

С. С. Валеев, Р. Н. Уразбахтин, С. В. Христофоров

## СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

Рассматривается задача разработки системы оперативного планирования грузоперевозок в крупной транспортной компании на основе ситуационного подхода, позволяющая вырабатывать управляющие воздействия в зависимости от состояния объекта управления. *Оперативное планирование; ситуационное управление; транспортная логистика; планирование маршрутов; автоматизированные системы управления*

### ВВЕДЕНИЕ

Ставится задача оптимизации процесса грузоперевозок, а именно доставки и сбора грузов в рамках мегаполиса на основе ситуационного подхода [1]. Исполнителями данного процесса являются курьеры-агенты (КА).

Рассматриваемая транспортная компания [2] может быть представлена как сложная организационно-техническая система (ОТС), включающая в себя технические средства доставки, средства обработки информации и трудовые ресурсы.

Из-за наличия множества различных факторов неопределенности, которые необходимо принимать во внимание, возникает необходимость разработки системы ситуационного управления (ССУ), способной вырабатывать решения при возникновении различных ситуаций [3]. Под ситуацией будем понимать текущее состояние объекта управления (ОУ) – процесса доставки и сбора грузов.

### 1. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ССУ

Основные задачи, решаемые в процессе управления:

- оперативное планирование маршрутов курьеров – вычисление оптимальных маршрутов перемещения курьеров на территории мегаполиса и их уточнение на базе методов поиска оптимальных маршрутов в реальном времени с учетом факторов неопределенности;

- оперативный обмен информацией между ССУ и КА; КА получают информацию о том, куда им следует перемещаться и по какому маршруту; в свою очередь КА должны передавать в ССУ данные о ходе выполнения задания:

свои координаты, статус отправлений, переданных им для доставки и т. д.;

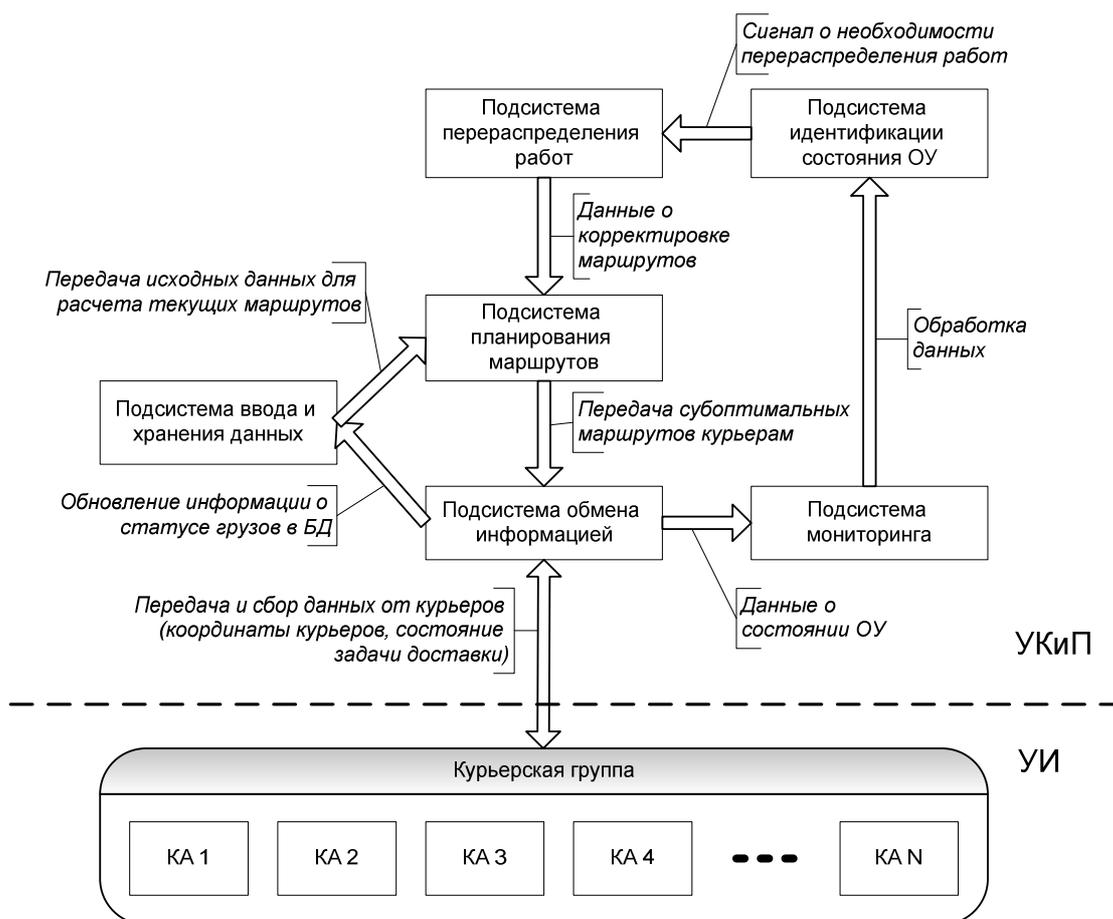
- мониторинг состояния решаемых задач – ССУ в текущий момент времени должна обладать актуальной и достоверной информацией о ходе выполнения назначенных КА заданий для того, чтобы обеспечить оперативную реакцию на текущую ситуацию и в случае необходимости предложить возможное решение по перераспределению заданий по доставке отправлений;

- ввод и хранение в ССУ информации об отправлениях, выставленных на доставку с КА, и о заявках на вызов КА, т. е. ССУ должна включать в свой состав базу данных (БД) для хранения, обработки и обновления информации, необходимой для поддержки решения задачи планирования маршрутов и мониторинга состояния ОУ;

- распознавание состояния объекта управления – на основе данных мониторинга ОУ система должна постоянно контролировать, в каком состоянии находится ОУ;

- перераспределение заданий – в случае, если объект управления перешел в какое-либо критическое состояние (выход из строя транспортного средства, КА не может обеспечить доставку груза в срок), ССУ должна найти возможные варианты вывода ОУ из этого состояния и спрогнозировать развитие событий при каждом варианте состояния ОУ. Поэтому функция перераспределения заданий должна включать в себя функцию прогнозирования.

Исходя из представленного набора решаемых задач, ССУ можно разделить на шесть подсистем, каждая из которых обеспечивает решение отдельной задачи управления.



**Рис. 1.** Схема информационного взаимодействия подсистем системы ситуационного управления процессом доставки и сбора грузов

На рис. 1 представлена обобщенная схема взаимодействия подсистем ССУ в транспортной компании, где УИ – уровень исполнения, УКиП – уровень координирования и планирования.

Первостепенной целью разработки и внедрения ССУ является оптимизация процесса доставки и сбора грузов. Эффективность данного процесса зависит от следующих факторов: доставка груза в нужное место ( $x$ ) и в отведенный срок ( $t$ ), а также выполнение всех заявок на вызов курьера ( $p$ ). Пусть  $\Delta x_i$  – отклонение фактического места доставки  $i$ -го груза от необходимого,  $\Delta t_i$  – опоздание при доставке  $i$ -го груза,  $P$  – количество невыполненных заявок на вызов курьера. Тогда можно представить целевую функцию в виде:

$$\begin{aligned} \sum_i \Delta x_i &\rightarrow 0 \\ \sum_i \Delta t_i &\rightarrow 0 \\ P &\rightarrow 0 \end{aligned} \quad (1)$$

## 2. СХЕМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Система может работать в двух режимах: централизованном и децентрализованном (рис. 2). Выбор режима регулируется ЛПР.

При централизованном управлении ССУ выполняет планирование работ всех КА в режиме реального времени и осуществляет мониторинг за ходом выполнения заданий. При помощи специального программного обеспечения с использованием геоинформационных технологий ССУ способно прокладывать оптимальные маршруты для всех КА с учетом того, какие пункты (адреса на карте) должен посетить курьер. Также система способна вносить корректировки в маршрут КА в режиме реального времени согласно изменениям условий дорожного движения (пробки, перекрытые проезжие части), изменениям в списке пунктов, которые должен посетить КА. Следует отметить, что распределение заданий между КА, то есть еже-

дневное распределение пунктов обслуживания между КА происходит согласно известному разделению города на зоны. Данные о заданиях для каждого КА в начале каждого дня последовательно вносятся в базу данных системы. Затем формируются предварительные маршруты для каждого из КА, в которые система автоматически вносит изменения по мере поступления новых заявок или отмены старых заявок.

При децентрализованном управлении задачу планирования решают сами КА, исходя из своих целей и предпочтений, выполняя при этом роль агентов в многоагентной системе [4]. Система при этом осуществляет мониторинг за действиями КА и оценивает, насколько успешно они решают свои задачи. Если кто-то из них не справляется со своими функциями, то система оповещает ЛПР о необходимости переключиться в централизованный режим управления.

Режимы работы ССУ выбираются согласно текущему состоянию объекта управления и решению, принятому ЛПР. Управляющее воздействие формируется исходя из результатов классификации текущих состояний объекта управления:

- нормальное – количество работоспособных курьеров позволяет в полной мере выполнить весь объем требуемой работы без наруше-

ния требований к качеству операционной деятельности компании. При централизованном управлении ССУ планирует работу всех ССУ на основе заданной целевой функции и осуществляет мониторинг выполнения работ; при децентрализованном управлении ССУ выполняет лишь функцию мониторинга, возлагая функцию планирования маршрутов на курьеров;

- перегруженное – объем работ превышает уровень нормального значения, и возникает риск того, что задания не будут выполнены в полной мере в отведенный срок; планирование работ осуществляется иным образом, нежели при нормальном состоянии, происходит изменение критериев эффективности и целевой функции – веса показателей, отвечающих за своевременность доставки, увеличиваются, а веса остальных показателей уменьшаются.

- аварийное – состояние возникает, когда один или несколько КА не могут продолжать выполнение своих функций, и требуется перераспределение работ между остальными членами курьерского состава; ССУ формирует различные варианты развития событий и автоматически либо при помощи ЛПР выбирается наилучший из них.

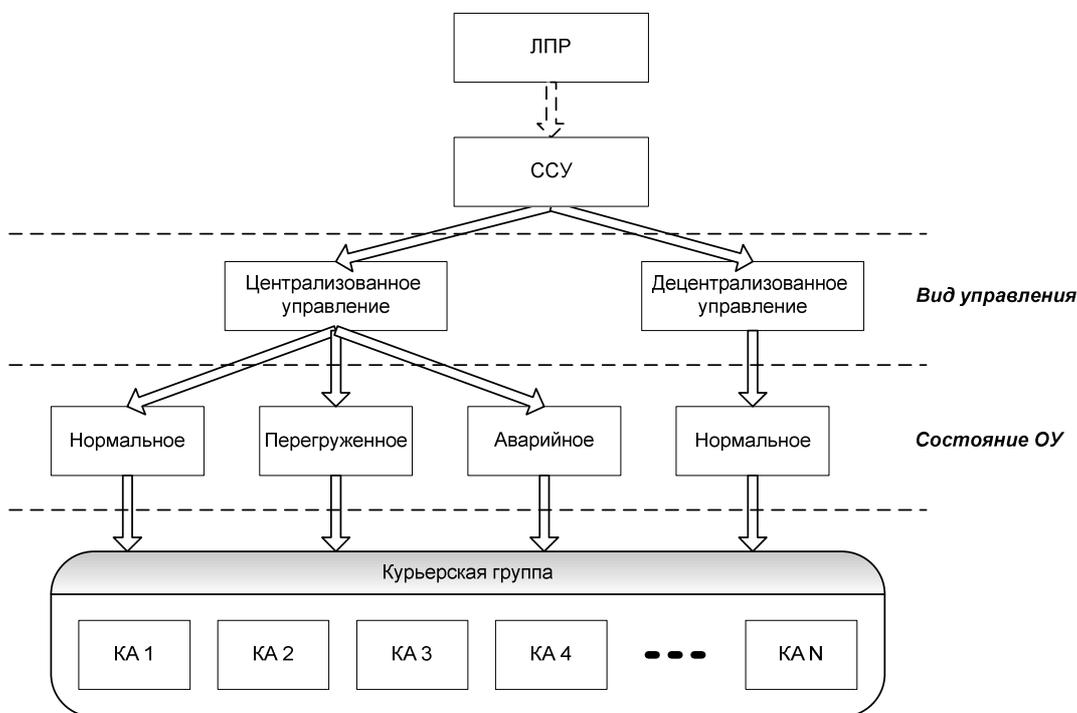


Рис. 2. Функционирование системы ситуационного управления

### 3. ПРИМЕНЕНИЕ СИТУАЦИОННОГО ПОДХОДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАМИ

Ситуационный подход к управлению как нельзя лучше подходит к специфике исследуемой транспортной компании, потому что в данной компании существует жесткий регламент, определяющий то, какие действия необходимо предпринять в той или иной ситуации. Кроме того, все возникающие ситуации являются стандартными и повторяющимися, поэтому решения возникающих задач также должны быть стандартными, что позволяет говорить о возможности использования единого алгоритма управления грузоперевозками.

Каждое текущее состояние объекта управления опишем набором параметров  $P$ . Пусть  $S$  – множество всех состояний, каждое из которых можно отнести к одному из классов, тогда  $U$  – множество всех классов состояний (нормальное, перегруженное, аварийное). Задача ССУ состоит в выборе наиболее подходящего управляющего воздействия из множества всех возможных управляющих воздействий  $M$ . Например, в случае отказа транспортного средства одного из КА можно принять несколько решений:

- передать всю невыполненную этим курьером работу другому КА;
- распределить невыполненную работу между несколькими КА;
- ничего не предпринимать.

Каждому возможному состоянию необходимо поставить в соответствие некоторое управляющее воздействие. Изначально неизвестно, какое управляющее воздействие будет наиболее эффективным для того или иного состояния объекта управления, поэтому нужно предусмотреть возможность самообучения ССУ в ходе накопления полученного опыта принятия решений и подсчета эффективности  $E$  каждого принятого решения:

$$E = F(P, M). \quad (2)$$

При наступлении какого-либо события, способного перевести ОУ из одного состояния в другое, отличное от нормального (например, поломка автомобиля), ССУ классифицирует новое состояние, в которое перешел ОУ. Затем система определяет уже известное заранее оптимальное управляющее воздействие, которое либо переведет ОУ обратно в нормальное состояние, либо позволит наиболее эффективно решить сложившуюся ситуацию при сохранении текущего состояния. После оказания вы-

бранного воздействия на ОУ система оценивает, насколько эффективно было данное управляющее воздействие и сохраняет данные расчета в БД.

### 4. ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА КУРЬЕРА

Для того чтобы КА знал свой оптимальный маршрут, необходимо иметь в своем распоряжении алгоритм, позволяющий определить какой из всевозможных маршрутов движения КА оптимальный с точки зрения выбранных критериев. Аппроксимируем территорию мегаполиса графом, где вершины графа – это пункты, которые КА должен посетить с целью доставки или забора груза у клиента, а дуги – это возможные пути перемещения от одного пункта к другому. Одна из вершин графа обозначает сортировочный центр, из которого начинают движение и куда возвращаются все КА. Поскольку количество элементов множества пунктов, которые необходимо посетить курьеру, может изменяться со временем (т. е. это множество является нечетким), то рассматриваемый граф будет нечетким.

Необходимо определить такой путь от сортировочного центра через все вершины графа, который обеспечит оптимальное значение заданной целевой функции.

Таким образом, мы имеем дело с задачей, аналогичной классической задаче коммивояжера [5]. Отличия заключаются в следующем.

Рассматриваемый граф является нечетким [6], то есть вершины и дуги графа непостоянны. С течением времени некоторые вершины и дуги могут быть исключены из графа (если отпадет по какой-либо причине необходимость посещения того или иного пункта обслуживания). Существует также возможность, что к графу присоединятся новые вершины и дуги (если в течение дня клиент сделает заявку на вызов КА по определенному адресу).

В случае если множество вершин изменится, то возникнет необходимость определения оптимального маршрута с учетом того, что некоторые пункты уже обслужены, т. е. необходимо определить оптимальный путь от точки, в которой КА находился в тот момент времени, когда стало известно об изменении множества вершин графа, до конечной вершины, обозначающей сортировочный центр. В связи с этим необходимо несколько раз прогонять алгоритм

нахождения оптимального маршрута на данный момент для каждого КА.

Существует возможность того, что КА будет необходимо посетить один и тот же пункт более одного раза.

В отличие от классической задачи коммивояжера, где учитывается лишь один критерий эффективности (расстояние или затраченные ресурсы), в нашей задаче присутствует множество критериев эффективности, объединенных в единую функцию эффективности.

Ввиду наличия приоритетных доставок, мы имеем дело с графом, вершины которого, как и дуги, являются взвешенными.

Критерии эффективности решения поставленной задачи выберем в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству операционной деятельности рассматриваемой курьерской службы, а именно:

- доля грузов, доставленных в течение дня;
- доля приоритетных грузов (доставка до 09:00, до 10:30, до 12:00), доставленных в отведенное время;
- доля собранных отправок;
- доля всех грузов, доставленных до 12:00;
- затраченное время;
- пройденное расстояние.

Для расчета общей эффективности маршрута воспользуемся аддитивной функцией эффективности [7], в которой веса критериев эффективности назначаются экспертами, а сами величины критериев используются в нормированной форме (все критерии изменяются в промежутке [0,1]):

$$O = \sum_i c_i k_i, \quad (3)$$

где  $c_i$  – вес  $i$ -го критерия эффективности;  $k_i$  – значение  $i$ -го критерия эффективности.

Каждому классу состояний ОУ соответствуют свои значения весов критериев эффективности. Значимость таких критериев, как доля грузов, доставленных в течение дня, при аварийном состоянии будет гораздо выше весомости остальных критериев. При нормальном состоянии будут одинаково равны все критерии, кроме затраченного времени и пройденного расстояния, так как они не столь важны на фоне остальных показателей.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать наиболее известные опти-

мизационные алгоритмы, применяемые при решении классической задачи коммивояжера, основанные на методах искусственного интеллекта: генетический алгоритм, метод муравьиной колонии, метод роя частиц.

При отборе наиболее выгодного алгоритма решения данной задачи необходимо учесть время, затраченное тем или иным алгоритмом, на поиск оптимального решения. Это обусловлено тем, что множество вершин графа непостоянно, и с каждым изменением набора вершин возникает необходимость перерасчета оптимального маршрута. Такой перерасчет должен отнимать минимальное количество времени для обеспечения режима работы системы в реальном времени [8].

Одним из наиболее перспективных на сегодняшний день является метод роя частиц, потому что он прост в реализации и не требует определения градиента направления оптимизации целевой функции, а также обладает сравнительно высокой скоростью поиска оптимального решения. Остановимся на нем подробнее.

Для того чтобы в ходе поиска оптимального решения задачи коммивояжера избежать попадания в область локального минимума, была предложена идея совместить метод роя частиц с алгоритмом моделирования отжига [11]. Рассмотрим основные этапы этого гибридного алгоритма.

#### 1. Инициализация начального роя частиц.

Пусть  $m$  – количество частиц, тогда частица  $C_i$  может быть представлена в виде:

$$C_i = \{s[1], s[2], \dots, s[n]\}, \quad (4)$$

где  $s[i] = j$  означает, что пункт  $j$  будет посещен курьером вслед за пунктом  $i$ .

Также необходимо задать начальные значения параметров:  $T_0$  – начальная температура (чем выше значение начальной температуры, тем лучше результат работы алгоритма);  $T_\theta$  – минимальная температура (при низкой температуре каждая частица находит свой лучший локальный маршрут  $C_{i\text{best}}$  лишь в своей локальной области);  $\alpha$  – коэффициент охлаждения, который является случайной константой из промежутка [0,1];  $L$  – максимальное число итераций при определенной температуре.

2. Каждая частица отыскивает свой наилучший локальный маршрут  $C_{i\text{best}}$ .

За одну итерацию каждая частица  $C_i$  генерирует новый маршрут  $C_i'$  в своей локальной области и затем, согласно правилу алгоритма

моделирования отжига, выбирает – принимать или нет новый маршрут:

$$\Delta f = f(C_{new}) - f(C_{old}), \quad (5)$$

$$P = \begin{cases} 1, \Delta f \leq 0 \\ \exp\left(-\frac{\Delta f}{t_i}\right), \Delta f > 0, \end{cases} \quad (6)$$

где  $f$  – функция эффективности маршрута,  $P$  – вероятность принятия нового маршрута.

Если  $\Delta f \leq 0$ , что означает, что новый маршрут более эффективен, чем прежний, то новый маршрут принимается всегда. В случае если  $\Delta f > 0$ , необходимо рассчитать вероятность  $P$  по формуле (6). Если  $P$  окажется больше некоторого случайно сгенерированного числа от 0 до 1, то новый маршрут также принимается взамен прежнего. Иначе новый маршрут отвергается. В формуле (6)  $t$  является важным параметром управления, называемым температурой. Температура снижается с каждой новой итерацией, что оказывает влияние на вероятность принятия нового маршрута, которая также снижается. Возможная величина остывания рассчитывается по формуле:

$$T = (\alpha)^i T_0 + T_\theta, \quad (7)$$

где  $i$  – количество проведенных итераций.

После  $L$  итераций каждая частица находит свой оптимальный маршрут  $C_{ilbest}$ . Далее необходимо применить метод обмена для того, чтобы получить новый маршрут. Для этого в маршруте  $C$  случайным образом выбираются 2 пункта и меняются местами.

3. Обновление лучшего персонального маршрута  $C_{ipbest}$  и лучшего глобального маршрута  $C_{gbest}$ .

Необходимо сравнить между собой значения  $C_{ipbest}$  и  $C_{ilbest}$ , маршрут с лучшим значением функции эффективности заменит  $C_{ipbest}$ . После обновления лучших персональных маршрутов для каждой частицы мы можем вычислить новое значение  $C_{gbest}$ .

4. Получить новый маршрут  $C_{new}$  с помощью операции кроссовера.

Частица  $C_i$  скрещивается по отдельности с  $C_{ipbest}$  и  $C_{gbest}$  для того чтобы обновить саму себя. Для скрещивания будем использовать следующий прием. Пусть мы имеем два маршрута  $A = (123456789)$  и  $B = (987654321)$ . Сначала необходимо случайным образом выбрать область скрещивания из  $B$  и поместить номера пунктов этой области в маршрут  $A$ . Далее нужно удалить все повторяющиеся пункты из маршрута  $A$ , ко-

торые находятся вне области скрещивания. Например, если была выбрана область скрещивания (7654) в маршруте  $B$ , то новый маршрут будет иметь вид (127654389)

5. Рассчитать новую температуру  $T$  по формуле (7).

Если  $T \leq T_\theta$ , то работа алгоритма заканчивается, и маршрут  $C_{gbest}$  будет являться решением задачи. Иначе необходимо перейти к шагу 2.

## 5. ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ СИСТЕМОЙ И КУРЬЕРАМИ

Для того чтобы добиться эффективной работы системы оперативного управления, необходимо обеспечить быструю и надежную информационную связь между КА и ССУ. Для этого следует использовать коммуникационные устройства, оснащенные специальным программным обеспечением, позволяющие курьерам как получать информацию с сервера системы оперативного управления, так и отправлять данные на сервер. Отметим основные функции, которые должны обеспечивать такие устройства:

- наличие элемента спутниковой связи, поддерживающей протоколы для обмена необходимой информацией;
- получение необходимых данных об отправлениях с сервера;
- постоянное обновление маршрута, согласно результатам работы алгоритма планирования на сервере;
- удобное и наглядное графическое представление маршрута на карте города;
- ввод и передача данных о доставленных и принятых грузах;
- наличие GPS-передатчика для передачи данных о местонахождении курьера и обеспечения функции мониторинга работы курьеров.

## 6. МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Поскольку ЛПР является частью уровня координирования и планирования ССУ, то необходимо постоянно снабжать его актуальной и достоверной информацией о состоянии объекта управления. Для этого система управления должна:

- обеспечивать непрерывный сбор информации о координатах КА, о ходе выполнения назначенных КА заданий;

- отображать собранную информацию с помощью ГИС в удобном для пользователя виде; местонахождения КА должны быть показаны на электронной карте мегаполиса, основные показатели работы КА и данные о доставленных и принятых грузах также должны быть легкодоступны и понятны ЛПП;

- предоставлять возможность визуализации последствий решений, принятых системой или ЛПП в результате возникновения критической ситуации.

### 7. ВВОД И ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ ОБ ОТПРАВЛЕНИЯХ

Система должна иметь в своем распоряжении базу данных, хранящую всю необходимую информацию о КА, маршрутах, городских адресах, отправлениях. На основе этих данных выполняется планирование маршрутов, мониторинг ОУ, классификация состояния ОУ и перераспределение работ.

Данные о статусе отправок должны постоянно и автоматически обновляться за счет передачи данных в систему от КА.

Также необходимо обеспечить простой и удобный способ ввода данных операторами, при котором не нужно будет тратить много времени при внесении информации об отправлениях, выставленных на доставку, в начале дня.

### 8. РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Сложность использования ситуационного подхода к управлению заключается в проблеме классификации и распознавания состояний объекта управления. Для этого, во-первых, необходимо ввести набор параметров Р, которые полностью бы охарактеризовали текущую ситуацию, например:

- количество КА;
- количество отправок, выставленных на доставку;
- количество заявок на вызов курьера и т. д.

Во-вторых, необходимо ввести четкие или нечеткие границы значений для этих параметров, чтобы можно было выделить необходимые классы состояний объекта управления и отнести любую из текущих ситуаций к одному из возможных классов. Далее возможно будет выбрать наиболее оптимальное управляющее воздействие для той или иной ситуации, исходя из

того, к какому из классов она относится, и какое управляющее воздействие наиболее эффективно для ситуаций данного класса.

### 9. ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТ

ССУ должна уметь адаптироваться к различным рабочим ситуациям таким, как поломка автомобиля, пробки на дорогах, а также перераспределять работы между КА по мере необходимости в случае возникновения таких ситуаций. Оперативное планирование на основе ситуационного подхода заключается в том, что система управления способна принимать решение или вырабатывать несколько лучших решений при возникновении форс-мажорных ситуаций или ситуаций, когда кто-либо из КА не справляется со своей работой. В этих случаях возникает необходимость перераспределения работы одного курьера между другими при условии, что такое перераспределение вообще будет эффективно.

При переходе объекта управления в критическое состояние система управления выполняет следующие действия:

- анализирует это состояние, проверяет наличие возможных способов вывода объекта из данного состояния;
- моделирует последствия, к которым приведет принятие каждого решения;
- оценивает эффективность каждого решения;
- предоставляет всю полученную информацию ЛПП, которое выбирает наилучшее решение.

### ВЫВОД

Система ситуационного управления позволит более эффективно решить проблему оперативного планирования благодаря адаптивному выбору оптимальной стратегии управления. Такой подход позволяет учесть при автоматизации управления важнейшие особенности функционирования рассматриваемой транспортной компании и повысить при этом эффективность и надежность работы компании.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Поспелов Д. А.** Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 288 с.
2. Официальный сайт компании DHL [электронный ресурс] ([www.dhl.com](http://www.dhl.com)).

3. **Уразбахтин Р. Н., Христофоров С. В., Валеев С. С.** Система оперативного планирования грузоперевозок в курьерской службе // Вестник УГАТУ. 2010. Т. 1, № 40. С. 117–125.
4. **Тарасов В. Б.** От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. М.: Едиториал УРСС, 2002. 352 с.
5. **Харари Ф.** Теория графов. М.: Мир, 1973. 300 с.
6. **Голубев И. В.** Поиск оптимальных путей в направленных нечетких графах. СМПО НИЦ ВА ВПВО ВС РФ. 2006.
7. **Таха Х. А.** Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2007. 912 с.
8. **Kopetz H.** Real-Time Systems, Design Principles for Distributed Embedded Applications, Klower Academic Publishers, 1997, Chpt. 10–11.
9. Genetic Algorithms and the Traveling Salesman Problem [электронный ресурс] (<http://www.codeproject.com/KB/recipes/tspapp.aspx>).
10. **Dorigo M., Birattari M., Blum C.** Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, 6 conf., ANTS 2008.
11. **Fang L., Chen P., Liu Sh.** Particle swarm optimization with simulated annealing for TSP. Proceedings of the 6<sup>th</sup> WSEAS Int. Conf. on AI, Knowledge Engineering and Data Bases. Corfu Island, Greece. 16–19.02.2007. P. 206–210.
12. **Ходашинский И. А.** Идентификация нечетких систем: методы и алгоритмы. Проблемы управления, вып. 4. М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2009. С. 15–23.

#### ОБ АВТОРАХ

**Валеев Сагит Сабитович**, проф., зав. каф. информатики. Дипл. инженер-электромеханик (УАИ, 1980). Д-р техн. наук по управлению в техн. системах (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. интеллект. управления сложными объектами.

**Уразбахтин Рустем Нурович**, доц. той же каф. Дипл. инженер-системоаналитик (УГАТУ, 1994). Канд. техн. наук по инф.-измерительн. системам (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. моделирования орг.-техн. систем.

**Христофоров Сергей Викторович**, асп. той же каф. Дипл. инженер в обл. моделирования и исследования операций в орг.-техн. системах (УГАТУ, 2009).