



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



СПб
ФИЦ
РАН

Санкт-Петербургский
Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук



Специальное модельно-алгоритмическое обеспечение планирования информационных процессов при взаимодействии группировки подвижных объектов.

к.т.н. Захаров Валерий Вячеславович СПб ФИЦ РАН

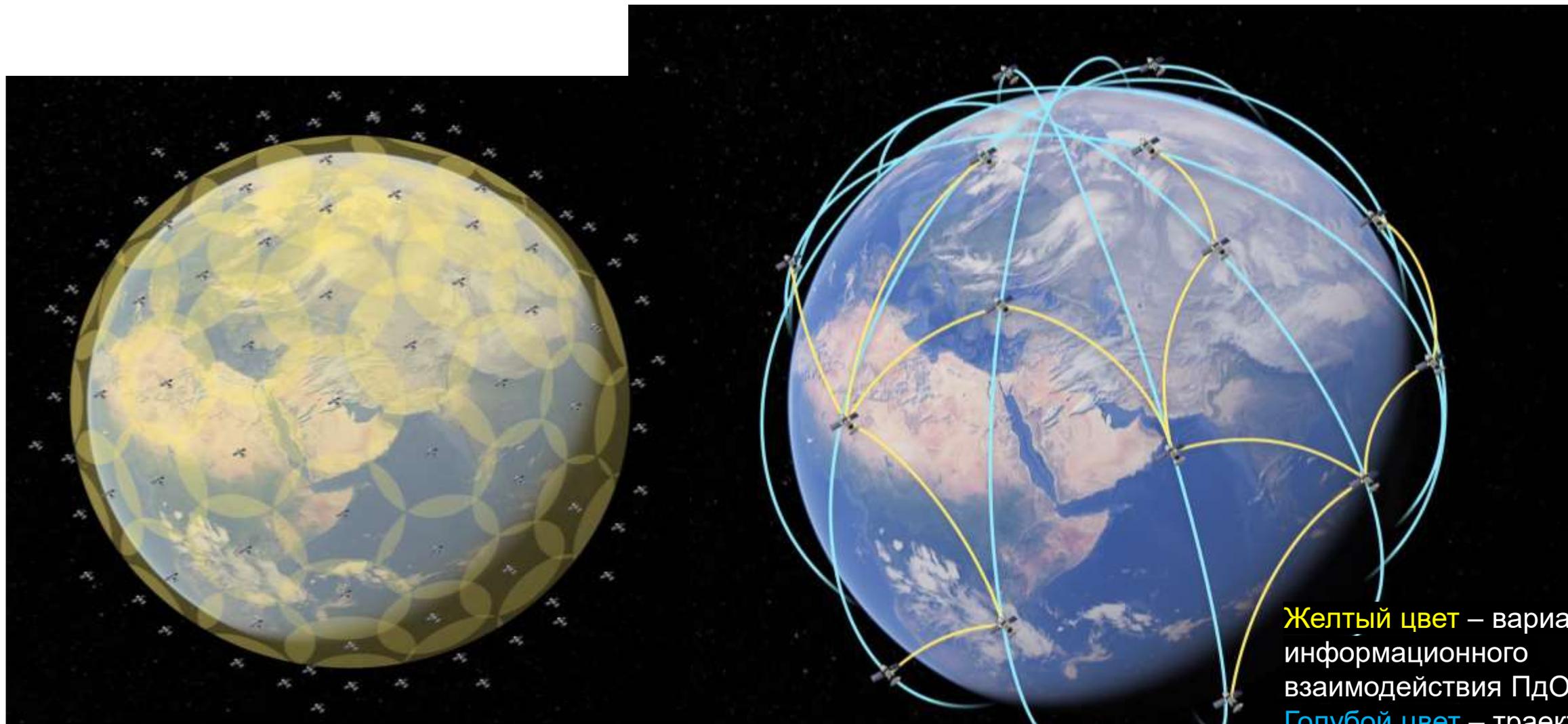
д-р техн. наук, профессор Соколов Борис Владимирович СПб ФИЦ РАН

Ушаков Виталий Анатольевич СПб ГУАП

г. Санкт-Петербург

2023 г.

Возможные сценарии реализации информационного взаимодействия маломассоразмерных космических аппаратов (ПдО) в космосе



Желтый цвет – варианты информационного взаимодействия ПдО;
Голубой цвет – траектории движения ПдО.

Возможные варианты информационного взаимодействия интеллектуальных транспортно-технических систем (ИТТС) в аэропорту

Желтый цвет – зона действия сети сотовых операторов – GSM/3G/4G/LTE;

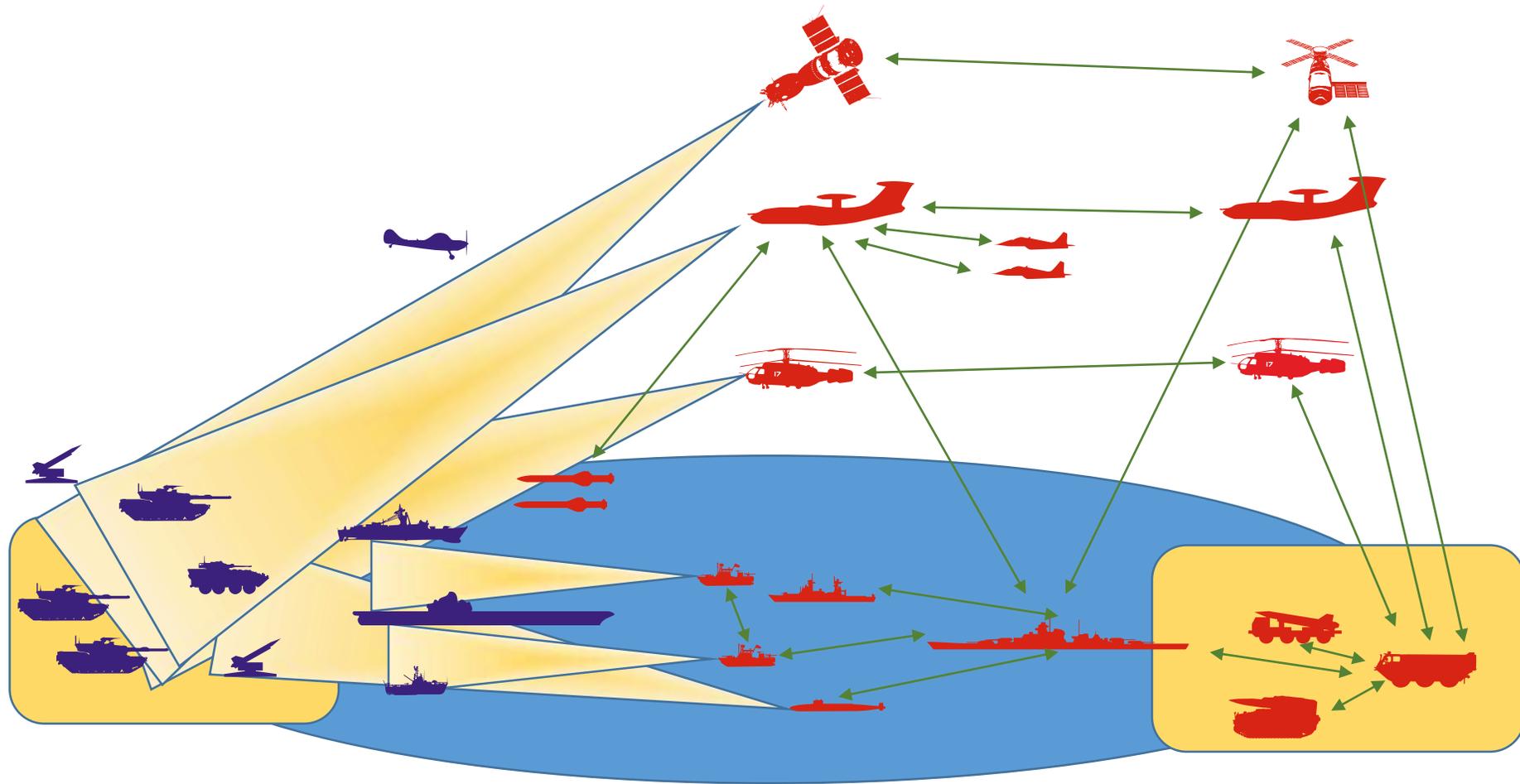
Красный цвет – зона сети ИТТС Wi-fi/Bluetooth IEEE 802.11n (до 250 м);

Красный цвет (пунктирная линия) – зона отсутствия сети сотовых операторов – неустойчивый прием;

Синий цвет – зона действия сети предприятия – Wi-fi IEEE 802.11g (до 140 м).



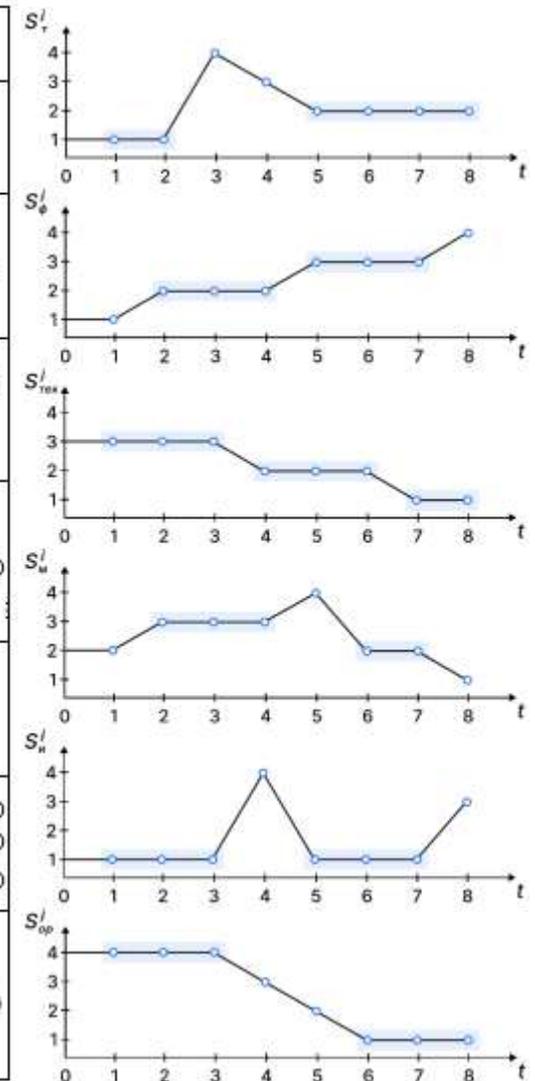
Возможные сценарии реализации информационного взаимодействия разнотипных подвижных объектов (ПДО)



Варианты многоструктурной динамики группировки подвижных объектов

Графики возможных изменений структурных состояний группировки (Гр) подвижных объектов (ПдО)

Варианты многоструктурных состояний	j -й уровень Гр-ПдО				
	$S_0^{(j)}$	$S_1^{(j)}$	$S_2^{(j)}$...	$S_k^{(j)}$
Типы структур					
Топологическая структура				...	
Технологическая структура				...	
Техническая структура				...	
Структура программно-математического обеспечения				...	
Структура информационного обеспечения				...	
Организационная структура				...	



Специфика функционирования Гр ПдО (а точнее, ее **структурная динамика** – **отмечено голубым цветом**) заключается в том, что несмотря на перемещение ПдО **структура их информационного взаимодействия** (характеристики “зон радиовидимости”) **ИНВ** сохраняется постоянной в течение определенных интервалов времени (временных интервалов постоянства рассматриваемой структуры).

Формальное описание исследуемых задач планирования ИнП на основе логико-динамического подхода

Базисные множества	Названия множеств
$A = \{A_i \mid i \in N = \{1, \dots, n\}\};$	множество подвижных объектов
$B = \{B_j \mid j \in M = \{1, \dots, m\}\};$	множество операций, входящих в информационный процесс
$D^{(i)} = \{D_{\kappa}^{(i)} \mid \kappa \in \Phi = \{1, \dots, s_i\}\};$	множество каналов обслуживания
$E^{(i)} = \{E_{\rho}^{(i)} \mid \rho \in R = \{1, \dots, \pi_i\}\};$	множество информационных потоков, сопровождающих реализацию информационного процесса
$\xi = \{\Xi_g \mid g \in G = \{1, \dots, \Gamma\}\}.$	множество сценариев возмущающих воздействий

Общая постановка задачи планирования ИнП с использованием ранее разработанной логико-динамической модели управления операциями, входящими в информационный процесс (Калинин В.Н., Соколов Б.В., Потрясаев С.А.):

$$\dot{\chi}_{i\gamma} = \sum_{j=1}^m \varepsilon_{ij}(t) u_{i\gamma j}; \quad (10.1)$$

$$\chi_{i\gamma}(t_0) = 0; \quad (10.2)$$

$$\chi_{i\gamma}(t_f) = a_{i\gamma}; \quad (10.3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{\gamma=1}^{S_i} u_{i\gamma j} \leq c_j^{(1)}; \quad (10.4)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{\gamma=1}^{S_j} u_{i\gamma j} \leq c_i^{(2)}; \quad (10.5)$$

$$u_{i\gamma j}(t) \in \{0,1\} \quad (10.6)$$

$$u_{i\gamma j} \left[\sum_{\alpha \in \Gamma_{i\gamma 1}} (\alpha_{i\alpha} - \chi_{i\alpha}) + \prod_{\beta \in \Gamma_{i\gamma 2}} (\alpha_{i\beta} - \chi_{i\beta}) \right] = 0; \quad i, j = 1, \dots, m; \quad i \neq j; \quad \gamma = 1, \dots, S_i; \quad (10.7)$$

$$J_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{\gamma=1}^{S_i} \left\{ \left[a_{i\gamma} - \chi_{i\gamma}(t_f) \right]^2 + \sum_{j=1}^m \int_{t_0}^{t_f} \eta_{i\gamma j}(\tau) u_{i\gamma j}(\tau) d\tau \right\}, \quad i \neq j \quad (10.8)$$

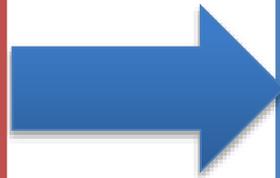
Формальная постановка задачи планирования информационных процессов: необходимо найти такое допустимое программное ограничение (10.4-10.7) и переводит динамическую систему (10.1) из заданного начального состояния (10.2) в заданное конечное состояние (10.3). Если таких управляющих воздействий несколько, то среди них необходимо выбрать, то при котором обобщенный показатель качества принимает экстремальное значение (10.8).

Существующие проблемы использования логико-динамических моделей:

- ❑ Сложность учета прерываний операций взаимодействия;
- ❑ Сложность учета пространственно-временных ограничений, вызванных перемещением подвижных объектов;
- ❑ Сложность учета логических ограничений.

Предлагаемая декомпозиция задачи планирования информационных процессов (ИнП), основанная на учете участков постоянства структуры информационного взаимодействия группировки ПДО

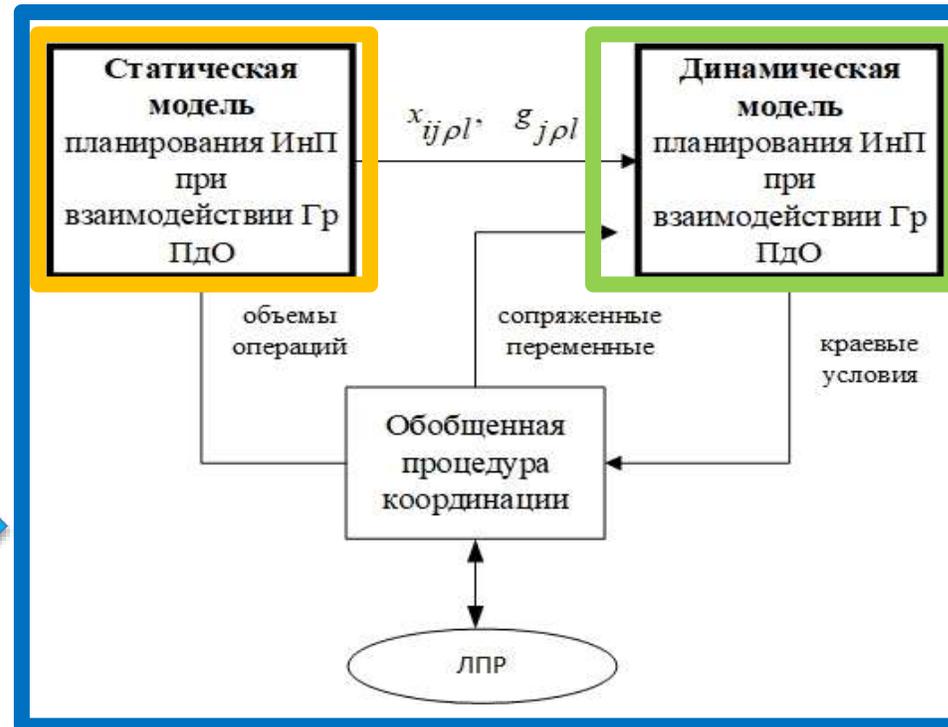
Описание исходной задачи планирования ИнП при взаимодействии группировки подвижных объектов, решаемая с использованием логико-динамической модели



Переход от обобщенной логико-динамической модели программного управления ИнП к комбинированному описанию процессов планирования ИнП на основе полимодельного описания



В предложенной статической модели учитываются такие факторы, процессы и ограничения, как потери данных, а также ограничения, на последовательность выполнения операций, а также связанные с неразрывностью выполняемых операций.



В предложенной динамической модели (ДМ) проводится детальное описание процессов распределения и обработки данных с привязкой к конкретным моментам времени. В этом случае в ДМ можно конструктивно учесть ограничения на равномерность использования ресурсов, штрафы за нарушения директивных сроков и др. временные факторы

Статическая модель планирования информационных процессов при взаимодействии группировки подвижных объектов

Обобщенный показатель качества планирования:

$$\alpha_1 I_1 - \alpha_2 I_2 = I_0 \rightarrow \max_{\bar{x} \in \square} \quad (13.1)$$

Характеризует суммарный объем обработанных данных

Характеризует суммарный объем потерянных данных

$$(13.2) \quad I_1 = \sum_{\rho=1}^P \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L g_{j\rho l}$$

$$(13.3) \quad I_2 = \sum_{\rho=1}^P \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L z_{j\rho l}$$

где $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ $\alpha_1, \alpha_2 \geq 0$ $\bar{x} = \| x_{j\rho l}^{(вх)}, x_{ij\rho l}, y_{j\rho l}, g_{j\rho l}, z_{j\rho l} \|$

Статическая математическая модель планирования информационных процессов при взаимодействии подвижных объектов (\square):

$$\sum_{\rho \in P} x_{j\rho l}^{(вх)} = \sum_{\rho \in P} ((\sum_{i \in M_{jl}^{(+)}} x_{ij\rho l} - \sum_{i \in M_{jl}^{(-)}} x_{ij\rho l}) + (y_{j\rho l} - y_{j\rho(l-1)}) + g_{j\rho l} + z_{j\rho l}); \quad (13.4)$$

где $i, j = 1, 2, \dots, n; \rho = 1, 2, \dots, P; l = 1, 2, \dots, L$

Технические ограничения:

$$0 \leq \sum_{\rho \in P} x_{ij\rho l} \leq \psi_{ijl}; \quad (13.5)$$

$$0 \leq \sum_{\rho \in P} (y_{j\rho l} + g_{j\rho l}) \leq V_j; \quad (13.6)$$

$$0 \leq \sum_{\rho \in P} g_{j\rho l} \leq \varphi_{jl}; \quad (13.7)$$

$$g_{j(\rho+1)l} = s_{\rho} g_{j\rho l}; \quad (13.8)$$

$$0 \leq z_{j\rho l}; \quad (13.9)$$

Таким образом, задача планирования информационных процессов при взаимодействии подвижных объектов сводится к многокритериальной задаче линейного программирования большой размерности.

ДМ планирования (программного управления) ИнП при взаимодействии Гр ПдО

ДМ программного управления ИнП при взаимодействии ПдО:

модель программного управления приемом/передачей данных (информации)

$$\dot{x}_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) = u_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) \quad (14.1)$$

модель программного управления обработкой данных

$$\dot{x}_{j\rho l}^{(n,2)}(t) = u_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \quad (14.2)$$

вспомогательная модель, позволяющая определить направление приема/передачи данных

$$\dot{x}_{ij\rho l}^{(n,3)}(t) = \omega_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) \quad (14.3)$$

вспомогательная модель, позволяющая определить в каком ПдО осуществляется обработка заданного типа данных

$$\dot{x}_{j\rho l}^{(n,4)}(t) = \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \quad (14.4)$$

Вспомогательная модель, позволяющая определить границы временных интервалов участков постоянства структуры ИнВ Гр ПдО

$$(14.5) \quad \dot{x}_l^{(o,1)}(t) = u_l^{(o,1)}(t)$$

Краевые условия:

$$x_l^{(o,1)}(t_{0l}) = x_{ij\rho l}^{(n,1)}(t_{0l}) = x_{j\rho l}^{(n,2)}(t_{0l}) = x_{ij\rho l}^{(n,3)}(t_{0l}) = x_{j\rho l}^{(n,4)}(t_{0l}) = 0; \quad (14.6)$$

$$x_l^{(o,1)}(t_{fl}) = T_l^{(o,1)}; \quad \sum_{\rho=1}^P x_{ij\rho l}^{(n,1)}(t_{fl}) = x_{ijl}; \quad \sum_{\rho=1}^P x_{j\rho l}^{(n,2)}(t_{fl}) = g_{jl}; \quad (14.7)$$

$$x_{ij\rho l}^{(n,3)}(t_{fl}) \in \square^+; \quad x_{j\rho l}^{(n,4)}(t_{fl}) \in \square$$

Взаимосвязь со статической моделью через краевые условия

Технологические ограничения:

$$u_l^{(o,1)}(t)(T_l^{(o,1)} - \dot{x}_l^{(o,1)}(t)) = 1; \quad (14.8)$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) + \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \leq 1; \quad \rho = 1, 2, \dots, P; \quad l = 1, 2, \dots, L \quad (14.9)$$

$$j \neq i \quad u_l^{(o,1)}(t), \omega_{ij\rho l}^{(n,1)}(t), \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \in \{0, 1\} \quad (14.10)$$

$$0 \leq \xi_{ij}^{(b,1)} \leq 1; \quad 0 \leq \xi_j^{(b,2)} \leq 1; \quad (14.11)$$

Технические ограничения:

$$0 \leq u_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) \leq c_{ij\rho l}^{(n,1)} \omega_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) u_l^{(o,1)}(t); \quad (14.12)$$

$$\sum_{\rho=1}^P u_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) \leq d_{ijl}^{(1)} \xi_{ij}^{(b,1)}; \quad (14.14)$$

$$0 \leq u_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \leq c_{j\rho l}^{(n,2)} \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) u_l^{(o,1)}(t); \quad (14.13)$$

$$\sum_{\rho=1}^P u_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \leq d_{jl}^{(2)} \xi_j^{(b,2)}; \quad (14.15)$$

Таким образом, задача планирования на ДМ сводится к следующему: необходимо перевести динамическую систему (14.1)-(14.5) из заданного начального состояния (14.6) в заданное конечное состояние (14.7) при наличии ограничений (14.8)-(14.15).

ДМ планирования (программного управления) ИнП при взаимодействии Гр ПдО.

(показатели качества планирования ИнП при взаимодействии Гр ПдО)

Основные показатели качества планирования ИнП при взаимодействии Гр ПдО:

Взаимосвязь со СМ

(15.1)

$$J_4 = \frac{1}{2} \left[\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(x_{ijl} - \sum_{\rho=1}^P x_{ij\rho l}^{(n,1)}(t_{fl}) \right)^2 + \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^n \left(g_{jl} - \sum_{\rho=1}^P x_{j\rho l}^{(n,2)}(t_{fl}) \right)^2 \right];$$

Показатель характеризующий суммарный объем переданной и обработанной информации

$$J_2 = \sum_{l=1}^L \sum_{\rho=1}^P \sum_{j=1}^n \int_{t_{0l}}^{t_{fl}} \gamma_{j\rho l}(t) \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) dt; \quad (15.2)$$

Показатель характеризующий суммарный штраф за нарушение директивных сроков выполнения операций, в рамках соответствующих ИнП

Дополнительные показатели качества планирования ИнП при взаимодействии Гр ПдО:

Показатель, характеризующий суммарное интегральное качество запланированных операций, входящих в соответствующие ИнП

$$J_3 = \sum_{l=1}^L \sum_{\rho=1}^P \sum_{j=1}^n \int_{t_{0l}}^{t_{fl}} \beta_{j\rho l}(t) \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) dt; \quad (15.3)$$

Показатели, позволяющие оценить степень равномерности (неравномерности) использования ресурсов ПдО для каждого подынтервала постоянства структур.

$$J_5 = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L \sum_{\rho=1}^P \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left(T_l^{(o,1)} - x_{ij\rho l}^{(n,3)}(t_{fl}) \right)^2; \quad (15.4)$$

$$J_6 = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L \sum_{\rho=1}^P \sum_{j=1}^n \left(T_l^{(o,1)} - x_{j\rho l}^{(n,4)}(t_{fl}) \right)^2; \quad (15.5)$$

обобщенный показатель качества планирования ИнП

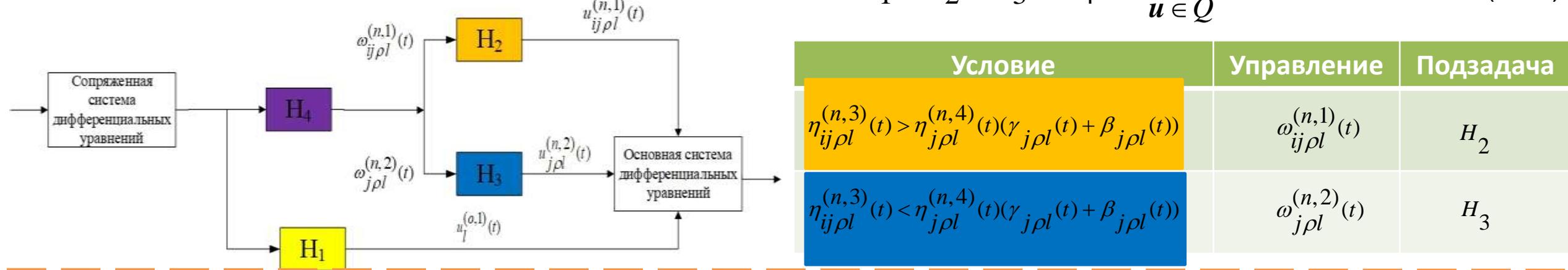
$$J_{об} = \sum_{m=1}^5 \lambda_m J_m; \quad (15.6)$$

$$\sum_{m=1}^5 \lambda_m = 1; \quad (15.7)$$

$$J_m = \frac{J_m}{J_m^*}; \quad (15.8)$$

Преобразование задачи оптимального планирования ИнП в краевую задачу на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина

$$H(x(t), \eta(t), u^*(t), t) = (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) \rightarrow \max_{u \in Q} H(x(t), \eta(t), u^*(t)); \quad (16.1)$$



Задача выбора технологий (в каждый момент времени решается задача «о назначениях», целочисленного линейного программирования)

$$H_4 = \sum_{l=1}^L \sum_{\rho=1}^P \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left[\eta_{ij\rho l}^{(n,3)}(t) \omega_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) + \eta_{j\rho l}^{(n,4)}(t) (\gamma_{j\rho l}(t) + \beta_{j\rho l}(t)) \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \right] \rightarrow \max; \quad (16.2)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n \omega_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) + \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \leq 1; \quad (16.3)$$

$$0 \leq \omega_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) \leq 1; \quad 0 \leq \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \leq 1;$$

Задача приема/передачи данных (в каждый момент времени решается задача линейного программирования)

$$H_2 = \sum_{l=1}^L \sum_{\rho=1}^P \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \eta_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) u_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) \rightarrow \max; \quad (16.4)$$

$$0 \leq u_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) \leq c_{ij\rho l}^{(n,1)} \omega_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) u_l^{(o,1)}(t); \quad \sum_{\rho=1}^P u_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) \leq d_{ijl}^{(1)} \xi_{ij}^{(b,1)}; \quad (16.5)$$

Задача обработки данных

(в каждый момент времени решается задача линейного программирования)

$$H_3 = \sum_{l=1}^L \sum_{\rho=1}^P \sum_{j=1}^n \eta_{j\rho l}^{(n,2)}(t) u_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \rightarrow \max; \quad (16.6)$$

$$0 \leq u_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \leq c_{j\rho l}^{(n,2)} \omega_{j\rho l}^{(n,2)}(t) u_l^{(o,1)}(t); \quad \sum_{\rho=1}^P u_{j\rho l}^{(n,2)}(t) \leq d_{jl}^{(2)} \xi_j^{(b,2)}; \quad (16.7)$$

Преобразование задачи оптимального планирования информационных процессов в краевую задачу (продолжение)

Сопряжённая система дифференциальных уравнений:

$$\dot{\eta}_l^{(o,1)}(t) = 0; \quad (17.1)$$

$$\dot{\eta}_{ij\rho l}^{(n,1)}(t) = 0; \quad (17.2)$$

$$\dot{\eta}_{j\rho l}^{(n,2)}(t) = 0; \quad (17.3)$$

$$\dot{\eta}_{ij\rho l}^{(n,3)}(t) = 0; \quad (17.4)$$

$$\dot{\eta}_{j\rho l}^{(n,4)}(t) = 0; \quad (17.5)$$

Условия трансверсальности:

$$\eta_l^{(o,1)}(t_{fl}) = \lambda_3 (T_l^{(o,1)} - x_l^{(o,1)}(t_{fl})); \quad (17.6)$$

$$\eta_{ij\rho l}^{(n,1)}(t_{fl}) = \lambda_4 \left(x_{ijl} - \sum_{\rho=1}^P x_{ij\rho l}^{(n,1)}(t_{fl}) \right); \quad (17.7)$$

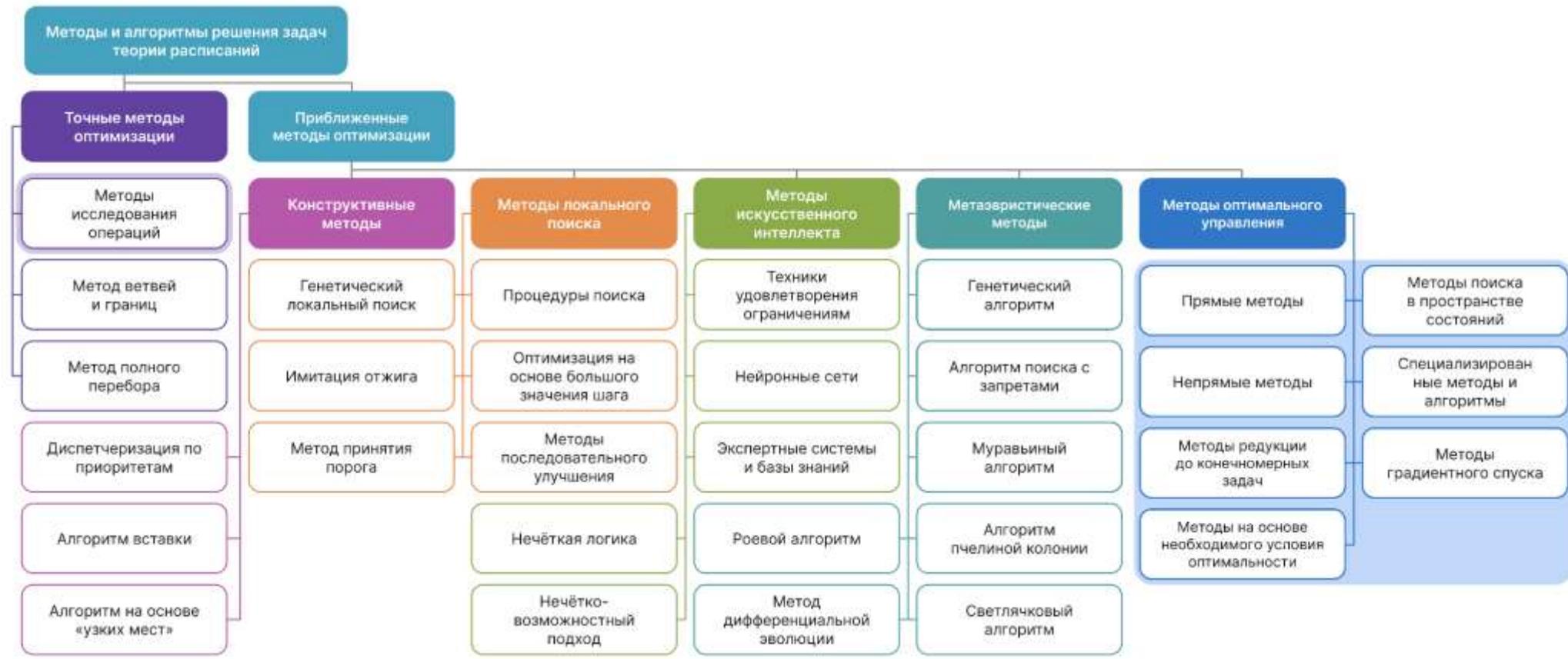
$$\eta_{j\rho l}^{(n,2)}(t_{fl}) = \lambda_4 \left(g_{jl} - \sum_{\rho=1}^P x_{j\rho l}^{(n,2)}(t_{fl}) \right); \quad (17.8)$$

$$\eta_{ij\rho l}^{(n,3)}(t_{fl}) = \lambda_5 \left(T_l^{(o,1)} - x_{ij\rho l}^{(n,3)}(t_{fl}) \right); \quad (17.9)$$

$$\eta_{j\rho l}^{(n,4)}(t_{fl}) = \lambda_6 \left(T_l^{(o,1)} - x_{j\rho l}^{(n,4)}(t_{fl}) \right); \quad (17.10)$$

Взаимосвязь со статической моделью

Существующие классы методов и алгоритмов, которые могут быть использованы для решения задач оптимального оперативного планирования информационных процессов



Фиолетовым цветом отмечены методы, ориентированные на решение задач исследования операций. Синим цветом - методы, ориентированные на решение задач оптимального управления.

Зеленым цветом методы, ориентированные на решение задач оптимального управления, которые при реализации в каждый момент времени используют методы исследования операций (математического программирования).

Основные шаги обобщенной процедуры планирования информационных процессов при взаимодействии группировки подвижных объектов с использованием комбинированных моделей и алгоритмов

Шаг 1.

• Расчет плана операций, входящих в информационный процесс, при взаимодействии группировки подвижных объектов с использованием статической модели путем многократного решения многокритериальной задачи линейного программирования большой размерности.

Шаг 2.

• Визуализация структурной динамики группировки подвижных объектов, сформированной с помощью статической модели.

Шаг 3.

• Передача данных из статической модели в динамическую модель. В противоположном случае у пользователя есть возможность ввести эти данные вручную.

Шаг 4.

• Оценка робастности полученного плана выполнения операций, входящих в информационный процесс, группировки подвижных объектов путем решения двойственной задачи линейного программирования.

Шаг 5.

• Итерационный поиск программного управления информационными процессами при взаимодействии группировки подвижных объектов с использованием динамической модели.

Шаг 5.1.

• Подсчитывается значение обобщенного показателя качества для момента времени $t = t_{ol}$.

Шаг 5.2.

• Рассчитываются условия трансверсальности, которые переносятся с «правого» конца фазовой траектории движения обобщенной динамической системы на «левый» конец.

Основные шаги обобщенной процедуры планирования информационных процессов при взаимодействии группировки подвижных объектов с использованием комбинированных моделей (продолжение)

Шаг 5.3

• Осуществляется выход на основную фазу итерационного поиска плана выполнения операций, входящих в информационный процесс. В каждый момент времени проводится максимизация функции Гамильтона, исходя из технических и технологических ограничений, и одновременно осуществляется поиск программного управления, как функции начальных условий и времени $\mathbf{u}^{(r)}(t)$ для $\forall t \in (t_{ol}, t_{fl}]$.

Шаг 5.4.

• В результате выполнения шагов 5.2-5.3 в момент времени $t = t_{fl}$ определяются значения функций: $\mathbf{x}^{(r)}(t_{fl})$, $\boldsymbol{\eta}^{(r)}(t_{fl})$.

Шаг 5.5.

• Затем осуществляется проверка условия $|J_{об}^{(r)}(t_{fl}) - J_{об}^{(r-1)}(t_{fl})| < \varepsilon$, где ε - заданная точность.

Шаг 5.6.

• Если итерационный процесс успешно завершился, то осуществляется переход на шаг 6.

Шаг 6.

• В случае, когда не удалось за конечное число итераций получить программу управления информационными процессами группировки подвижных объектов с применением динамической модели осуществляется формирование сообщения об отсутствии сходимости, а также из имеющихся детальных планов выбирается наиболее предпочтительный. Далее осуществляется формирование координирующих параметров и возврат в статическую или динамическую модель для корректировки исходных данных с участием лица, принимающего решение.

Шаг 7.

• Оценка робастности полученного программного управления информационного взаимодействия группировки подвижных объектов путем построения аппроксимированных областей достижимости по возмущениям в пространстве показателей качества планирования.

Разработка и исследование программного прототипа специального модельно-алгоритмического обеспечения планирования ИнП

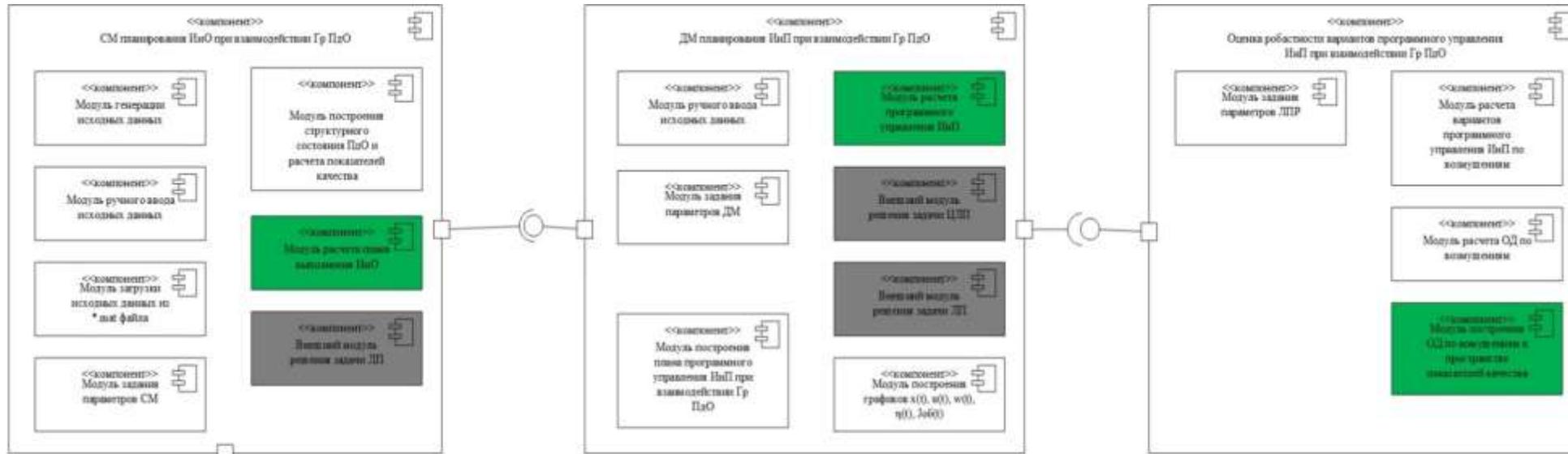


Диаграмма взаимосвязей модулей программного прототипа



Примеры интерфейса программного прототипа

The screenshot displays the MATLAB environment with several data tables and a dialog box:

Генератор исходных данных для СМ (Dialog Box):

- V_{max} : 0, V_{max} : 50
- ϕ_{max} : 0, ϕ_{max} : 30
- ψ_{max} : 0, ψ_{max} : 20
- x_{max} : 0, x_{max} : 100
- Единицы измерения: байт
- Матрица смежности:
 - Вариант 1
 - Вариант 2
 - Вариант 3
 - Вариант 4
 - Вариант 5
 - Ручной ввод

Таблица. Сохраненные данные (y) (Table 1):

	Подынтервал 1	Подынтервал 2	Подынтервал 3
ПцО 1	612.5000	587.5000	0
ПцО 2	7.0000	0	0
ПцО 3	32.0000	32.0000	7.0000
ПцО 4	0	0	0
ПцО 5	612.5000	612.5000	612.5000
ПцО 6	0	0	0
ПцО 7	0	0	0

Таблица. Сохраненная информация (y) (Table 2):

	Подынтервал 1	Подынтервал 2	Подынтервал 3
ПцО 1	612.5000	637.5000	0
ПцО 2	0	0	0
ПцО 3	38.0000	71.0000	0
ПцО 4	0	0	0
ПцО 5	612.5000	612.5000	612.5000
ПцО 6	7.0000	0	0
ПцО 7	128.0000	112.0000	32.0000

Таблица. Переданные данные (x_mat), Структурное состояние 2 (Table 3):

	ПцО 1	ПцО 2	ПцО 3	ПцО 4	ПцО 5	ПцО 6	ПцО 7
ПцО 1	0	32	32	0	0	0	0
ПцО 2	0	0	0	57	0	0	46
ПцО 3	0	0	0	32	0	0	0
ПцО 4	0	64	0	0	0	64	64
ПцО 5	0	0	0	0	64	0	64
ПцО 6	0	0	0	0	0	0	0
ПцО 7	0	0	0	0	0	0	0

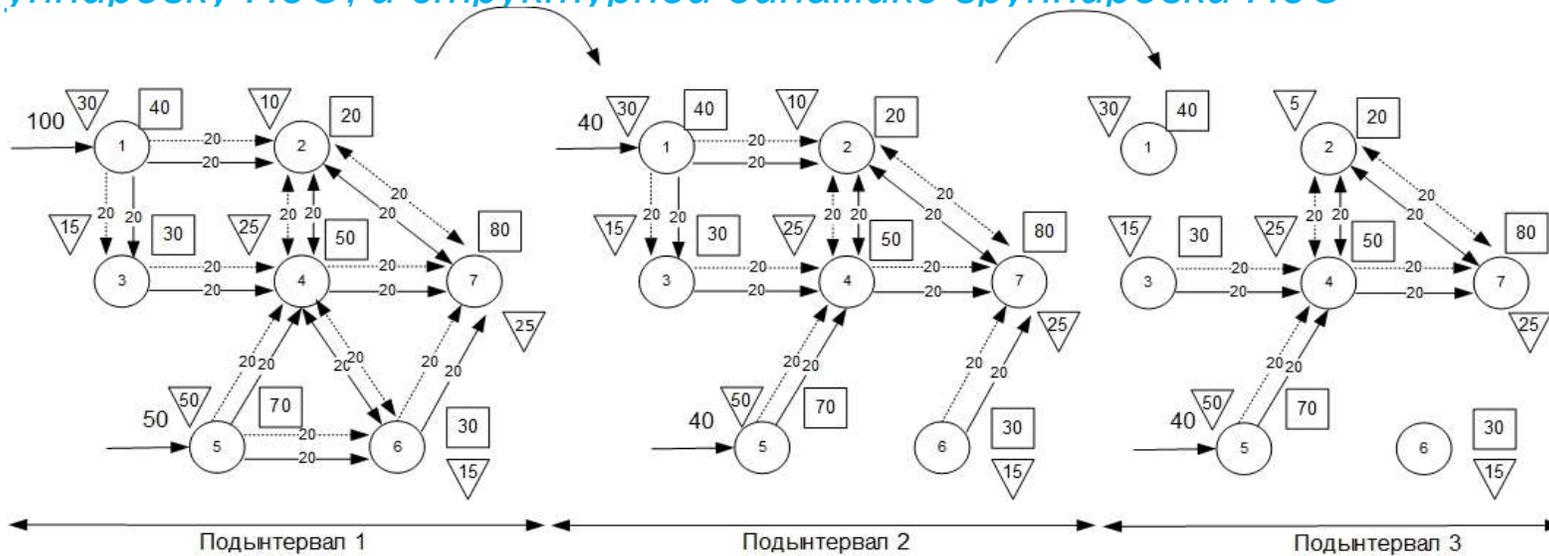
Таблица. Переданная информация (x_mat), Структурное состояние 2 (Table 4):

	ПцО 1	ПцО 2	ПцО 3	ПцО 4	ПцО 5	ПцО 6	ПцО 7
ПцО 1	0	0	32	32	0	0	0
ПцО 2	0	0	0	0	0	0	0
ПцО 3	0	0	0	0	32	0	0
ПцО 4	0	0	0	0	0	0	0
ПцО 5	0	0	0	0	0	0	0
ПцО 6	0	0	0	0	0	0	0
ПцО 7	0	0	0	0	0	0	0

The interface also includes a file explorer on the left, a command window at the bottom, and a graph titled "Структурное состояние 2" showing a network of nodes and edges.

Пример решения задачи оперативного оптимального планирования информационных при взаимодействии группировки маломассоразмерных космических аппаратов (ПдО)

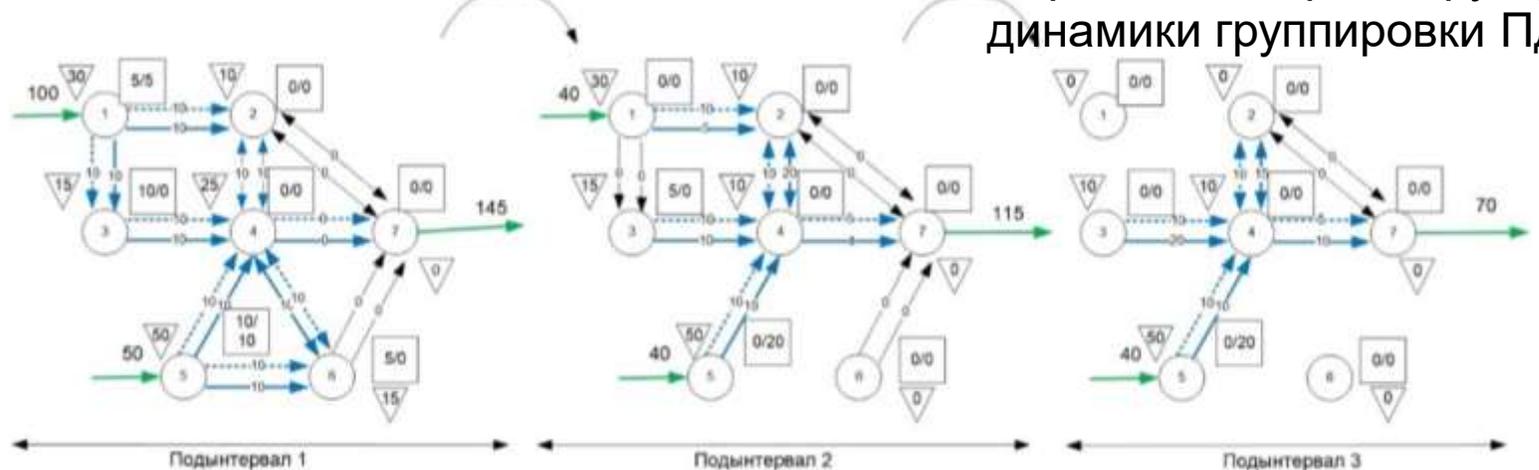
Пример задания исходных данных о параметрах аппаратно-программного комплекса ПдО ДЗЗ, входящих в группировку ПдО, и структурной динамике группировки ПдО



где вершина графа – номер ПдО, в треугольниках - величина максимальной интенсивности (скорости) обработки поступающих данных, Мб/с, внутри квадратов – максимальный объем запоминающего устройства (ЗУ), Мб
 Дуги – максимальная интенсивность (скорость) передачи данных по каналам связи Мб/с, (пунктирная дуга – информация, сплошная – данные).

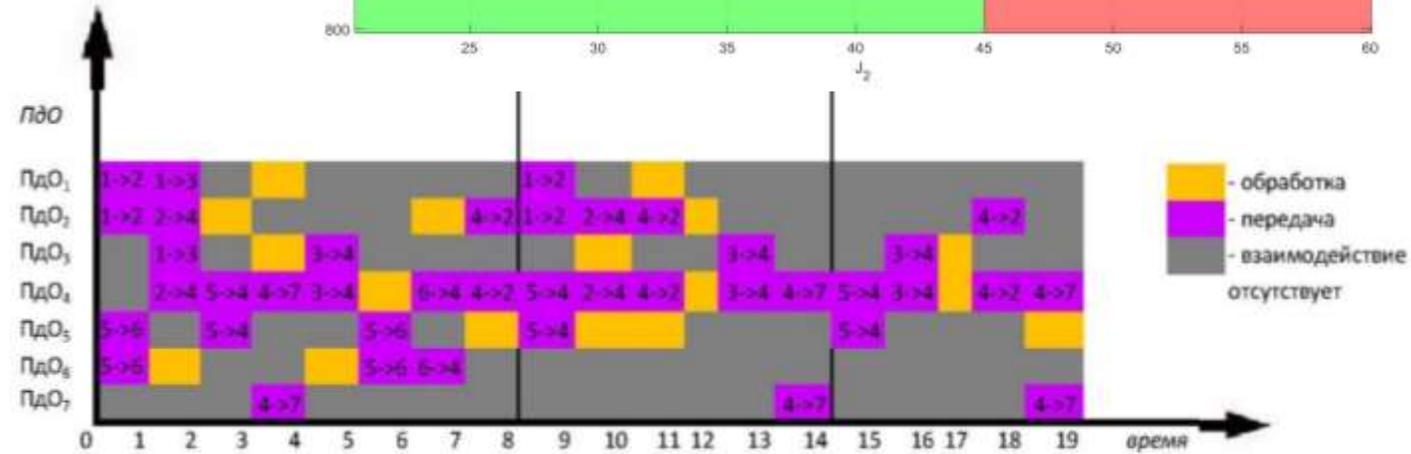
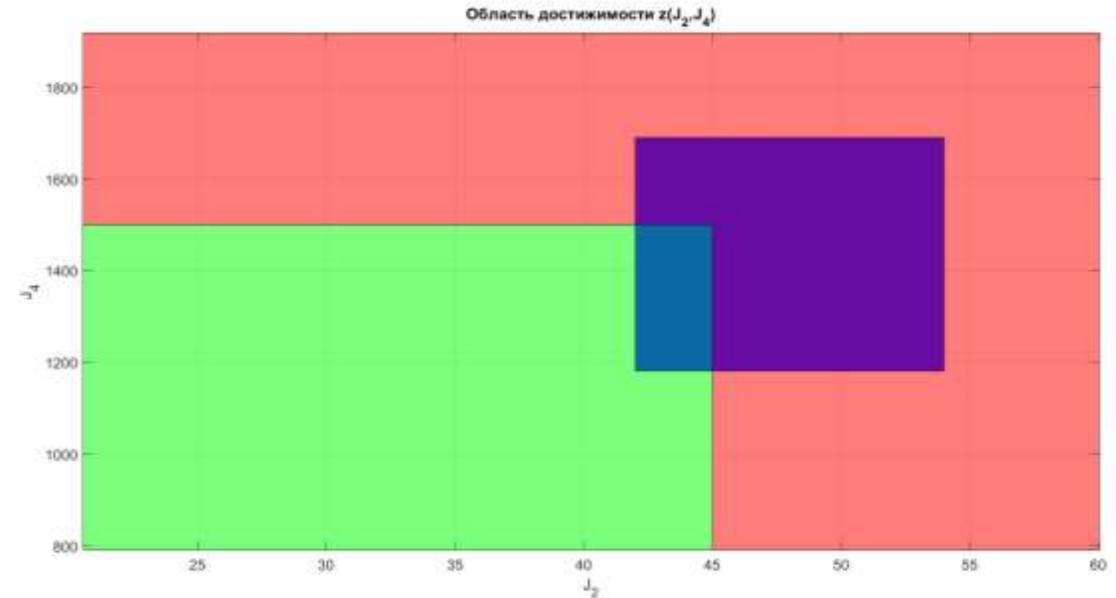
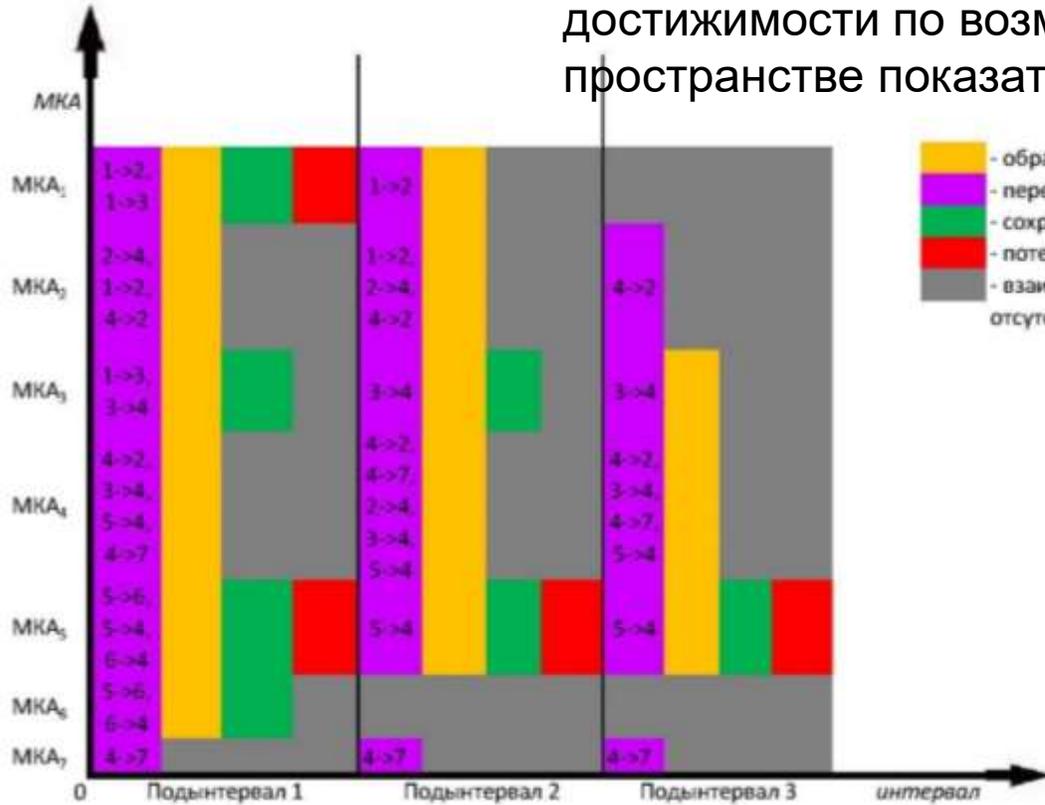
Рассчитанный оптимальный план выполнения информационного процесса, который должен быть выполнен при взаимодействии группировки ПдО Первый сценарий структурной динамики группировки ПдО

где дуги – текущая интенсивность (скорость) передачи данных (сплошная) / информации (пунктирная). В треугольниках – текущая интенсивность (скорость) обработки поступающих данных в ПдО, в квадратах – текущий объем сохраненных данных (числитель) и информации (знаменатель) в ЗУ ПдО.



Результаты решения задачи оперативного оптимального планирования информационных процессов при взаимодействии группировки маломассоразмерных космических аппаратов (ПдО)

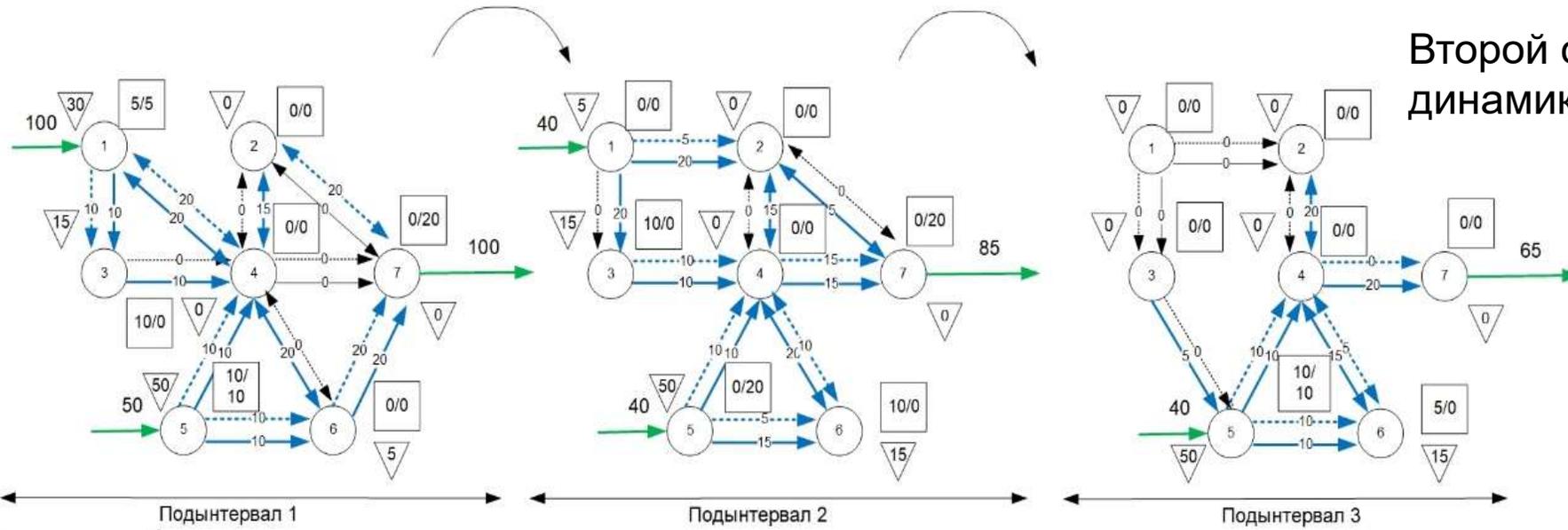
Аппроксимированная область достижимости по возмущениям в пространстве показателей качества



Визуализация плана, полученного с помощью статической модели

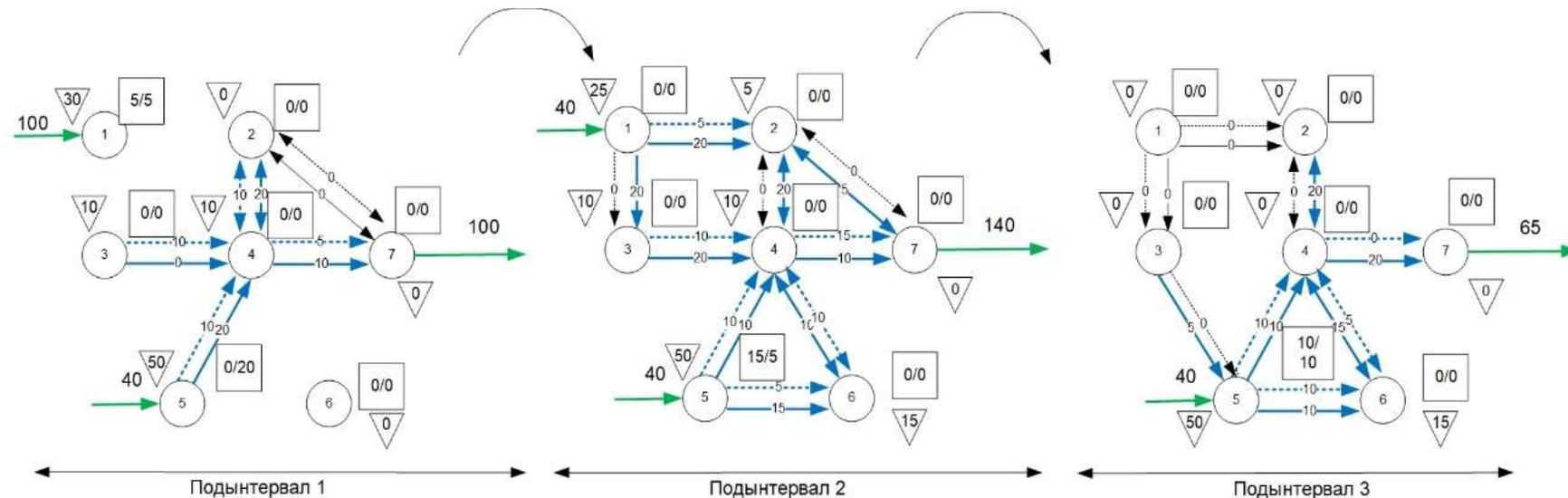
Визуализация плана, полученного с помощью динамической модели

Исследование влияния различных сценариев структурной динамики группировки ПдО на результаты выполнения целевой задачи

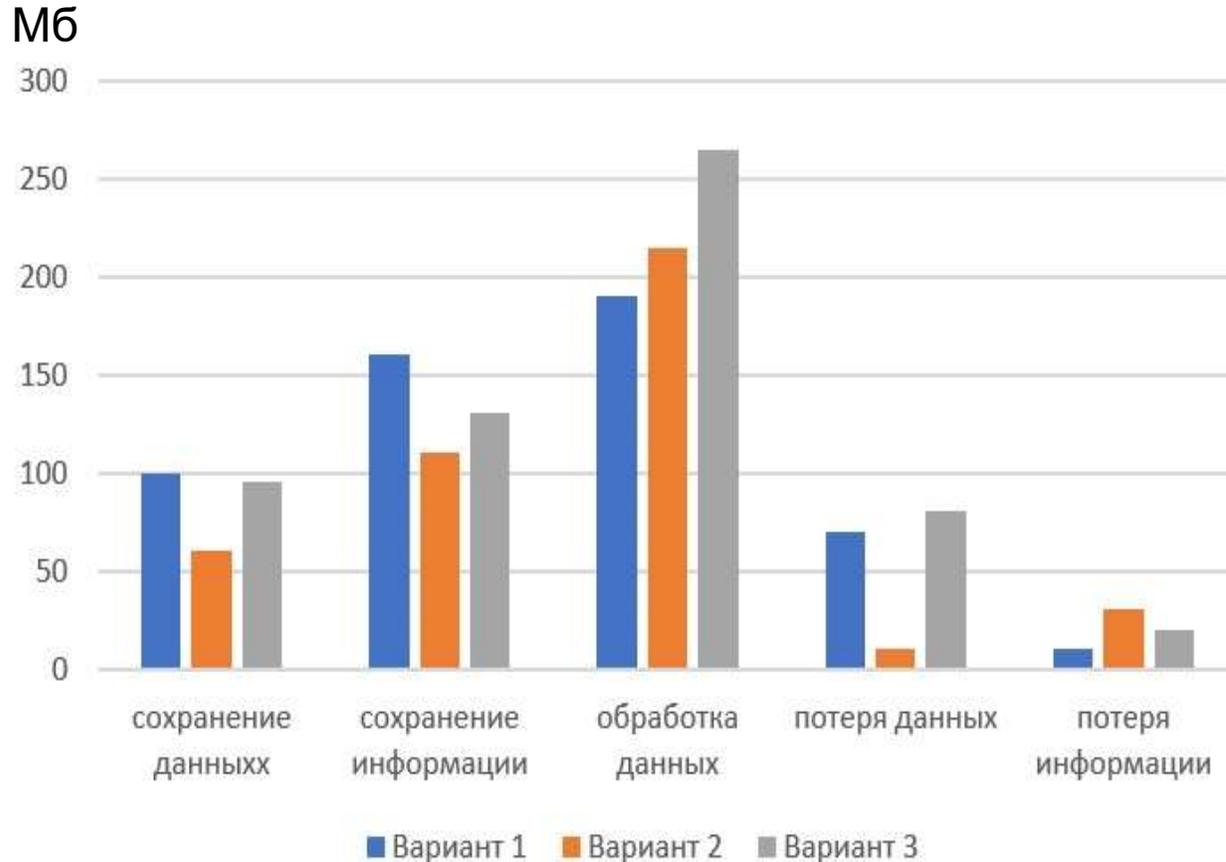


Третий сценарий структурной динамики группировки ПдО

Таким образом, отличие результатов моделирования для различных сценариев обусловлены потерей связности между ПдО в группировке, а также ограниченными возможностями аппаратно-программных комплексов ПдО, связанных с обработкой и хранением данных и информации.



Исследование влияния применения специализированных ПдО на объемы информации, получаемой конечными потребителями



Вариант 1 (ПдО, специализирующиеся на обработке данных) :

$\varphi_{jl} = 20 \text{ Mb} / \text{c}$, $\psi_{ijl} = 10 \text{ Mb} / \text{c}$,
для ПдО с номерами $j=1..7$

Вариант 2 (ПдО, специализирующиеся на передаче данных) :

$\varphi_{jl} = 10 \text{ Mb} / \text{c}$, $\psi_{ijl} = 20 \text{ Mb} / \text{c}$,
для ПдО с номерами $j=1..7$

Вариант 3 (смешанный случай) :

$\varphi_{jl} = 10 \text{ Mb} / \text{c}$, $\psi_{ijl} = 3 \text{ Mb} / \text{c}$,
для ПдО с номерами $j=1,5,7$

$\varphi_{jl} = 3 \text{ Mb} / \text{c}$, $\psi_{ijl} = 10 \text{ Mb} / \text{c}$,
для ПдО с номерами $j=2,3,4,6$

Таким образом, получение конечным потребителем максимального количества информации (обработанных данных) при минимальных потерях происходит, если использовать специализированные ПдО в смешанном составе (вариант 3). Следовательно, важно выбирать оптимальное соотношение многофункциональных и специализированных ПдО для выполнения целевой задачи.

Сравнение результатов, полученных с помощью эвристического планирования ИнП и оптимального оперативного планирования с использованием СМАО для группировки (Гр) ПдО и Гр ИТТС

В результате решения задачи оперативного оптимального планирования ИнП при взаимодействии Гр ИТТС и Гр ПдО получаемый с применением СМАО план лучше эвристического на **10-15 %** за счет оптимизации.

Сохраненные данные и информация могут быть обработаны и затем переданы конечному потребителю в дальнейшем в течение следующих суток.

Основные планируемые операции, входящие в состав ИнП	Гр ПдО		Гр ИТТС	
	Результаты, полученные с использованием эвристического метода планирования ИнП	Результаты, полученные с использованием программного прототипа СМАО	Результаты, полученные с использованием эвристического метода планирования ИнП	Результаты, полученные с использованием программного прототипа СМАО
Обработанные данные	215 Мб	245 Мб	6,2 Гб	6,7 Гб
Потерянные данные	50 Мб	40 Мб	7 Гб	6,2 Гб
Потерянная информация	30 Мб	30 Мб	0 Мб	0 Мб
Сохраненные данные	35 Мб	35 Мб	42,7 Гб	42,95 Гб
Сохраненная информация	50 Мб	30 Мб	63,95 Гб	64 Гб

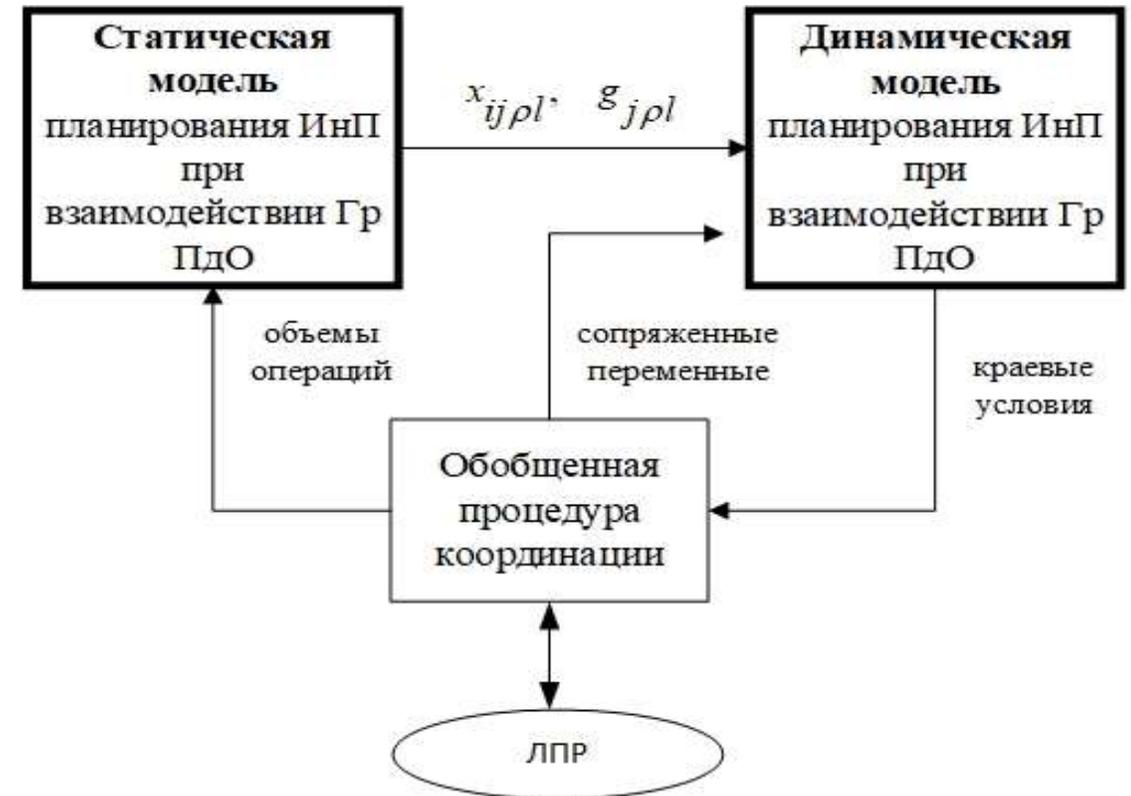
Отличия от известных результатов

Разработан программный прототип решения задач оперативного планирования ИнП при взаимодействии ПдО, позволяющий осуществить **одновременно синтез** как наилучшей технологии приема, передачи, хранения и обработки данных и информации при взаимодействии ПдО, так и **программ оптимального управления** ИнП в рамках рассматриваемого взаимодействия.

Научная новизна результатов исследования

В целом **научная новизна** результатов, состоит в разработке **полимодельного описания** и **комбинированных алгоритмов** решения задачи планирования ИнП при взаимодействии Гр ПдО, при использовании которых происходит, во-первых, **эффективная взаимная компенсация недостатков и ограничений** свойственных каждой из предложенных статической и динамической моделей и соответствующих алгоритмов поиска программ управления ИнП, по сравнению с вариантами, если их использовать независимо, и, во-вторых, **максимальное использование возможностей данных моделей и алгоритмов** при синтезе соответствующих планов.

Также осуществлена **практическая реализация концепции КМ** при решении задач оперативного оптимального планирования ИнП при взаимодействии Гр ПдО в различных ПрО, которая подтвердила положительный интегративный эффект от комбинированного использования разнотипных моделей.



Контактная информация

Соколов Борис Владимирович:

- ❖ **Phone: +7 812 328-01-03;**
- ❖ **Fax: +7 812 328-44-50;**
- ❖ **E-mail: sokol@ijas.spb.su;**
- ❖ **Web: <http://www.spcras.ru>**
 - ❖ **Web: <http://litsam.ru>**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ