S_1 и S_2 и получим для них оценки качества работы.

Согласно [1] при расчёте пассажиропотоков ориентируются на следующие показатели для часов пик: время ожидания лифта не должно превышать 30 с, а количество перевозимых пассажиров должно быть не менее 12% за 5 минут от общего числа людей, находящихся в здании и пользующихся лифтами. Исходя из вышеприведенных данных, для формирования пассажиропотока будем использовать экспоненциальный закон распределения заявок на обслуживание, как было описано в [4]. Параметр λ подберем таким образом, чтобы количество человек, приходящих к лифтам для транспортировки, было не менее чем 12% от общего числа людей, находящихся в здании за 5 минут, а именно:

$$\lambda = \frac{0,12 \cdot P}{5} \text{ выз/мин},$$

где P — общее количество людей в здании.

Скорость передвижения кабины лифта в современных подъемно-транспортных системах составляет от 1,6 м/с до 3,6 м/с. Для моделирования примем скорость движения лифта равной 2,5 м/с, что соответствует перемещению на 1 этаж за секунду.

Промоделируем работу системы S_1 для утреннего и вечернего пиков. Пусть число этажей $n = 20$, число заявок $P_{S_1} = 40$ и $t_0 = 2$ с. Начальными данными для моделирования являются:

Вектор готовности лифтов A :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Вектор заявок T :

$$T = \begin{pmatrix} 1.80 & 4.10 & 6.31 & 6.64 & 14.61 & 15.74 & 22.61 & 23.72 & 28.34 & 30.80 & 33.94 & 37.41 \\ 57.49 & 61.91 & 82.28 & 101.70 & 105.58 & 108.92 & 109.16 & 110.50 & 120.05 & 122.53 & 124.05 & 133.84 \\ 136.64 & 137.01 & 140.96 & 142.23 & 144.71 & 160.99 & 174.27 & 178.20 & 182.66 & 182.71 & 185.86 & 186.17 \\ 197.75 & 207.06 & 212.24 & 214.22 \end{pmatrix}$$

В следствие того, что движение лифта теперь может производиться не только с 1 этажа на верхние этажи, а с любого другого этажа на любые остальные этажи с индексами 1..20, матрицу вызовов **B** заменим на вектора HES и HEN . Первый содержит номера этажей с которых поступает заявка, а второй содержит номера этажей, на которые должны быть транспортированы пассажиры. При этом наблюдается следующее соответствие для двух данных векторов: оба вектора имеют идентичную с вектором заявок **T** размерность (1×40). Для утреннего пика они имеют вид:

При этом максимальное время ожидания до приезда лифта 53.39 с, суммарное время ожидания до приезда лифта 919.78 с.

В результате моделирования работы связной системы S_2 при тех же начальных условиях были получены следующие результаты.

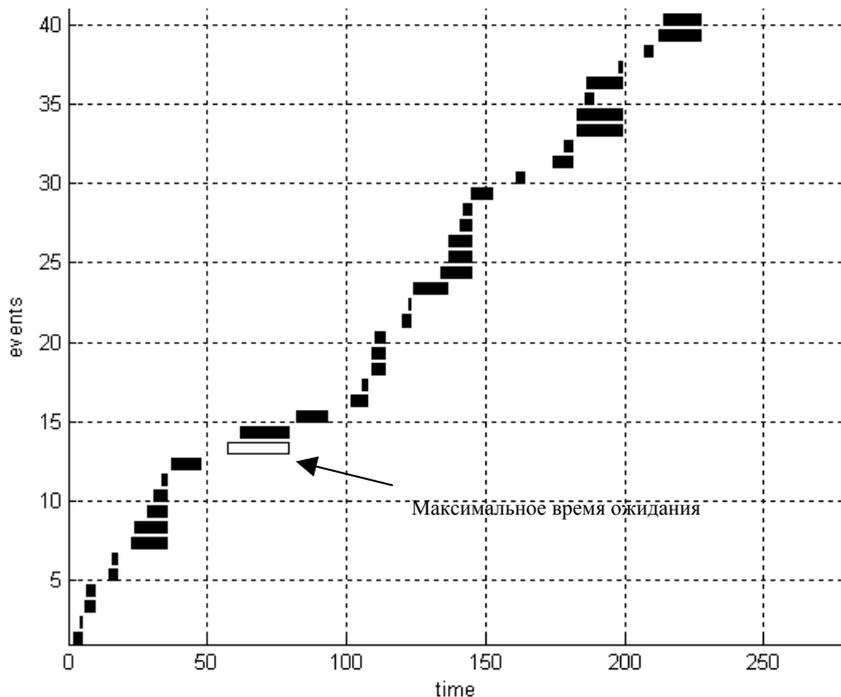


Рисунок 4 — Время ожидания до приезда лифта для связной системы (утренний пик)

При этом для второй системы максимальное время ожидания до приезда лифта 18.02 с (см. рис. 4), суммарное время ожидания до приезда лифта 266.68 с.

Для вечернего пика:

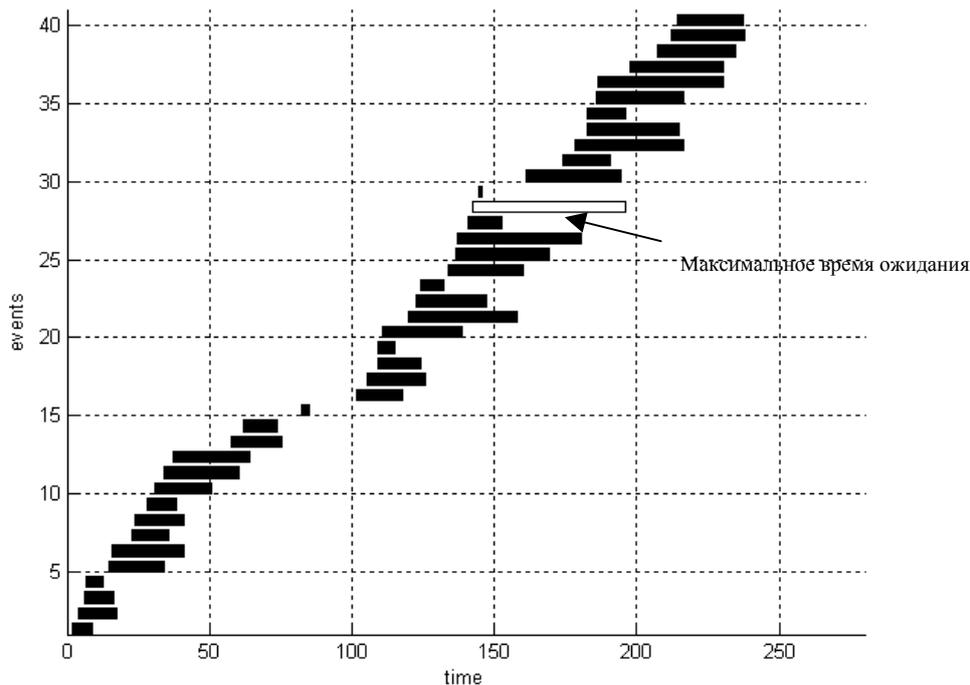


Рисунок 5 — Время ожидания до приезда лифта для связной системы (вечерний пик)

При этом максимальное время ожидания до приезда лифта 53.17 с, суммарное время ожидания до приезда лифта 857.98 с.

Полученные в результате моделирования данные сведены в таблицу 1:

Таблица 1 — Результаты моделирования

	Тип системы	Максимальное время ожидания до приезда лифта	Суммарное время ожидания до приезда лифта	Максимальное время ожидания до приезда на нужный этаж	Суммарное время ожидания до приезда на нужный этаж
Утренний пик	Система S_1	29.24 с	272.48 с	51.29 с	5180.2 с
	Система S_2	18.02	266.68 с	50.02 с	5178.4 с
Вечерний пик	Система S_1	53.39 с	919.78 с	73.39 с	5703.5 с
	Система S_2	53.17 с	857.98 с	73.17 с	5641.7 с

Выводы. По результатам моделирования двух систем с разными алгоритмами управления многокабинной транспортной системой показано, что:

- для аналитического описания процессов в дискретно-непрерывной системе удобно использовать уравнения динамики, представленные в терминах max-plus алгебры;
- предложенная модель может быть адаптирована как для несвязного, так и для связного режима работы системы;
- исследования на модели показывают, что при прочих равных условиях связный режим работы обеспечивает значительное повышение быстродействия и улучшение качества обслуживания;
- предложенный алгоритм связного управления лифтовой системой может быть легко настроен на другие параметры системы (этажность здания, грузоподъемность, число кабин).

Литература

1. Регион лифт. Основные функции лифтов BLT [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.regionlift.ru/ZagolovokBLT/funkcii/>
2. Рябинов А.В. Микропроцессорные системы управления лифтами / Информационно-аналитический журнал «Лифтинформ» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.liftinform.ru/index.php>
3. Christos G. Cassandras, Stephane Lafortune and Geert Jan Olsder. Introduction to the modeling, control and optimization of discrete event system / Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of technology, 1995. — 267 с.
4. Бессараб В. И., Коваленко Е.Г., Ступаков Д. А. Аналитическая модель для анализа динамики дискретно-непрерывных процессов в системе с заданными параметрами случайного входного потока. “Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту”: матеріали міжнародної наукової конференції., (Євпаторія, 19–23 травня 2008 р.) /Херсонський національний технічний університет, 2008. — С.25–28.

Здано в редакцію:
24.02.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Скобцов Ю.О.