

УДК 621.87:621.865.8

## МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОВМЕЩЕННОГО РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВУХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ, ПЕРЕМЕЩАЮЩИХ ОБЩИЙ ГРУЗ

М.С. Корытов

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия», г. Омск

E-mail: kms142@mail.ru

Описываются методика и алгоритм оптимизации технологических параметров совмещенного рабочего процесса двух грузоподъемных кранов, перемещающих общий груз в пространстве с препятствиями, по предложенным комплексным критериям оценки эффективности.

### Ключевые слова:

Методика, оптимизация, технологические параметры, совмещенный рабочий процесс, два грузоподъемных крана, общий груз.

### Key words:

Methodology, optimization, process parameters, combined workflow, two cranes, common cargo.

Поскольку совместная работа по перемещению общего груза двумя или несколькими грузоподъемными кранами (ГПК) является работой исключительной важности и сложности, выполняется сравнительно редко, например, при перемещении крупногабаритных грузов или груза большой массы, превышающей грузоподъемность отдельного крана, то при выполнении данного вида работ определяющими становятся критерии безопасности и координатной точности работы группы кранов.

Предложена методика оптимизации технологических параметров совмещенного рабочего процесса двух ГПК, перемещающих общий груз в пространстве с препятствиями, по комплексным критериям оценки эффективности. Ввиду сложности и противоречивости характера требований задачи, а также дискретного характера ряда используемых исходных данных, разработанная методика включает в себя полный сравнительный перебор допустимых вариантов при дискретно изменяемых значениях оптимизируемых параметров [1].

**Постановка задачи.** Положение базового шасси ГПК в пространстве характеризуется 6-ю обобщенными координатами (индексы с 1 по 6, из них координаты  $q_1$ ,  $q_3$  и  $q_6$  имеют широкий диапазон варьирования), рабочего оборудования ГПК – еще 4-мя (индексы с 7 по 10, угол поворота поворотной платформы  $q_7$ , угол подъема стрелы  $q_8$ , длина стрелы  $q_9$ , длина грузового каната  $q_{10}$ ). Значения линейных координат задаются в условных линейных единицах (УЛЕ), угловых – в радианах. Второй индекс после запятой соответствует номеру ГПК (№ 1 и № 2). Необходимо оптимизировать постоянные значения неуправляемых координат двух ГПК на примере стреловых автомобильных кранов  $[q_{1,1}; q_{3,1}; q_{6,1}]; [q_{1,2}; q_{3,2}; q_{6,2}]$  (места постановки в пределах рабочей области, рис. 1) и переменные значения управляемых координат  $[q_{7,1}; q_{8,1}; q_{9,1}; q_{10,1}]; [q_{7,2}; q_{8,2}; q_{9,2}; q_{10,2}]$  в виде траекторий в пространстве конфигураций ГПК, по принятым критериям эффективности.

**Описание алгоритма оптимизации технологических параметров совмещенного рабочего процесса.**

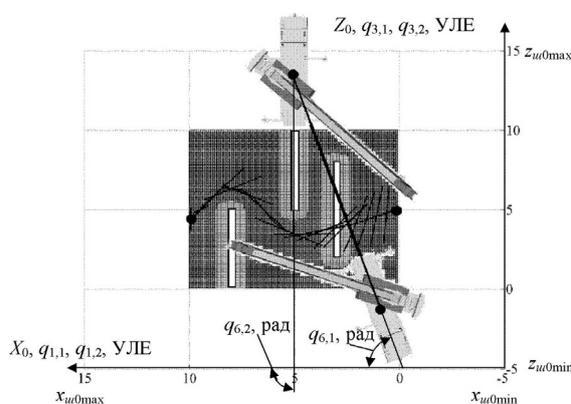


Рис. 1. Координаты базовых шасси двух ГПК, перемещающих общий груз по заданной траектории (вид в плане, показаны положения двух ГПК и последовательные положения оси груза в форме цилиндра, пример)

В качестве комплексных критериев оценки эффективности совмещенного рабочего процесса двух ГПК, перемещающих общий груз, предлагается использовать средний относительный критерий эффективности  $\bar{\chi}$  и максимальный относительный критерий эффективности  $\chi_{\max}$ :

$$\bar{\chi} = \frac{\sum_{ik=1}^2 \left( \lambda_1 \cdot (1 - \bar{\xi}_{ik}) + \lambda_2 \left( \frac{(\bar{q}_k)_{ik} - q_{k \min}}{q_{k \max}} \right) \right)}{2};$$

$$\chi_{\max} = \max \left[ \left( \lambda_1 (1 - (\xi_{\min})_1) + \lambda_2 \left( \frac{(q_{k \max})_1 - q_{k \min}}{q_{k \max}} \right) \right); \left( \lambda_1 (1 - (\xi_{\min})_2) + \lambda_2 \left( \frac{(q_{k \max})_2 - q_{k \min}}{q_{k \max}} \right) \right) \right],$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  – весовые коэффициенты значимости частных критериев  $\xi$  и  $q_k$  соответственно,  $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$ ;  $\bar{\xi}_{ik}$  – среднее значение критерия устойчивости для траектории точки подвеса груза, перемещаемой отдельным ГПК  $ik$ ;  $(\xi_{\min})_{ik}$  – минимальное значение критерия устойчивости для траектории точки подвеса груза, перемещаемой отдельным ГПК  $ik$ ;

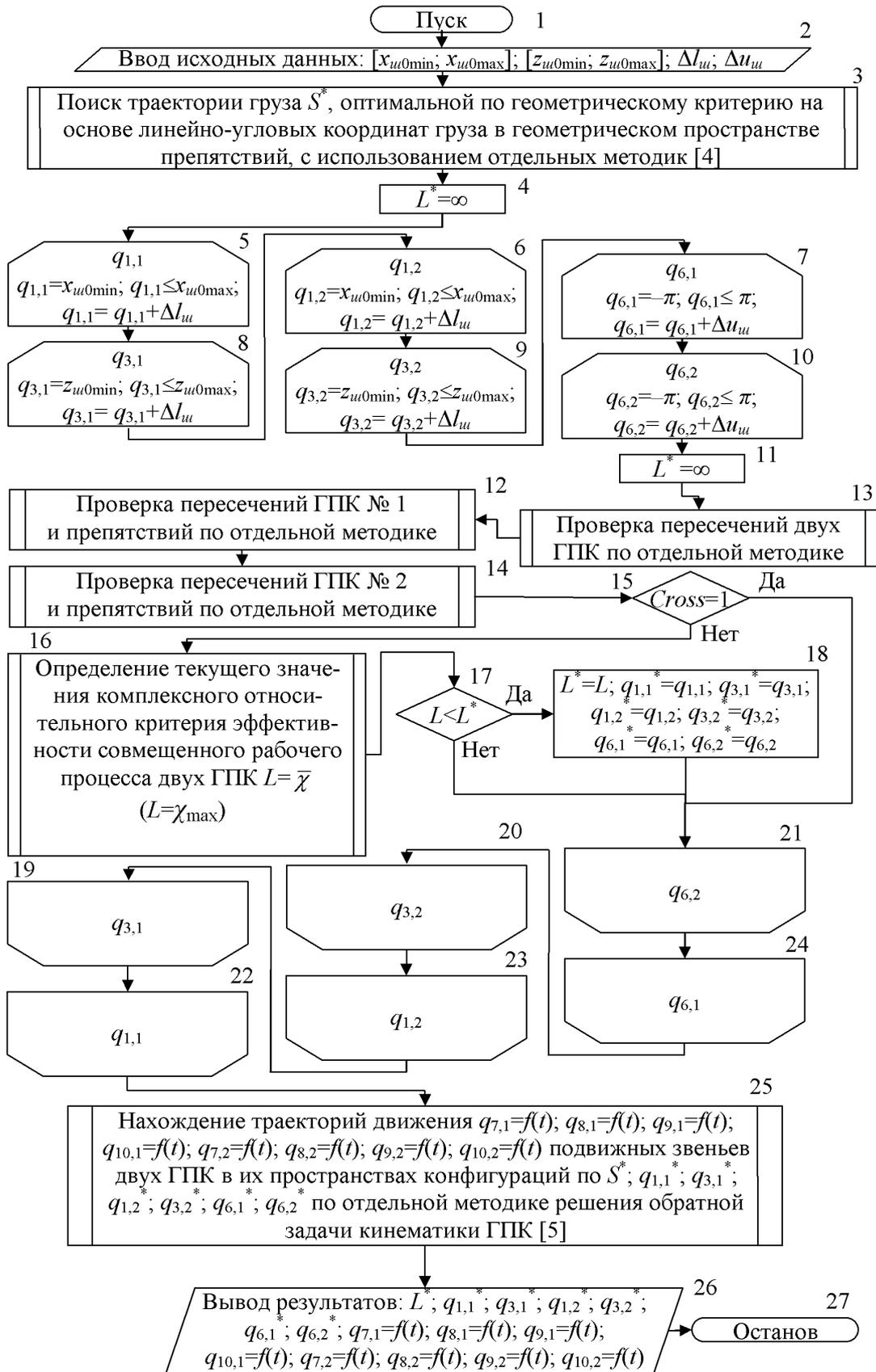


Рис. 2. Блок-схема алгоритма оптимизации технологических параметров совмещенного рабочего процесса двух грузоподъемных кранов, перемещающих общий груз

$(\bar{q}_k)_{ik}$  – среднее значение длины грузового каната для траектории точки подвеса груза, перемещаемой отдельным ГПК  $ik$ ;  $(q_{kmax})_{ik}$  – максимальное значение минимально возможной длины грузового каната для траектории точки подвеса груза, перемещаемой отдельным ГПК  $ik$  ( $ik \in [1;2]$ ).

Критерий оценки устойчивости ГПК с прямоугольным опорным контуром вычисляется на основе нормальных реакций в опорных элементах [2, 3]:

$$\xi = \min \left\{ k_1; k_2; \frac{1}{k_1}; \frac{1}{k_2} \right\},$$

где  $k_1, k_2, 1/k_1, 1/k_2$  – показатели устойчивости для 4-х осей опрокидывания, входящих в опорный контур, вычисляемые на основе нормальных реакций в опорных элементах:

$$k_1 = \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4}; k_2 = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_4},$$

где  $R_1, R_2, R_3, R_4$  – нормальные реакции на опорных элементах ГПК.

Текущее значение критерия устойчивости  $\xi$ , вычисленное на основе нормальных реакций, сравнивается с предельным критическим значением критерия  $\xi_{крит}$  [2, 3].

Величина  $q_k$ , также как и величина критерия устойчивости  $\xi$ , может быть определена как в статике, так и динамике, в каждый момент временного отрезка реализации траектории перемещения груза отдельным ГПК. Причем, оптимальными являются большие значения критерия устойчивости  $\xi$ , что соответствует большей устойчивости отдельного ГПК, и меньшие значения длины грузового каната  $q_k$ , что соответствует лучшей управляемости и создает предпосылки для повышения координатной точности положения груза со стороны отдельного ГПК.

Значения безразмерных критериев  $\bar{\chi}$  и  $\chi_{max}$  находятся в диапазоне  $[0;1]$ . При этом меньшим значениям соответствуют более эффективные сочетания варьируемых технологических параметров.

При этом, если для траектории перемещения груза отдельным ГПК, в какой-либо точке данной траектории значение частного критерия устойчивости снижается менее величины предельного критического значения критерия устойчивости  $\xi_{крит}$ :

$$\xi(t) \leq \xi_{крит},$$

то значения комплексных относительных критериев оценки эффективности  $\bar{\chi}$  и  $\chi_{max}$  принимаются равными верхнему предельному, наименее оптимальному значению, т. е. 1.

Решение задачи при различных значениях исходных данных обобщенных координат базовых шасси двух ГПК  $[q_{1,1}; q_{3,1}; q_{6,1}]; [q_{1,2}; q_{3,2}; q_{6,2}]$  с последующим сравнением значений оптимизируемой целевой функции ( $\bar{\chi}$ , либо  $\chi_{max}$ ) для каждого варианта, позволяет оптимизировать значения перечисленных неуправляемых, и управляемых  $[q_{7,1}; q_{8,1}; q_{9,1}; q_{10,1}]; [q_{7,2}; q_{8,2}; q_{9,2}; q_{10,2}]$  технологических параметров совмещенного рабочего процесса двух ГПК по принятым критериям эффективности.

Исходными данными задачи выступают размеры рассматриваемой рабочей области  $[x_{u0min}; x_{u0max}] \times [z_{u0min}; z_{u0max}]$  (см. рис. 1), в пределах которой могут быть установлены ГПК, шаги дискретизации линейных  $\Delta l_u$  и угловых  $\Delta u_u$  координат, конфигурация препятствий в рабочей области, а также конструктивные и технологические параметры ГПК.

Необходимо расположить базовые шасси двух ГПК оптимальным образом относительно начального и конечного положений перемещаемого груза с учетом ограничений, создаваемых препятствиями и запретными для расположения ГПК зонами, в т. ч. условием взаимного непересечения объемных тел ГПК (см. рис. 1).

Проведенные исследования показали, что на графиках целевых функций могут присутствовать области локальных минимумов, поэтому необходимо использовать метод полного перебора варьируемых параметров с определенным шагом дискретности.

На рис. 2 приведена упрощенная блок-схема алгоритма оптимизации технологических параметров совмещенного рабочего процесса двух ГПК, перемещающих общий груз.

Результатом работы алгоритма является значение глобального минимума целевой функции  $L^*$  на рассматриваемой области положений базовых шасси двух ГПК  $[x_{u0min}; x_{u0max}]; [z_{u0min}; z_{u0max}]$ , а также соответствующие глобальному минимуму  $L^*$  значения варьируемых технологических параметров положения базовых шасси двух ГПК  $q_{1,1}^*; q_{3,1}^*; q_{1,2}^*; q_{3,2}^*; q_{6,1}^*; q_{6,2}^*$  и рабочего оборудования обоих ГПК во всех точках траектории груза  $S: q_{7,1}=f(t); q_{8,1}=f(t); q_{9,1}=f(t); q_{10,1}=f(t); q_{7,2}=f(t); q_{8,2}=f(t); q_{9,2}=f(t); q_{10,2}=f(t)$ .

Представление результатов вычислительных экспериментов в виде линий уровня, соединяющих начала систем координат двух базовых шасси при определенном сочетании значений  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , приведено на рис. 3. Отрезки на рис. 3 получены при равномерном дискретном варьировании положения начала координат базового шасси ГПК № 1 (одна точка отрезка) с поиском оптимального положения начала координат базового шасси ГПК № 2 (вторая точка отрезка). Подмножество наилучших решений (оптимальных при каждом сочетании  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ) при использовании комплексного критерия эффективности  $\chi_{max}$  приведено на рис. 4. Позициями обозначены сочетания значений весовых коэффициентов  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ : 1 –  $[\lambda_1=0,1; \lambda_2=0,9]$ ; 2 –  $[\lambda_1=0,2; \lambda_2=0,8]$ ; 3 –  $[\lambda_1=0,3; \lambda_2=0,7]$ ; 4 –  $[\lambda_1=0,4; \lambda_2=0,6]$ ; 5 –  $[\lambda_1=0,5; \lambda_2=0,5]$ ; 6 –  $[\lambda_1=0,6; \lambda_2=0,4]$ ; 7 –  $[\lambda_1=0,7; \lambda_2=0,3]$ ; 8 –  $\lambda_1=0,8; \lambda_2=0,2$ ; 9 –  $[\lambda_1=0,9; \lambda_2=0,1]$ .

## Выводы

Предложен алгоритм оптимизации технологических параметров совмещенного рабочего процесса двух грузоподъемных кранов, перемещающих общий груз, реализованный в средах Microsoft Visual C++ и MATLAB, подтверждена его работоспособность и эффективность.

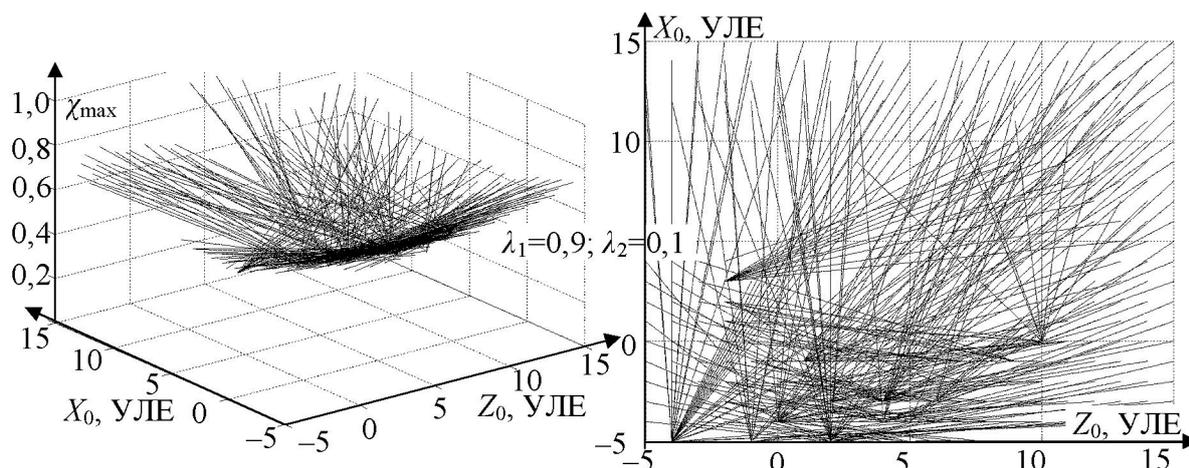


Рис. 3. Представление результатов вычислительных экспериментов в виде линий уровня, соединяющих начала систем координат двух базовых шасси при определенном сочетании значений  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  (пример)

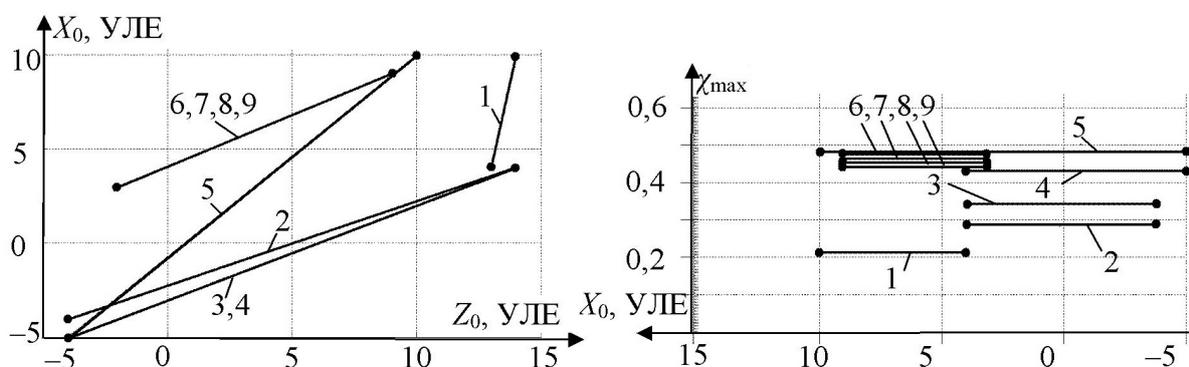


Рис. 4. Подмножество неуправляемых решений задачи при использовании комплексного критерия эффективности  $\chi_{\max}$  (пример)

Разработана методика оптимизации значений управляемых координат шасси кранов в процессе перемещения груза, а также расположения базовых шасси кранов в пределах рассматриваемой области

с учетом заданных ограничений, произвольно расположенных препятствий и выполнения условия непересечения объемных тел базовых шасси двух кранов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов / М.П. Александров, М.М. Гохберг, А.А. Ковин и др.; Под общ. ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
2. Корятов М.С., Зырянова С.А. Использование нормальных реакций в опорных элементах автокрана для оценки его устойчивости // Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук: Межвуз. сб. трудов студентов, аспирантов и молодых ученых. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. – Вып. 2, Ч. 1. – С. 22–25.
3. Корятов М.С., Зырянова С.А. Критерий статической и динамической устойчивости грузоподъемного крана // Дорожно-

транспортный комплекс как основа рационального природопользования: Матер. Междунар. научно-техн. конф. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. – Кн. 1. – С. 27–29.

4. Корятов М.С., Щербаков В.С. Результаты сравнительного анализа алгоритмов планирования траектории движения объекта с учетом его угловых координат в трехмерном пространстве с препятствиями // Вестник СибАДИ. – 2011. – Вып. 1 (19). – С. 68–74.
5. Корятов М.С., Щербаков В.С., Котыкин С.В. Методика решения обратной кинематической задачи грузоподъемного крана // Вестник СибАДИ. – 2011. – Вып. 2 (20). – С. 71–76.

Поступила 23.08.2011 г.