

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

В. И. САЛИХОВ, С. А. ВРАЖЕВСКИЙ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: vrazhevskij.s@gmail.com*

Рассматривается проблема оптимального управления процессом технического оснащения предприятий сельскохозяйственного комплекса. Исследованы экономические и вещественно-натуральные критерии оптимальности для предприятий агропромышленного комплекса. Система технического оснащения предприятий рассматривается как многоуровневая система, выделены вертикальные и горизонтальные связи. Перечислены способы многокритериальной оптимизации для агротехнических производственных систем, учитывающие характер связей между оптимизируемыми подсистемами. Представлен метод градиентного спуска для организации вертикальных связей. Методы скаляризации задачи многокритериального выбора, подробно исследованные в теории принятия решений, положены в основу способов организации горизонтальных связей. Указаны способы учета внешних воздействий при решении задачи оптимизации технического оснащения.

**Ключевые слова:** *многокритериальная оптимизация, метод градиентного спуска, метод линейной свертки, агропромышленный комплекс, техническое оснащение предприятий, многоуровневые системы, оптимизация производства.*

**Введение.** На эффективность работы предприятий агропромышленного комплекса (АПК) влияют количественный и качественный состав парка технических средств, эксплуатационные параметры оборудования, показатели надежности и эффективности используемых машин и агрегатов. Управление процессом технического оснащения сельскохозяйственного производства качественно зависит от природно-климатических условий, изменчивость которых рассматривается как внешнее детерминированное возмущение. Весь набор средств технического оснащения предприятий АПК представляет организованную комплексную систему, ориентированную на выполнение трудоемких механизированных работ с учетом агротехнических требований к производству сельскохозяйственной продукции. Следовательно, технические средства, их состав и структура должны обеспечивать выполнение запланированного объема работ в условиях изменчивости климатических условий.

В большинстве работ, посвященных задаче оптимизации процесса технического оснащения предприятий АПК [1—5], оценка количественного состава технических средств и их приспособленности к условиям функционирования производилась по стоимостным или вещественно-натуральным критериям. Стоимостные критерии, при их простоте и универсальности, не позволяют оценить качество функционирования системы в случае недостаточности входных возмущений [1, 2]. В качестве вещественно-натуральных критериев чаще всего использовались объем производимой продукции, суммарная наработка технического парка, сроки выполнения полевых работ, энергетические и трудовые затраты и т.п. [3—5]. Как правило, адаптация технических средств к условиям работы предприятий проводилась по нескольким критериям, остальные использовались в качестве дополнительных ограничивающих условий. В настоящей статье представлен обзор методов оптимизации для систем управления процессом технического оснащения предприятий агропромышленного комплекса,

классические для отраслевых задач оптимизации методы Данцига — Вульфа и Корнаи — Липтока не рассматриваются.

**Техническое оснащение предприятий как многоуровневая система.** Техническое оснащение сельскохозяйственного производства может рассматриваться как многоуровневая система. Каждый уровень системы формируется объединением однотипных подсистем нижнего уровня. Многоуровневый принцип построения системы технического оснащения обуславливает разработку принципиально новых процедур процесса оптимизации сельскохозяйственного производства. В системе технического оснащения, прежде всего, необходимо выделить вертикальные и горизонтальные связи, которые определяют взаимосвязь между элементами подсистем и передают управляющие воздействия от уровня к уровню [6]. Согласно технологическому принципу разделения системы технического оснащения предприятия АПК на составляющие можно выделить следующие функциональные подсистемы:

- техническое оснащение земледелия;
- техническое оснащение животноводства;
- техническое оснащение сферы послеуборочной обработки продукции сельскохозяйственного производства;
- техническое оснащение сферы восстановления и поддержания эксплуатационной надежности сельскохозяйственной техники;
- техническое оснащение сферы агрохимического обслуживания сельскохозяйственных предприятий.

Система технического оснащения предприятий представлена двумя уровнями управления, так что верхний координирующий уровень управляет работой составляющих подсистем. Каждая из подсистем, в свою очередь, может рассматриваться как многоуровневая иерархическая подсистема. Например, система технического оснащения земледелия с учетом технологического принципа разделения может быть представлена как четырехуровневая система. Верхний координирующий уровень характеризует техническое оснащение природно-экономических зон, следующий за ним уровень — техническое оснащение технологий возделывания сельскохозяйственных культур, затем — процессы предпосевной и послеуборочной обработки зерна и сельскохозяйственной продукции, и последний уровень — техническое оснащение сельскохозяйственных машин и агрегатов, отвечающее требованиям технологий возделывания сельскохозяйственных культур в природно-экономической зоне.

Территориальный принцип разделения системы технического оснащения как многоуровневой иерархической системы основывается на территориально-административном делении страны.

Характеризуя техническую оснащенность сельскохозяйственного производства как большую многомерную систему, выделяют следующие основные черты:

- целостность и сложность;
- механизация и автоматизация процессов;
- непрерывное развитие;
- взаимозаменяемость компонентов системы, способов производства;
- воздействие на систему случайных факторов.

**Вертикальная взаимосвязь подсистем методом градиентного спуска.** Наиболее полно вертикальные взаимосвязи реализует метод, в основе которого лежит принцип многоступенчатой оптимизации [7], позволяющий на каждом шаге координировать соответствие подсистем нижнего уровня требованиям верхнего уровня. В этом случае целесообразно использовать метод градиентного спуска [8], который обеспечивает достижение максимума или минимума целевого функционала по кратчайшей траектории.

Пусть объект управления — система технического оснащения некоторого сельскохозяйственного производства — характеризуется выражением

$$\dot{x} = f(x, u, t), \quad (1)$$

где  $x \in R^n$  — вектор состояния, отражающий значения ограниченного числа целевых функций подсистем объекта управления;  $u \in R^m$  — вектор управляющих воздействий,  $t \in R^+$  — время,  $f$  — непрерывно-дифференцируемая на всем множестве определения функция.

Ограничения на вектор состояния  $x$  и вектор управления  $u$  заданы выражениями

$$x \in X_t \subset R^n, \quad u \in U_t \subset R^m, \quad (2)$$

а ограничения на краевые условия — выражениями

$$x(t_0) = x_0 \in X_0 \subset R^n, \quad x(t_f) \in X_f \subset R^n, \quad (3)$$

где  $t_0$  — фиксированный начальный момент времени,  $t_f$  — фиксированный конечный момент времени, вектор состояния  $x_0$  известен.

Пусть задан некоторый функционал качества

$$J = J(x, \dot{x}) \rightarrow \text{extr}. \quad (4)$$

Для объекта управления (1) с ограничениями (2) и краевыми условиями (3) необходимо найти такое оптимальное управление  $u^*(t)$  и такую оптимальную траекторию  $x^*(t)$ , которые доставляют экстремум функционалу (4). Пусть, для определенности, требуется обеспечить минимум функционала (4), т.е.  $J = J(x, \dot{x}) \rightarrow \min$ . Алгоритм градиентного спуска реализуется следующим образом.

1. Определяются начальные условия поиска. Из допущения (3) следует, что вектор начальных условий известен и равен  $x_0$ .

2. Вычисляется градиент функционала (4) при  $x = x_0$ :

$$\begin{aligned} \nabla J(x_0, \dot{x}_0) &= \nabla J(x_{1_0}, x_{2_0}, \dots, x_{n_0}, \dot{x}_{1_0}, \dot{x}_{2_0}, \dots, \dot{x}_{n_0}) = \\ &= \left( \frac{\partial J(x_0, \dot{x}_0)}{\partial x_{1_0}}, \frac{\partial J(x_0, \dot{x}_0)}{\partial x_{2_0}}, \dots, \frac{\partial J(x_0, \dot{x}_0)}{\partial x_{n_0}}, \frac{\partial J(x_0, \dot{x}_0)}{\partial \dot{x}_{1_0}}, \frac{\partial J(x_0, \dot{x}_0)}{\partial \dot{x}_{2_0}}, \dots, \frac{\partial J(x_0, \dot{x}_0)}{\partial \dot{x}_{n_0}} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

3. Вводится вспомогательная функция  $F(\lambda) \equiv J(x_0 - \lambda \nabla J(x_0, \dot{x}_0))$  и выбирается  $\lambda$  из условия

$$\lambda = \arg \min F(\lambda) = \arg \min J(x_0 - \lambda \nabla J(x_0, \dot{x}_0)). \quad (6)$$

Иными словами, значение  $\lambda$  таково, что вспомогательная функция  $F(\lambda)$  принимает минимальное значение при  $x = x_0$ .

4. Формируется новый вектор

$$x_1 = x_0 - \lambda \nabla J(x_0, \dot{x}_0), \quad (7)$$

такой что функционал  $J(x_1)$  оказывается ближе к своему минимальному значению, чем функционал  $J(x_0)$ , так как вектор  $x_1$  найден при движении в направлении наискорейшего убывания (антиградиента) функционала  $J$ .

5. Пп. 2—4 алгоритма повторяются конечное число раз, при этом каждый раз определяется градиент функционала (4) в точке, полученной на предыдущем шаге. Чтобы понять, когда значение функционала достигнет минимума, формируется условие остановки:

$$\nabla J(x_0, \dot{x}_0) < \varepsilon, \quad (8)$$

где  $\varepsilon$  — достаточно малая величина, определяющая допустимую погрешность расчетов.

В результате определяется оптимальная — кратчайшая — траектория перехода системы (1) из начального состояния в конечное, полученное методом градиентного спуска и отвечающее требованию целевого функционала (4). Компоненты вектора состояния объекта

управления (1) на каждом шаге определяют числовые значения целевых функций его подсистем. В результате происходит вертикальная „увязка“ подсистем, подсистемы нижнего уровня приводятся в соответствие с требованиями системы высшего уровня.

**Методы горизонтальной взаимосвязи подсистем.** Существует несколько методов горизонтальной взаимосвязи подсистем, которые различаются правилами связи функций, описывающих каждую из подсистем.

Реализация горизонтальных связей в системе технического оснащения может производиться на основе методов динамического программирования, когда каждая подсистема одного уровня выступает равноправным участником в процессе согласования плана или принятия самостоятельного решения [9]. При этом нахождение оптимума в такой локальной подсистеме может производиться без привлечения верхнего координирующего уровня. Допускается возможность представления целевых функций подсистем в виде рекурсивной последовательности.

Рассмотрим функцию — композицию целевых функций:

$$f^n(x) = \sum_{i=1}^n f_i(x_i) \rightarrow \min_{x_i \in X_i} f_i(x). \quad (9)$$

Рассмотрим „подмножество“

$$f^m(x) = \sum_{i=1}^m f_i(x_i) \rightarrow \min_{x_i \in X_i} f_i(x). \quad (10)$$

Рассмотрим функцию

$$f^{m+1}(x) = \sum_{i=1}^{m+1} f_i(x_i). \quad (11)$$

Составим функцию Беллмана:

$$\begin{aligned} B_m &= \min_{x_m \in X_m} \sum_{i=1}^m f_i(x_i), \\ B_{m+1} &= \min_{x_{m+1} \in X_{m+1}} \sum_{i=1}^{m+1} f_i(x_i) \Rightarrow B_{m+1} = \min_{x_{m+1} \in X_{m+1}} \left( f_{m+1}(x_{m+1}) + \sum_{i=1}^m f_i(x_i) \right) = \\ &= \min_{x_{m+1} \in X_{m+1}} f_{m+1}(x_{m+1}) + \min_{x_m \in X_m} \sum_{i=1}^m f_i(x_i) \Rightarrow B_{m+1} = \\ &= \min_{x_{m+1} \in X_{m+1}} f_{m+1}(x_{m+1}) + B_m. \end{aligned} \quad (12)$$

Выражение (12) означает, что оптимальное управление на  $m+1$ -м шаге зависит от минимума целевой функции на этом шаге и от условий предыдущих шагов. Принцип оптимального управления в задачах динамического программирования состоит в поиске оптимального управления на  $i$ -м шаге с учетом конечного состояния системы на  $i-1$ -м шаге при выбранном оптимальном управлении.

Второй подход заключается во включение в модель оптимизации одного из выбранных критериев, например приведенных затрат, в виде ограничения для другого критерия оптимальности, например количества обслуживающего персонала или энергомашин определенного вида. В таком случае оптимизированный процесс протекает в рамках предыдущего процесса, т.е. оптимизация проходит в условиях ограничений. Такой подход аналогичен методу главного критерия из теории принятия решений для задачи оптимизации многокритериальных функций [9]. Выберем одну из целевых функций, в наибольшей степени отвечающую общей цели оптимизации. Пусть для определенности это будет функция  $f_1$ , тогда получим критерий

$$f_1(x) \rightarrow \min_{x \in D}; D = \{x \in X_t / f_i(x) \leq \xi_i, i = 2, \dots, n\},$$

где  $D$  — новая допустимая область поиска максимума функции  $f_1(x)$ , такая что все целевые функции  $f_i(x)$ ,  $i=2, \dots, n$ , если не достигают своего экстремума в данной области, то хотя бы ограничены сверху параметром  $\xi$ .

Сформулированный таким образом критерий оптимизации не эквивалентен задаче (9), и правомерность такого перехода требует обоснования.

Третий подход заключается в разработке плана технического оснащения сельскохозяйственного производства с учетом выявления количественной доли влияния каждого из выбранных критериев оптимальности на состав и структуру технических средств. Это известный метод „скаляризации“ задачи (9) многокритериального выбора, он основывается на линейном объединении всех частных функционалов в один:

$$J(x) = \sum_{i=1}^k \alpha_i f_i(x) \rightarrow \text{extr}_{x \in X}; \alpha_i > 0, \sum_{i=1}^k \alpha_i = 1,$$

где  $\alpha_i$  — весовые коэффициенты, которые определяют относительную значимость функционалов  $f_i(x)$ .

Алгоритм (5)—(7) поиска оптимальной траектории объекта (1) определяет векторы коэффициентов  $\alpha_i$  для каждого частного критерия.

Еще один метод — метод максиминной свертки — заключается в оптимизации процесса технического оснащения по одному из нескольких критериев, при этом другие показатели оптимальности рассчитываются в рамках выбранного критерия. Критерий оптимальности может быть определен как

$$J(x) = \max_i f_i(x) \rightarrow \min_{x \in X_t}.$$

Суть метода заключается в том, что выбирается только тот из критериев, которому в данной точке соответствует наибольшее значение соответствующей функции. Преимущество метода — определение по значению  $J(x)$  гарантированной нижней оценки для всех целевых функций. Для сравнения, в случае использования метода линейной свертки возможны „плохие“ значения некоторых функций  $f_i$  за счет достаточно „хороших“ значений остальных целевых функционалов.

**Критерии оптимизации параметров системы технического оснащения.** Оптимизация процесса технического оснащения предприятий сельскохозяйственной отрасли как многоуровневой системы требует обоснования критерия оптимальности для верхнего координирующего уровня. Функционирование всех остальных подсистем должно происходить в рамках обеспечения оптимального режима функционирования верхнего уровня. Процесс оптимизации параметров системы технического оснащения и доведение управляющих воздействий верхнего уровня до управляемых подсистем влияет на формирование оценок качества функционирования этих подсистем. При разработке долгосрочного плана-прогноза технической оснащенности отрасли наиболее приемлемыми являются натурально-вещественные критерии оптимальности из-за необъективности прогнозируемых стоимостных показателей на длительную перспективу.

Предположим, что известны демографические прогнозы по стране, известны нормы питания и определена потребность промышленности в сырье. Тогда с учетом перспективных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и роста производительности труда в отрасли можно с некоторыми допущениями рассчитать потребность сельскохозяйственного производства в технических средствах, необходимых для выполнения механизированных работ по производству сельскохозяйственной продукции. В качестве стоимостного критерия

оптимальности можно выбрать критерий, минимизирующий приведенные затраты на единицу механизированных работ:

$$П = C + E + G,$$

где  $П$  — приведенные затраты,  $C$  — затраты на выполнение механизированных работ,  $G$  — удельные капитальные затраты на выполнение механизированных работ,  $E$  — нормированный коэффициент экономической эффективности.

При решении задачи планирования технической оснащенности сельскохозяйственного производства, например растениеводства, критерий оптимальности определяется как

$$\min Q(x) = \sum_{ik} C_{ik}^l X_{ik}^l t_k + \sum_j C_j (d_{3j} + E), \quad i \in I, j \in J_i, k \in K, l \in L_{ij}, \quad (13)$$

где  $C_{ik}^l$  — эксплуатационные затраты  $l$ -го агрегата в ходе работ  $i$ -го вида в  $k$ -й период;  $X_{ik}^l$  — число агрегатов  $l$  в ходе работ  $i$ -го вида в  $k$ -й период;  $t_k$  — продолжительность  $k$ -го периода;  $C_j$  — сбалансированная стоимость  $j$ -й сельскохозяйственной машины;  $d_{3j}$  — норматив отчислений на реновацию  $j$ -й машины;  $K$  — множество расчетных периодов;  $I$  — множество работ  $k$ -го периода;  $J_i$  — множество машин, занятых в ходе работ  $i$ -го вида;  $L_{ij}$  — множество агрегатов, объединенных в  $j$ -ю машину для выполнения работ  $i$ -го вида.

В качестве целевой функции может выступать критерий, минимизирующий количество обслуживающего персонала:

$$\min Q(x) = \sum_{k=1}^n \sum_{i \in I} N_{ilk} X_{ilk},$$

где  $n$  — количество планируемых периодов работы;  $N_{ilk}$  — количество персонала, обслуживающего  $l$  агрегатов в ходе работ  $i$ -го вида в  $k$ -й период;  $X_{ilk}$  — количество агрегатов  $l$ , занятых в  $k$ -й период в ходе работ  $i$ -го вида.

Технические средства при выборе такого критерия должны задаваться ранжированным рядом производительностей стационарных и мобильных агрегатов.

Реализация прогноза с получением оценочных показателей возможна с использованием критерия, минимизирующего количество машин в системе:

$$\min Q(x) = \left[ \sum_{m \in M} X_p \right], \quad (14)$$

где  $X_p$  — количество сельхозмашин  $p$ -го вида,  $M$  — множество переменных по видам машин.

Критерий (14) обеспечивает ввод в оптимальный план наиболее производительных энергомашин и определяет максимальный КПД технических средств отрасли.

В качестве критерия оптимальности могут выступать и эксплуатационные затраты, в которых, в отличие от приведенных затрат, не учитывается эффективность капитальных вложений в средства технической оснащенности.

Стоимостным критерием оптимальности также является критерий, минимизирующий затраты на восстановление технических средств (с учетом обозначений, принятых в выражении (13)):

$$\min Q(x) = \sum_{ik} \max_k \left( \sum X_{ik}^l \right) C_j (E + d_{3j}) + \sum_S C_S (d_{3j} + E) X_S,$$

где  $S$  — множество сельскохозяйственных машин.

Использование любого из экономических критериев оптимизации не исключает возможности использования материального критерия оптимизации, и наоборот. Многоуровневое представление системы технического оснащения агропромышленного комплекса позволяет выбирать наиболее удобные критерии оптимизации для отдельных подсистем, объединяя их общим для всей системы главным критерием оптимизации. Как правило, критерии

оптимальности подсистем иерархии соответствуют критерию оптимальности верхнего уровня, однако возможность использования различных критериев на разных уровнях системы не исключается. Например, если в качестве критерия оптимальности верхнего уровня выбран минимум приведенных и эксплуатационных затрат, то на нижнем технологическом уровне могут быть использованы критерии, минимизирующие количество машин, обслуживающего персонала и затраты на восстановление техники.

**Способы учета внешних воздействий.** При выборе критериев оптимизации системы технического оснащения должны учитываться вероятностные условия ее функционирования [10, 11]. Воздействие природной среды на условия функционирования технических средств проявляется в различных затратах (энергетических, трудовых, временных и т.п.) на выполнение однотипных операций, в изменении ресурса (максимального срока службы) техники и параметров эксплуатационной надежности (наработки на отказ, времени устранения отказа и т.п.). Учет подобного воздействия осуществляется в форме нормативной документации (нормативы амортизации, сроки проведения ремонтных работ и т.п.), регламентирующей процесс эксплуатации технических средств в различных природно-климатических условиях. Для учета внешних стохастических воздействий вводятся различные показатели качества работы системы технического оснащения:

- экологические;
- природно-климатические;
- конструктивной надежности;
- технологические;
- энергетические;
- экономические;
- организационные;
- ресурсные (трудовые);
- эксплуатационной надежности и оперативности.

Величина потерь для различных комплексов технических средств и систем при работе в несхожих условиях будет разной. Посредством минимизации функционала, определяющего производственные потери и другие возможные затраты, можно определить и сформировать наиболее рациональные для конкретных условий системные характеристики: перечень сфер деятельности, целей и задач; качественный и количественный состав технических систем; основные технико-технологические требования к системам; параметры организации эксплуатации техники и т.п.

**Заключение.** Агропромышленный комплекс как самостоятельный элемент формирования систем технического оснащения и оценки их работы функционирует в соответствии с определенными характерными закономерностями. Рассмотренные натурально-вещественные критерии можно одновременно применять как требования к системе управления техническим оснащением агропромышленного комплекса. Основанием для такого предположения служат представленные методы многокритериальной оптимизации. Выбор метода объединения отдельной группы критериев можно обосновать расположением соответствующих подсистем в производственной иерархии. Многокритериальное управление системой технического оснащения позволит легче адаптироваться к климатическим, экономическим и другим изменениям условий работы предприятий агропромышленного комплекса. Предложенные в данной статье критерии оптимальности формируют целевые функции при оптимизации средств технического оснащения сельского хозяйства. Предложенные процедуры формирования критериев оптимизации технического оснащения не учитывают влияние недетерминированных возмущений. При учете внешних стохастических возмущений задача поиска оптимальных параметров системы технического оснащения становится труднодостижимой.

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01) и Министерства образования и науки РФ (проект 14.Z50.31.0031).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. King R. P., Boehlje M., Cook M. L., Sonka S. T. Agribusiness economics and management // Amer. J. of Agricultural Economics. 2010. Vol. 92. P. 554—570.
2. Valainis O., Zvirbule-Berzina A. Optimisation of grain farms in Latvia // Proc. of the Intern. Sci. Conf. "Economic Science for Rural Development: Resources and Cooperation". Jelgava, Latvia. 2012. P.134—139.
3. Kharmanda G., Ibrahim M. H., Abo Al-kheer A., Guerin F., El-Hami A. Reliability-based design optimization of shank chisel plough using optimum safety factor strategy // Computers and Electronics in Agriculture. 2014. Vol. 109. P. 162—171.
4. Moise V., St Biris S., Grecu B., Ungureanu N., David L., Paraschiv G. Determination of the minimum surface of an agricultural farm from which a certain power range of tractors become profitable // Proc.: Actual Tasks on Agricultural Engineering. 2010. Vol. 38. P. 99—110.
5. Александров И. К. Энергетический анализ и пути снижения энергоемкости машинных агрегатов (на примере сельскохозяйственных машин). Вологда: Сев.-Двинск. отд. Инженерной академии РФ, 1993. 198 с.
6. Месарович Ф., Мико Д., Тахакара И. Теория иерархических систем. М.: Мир, 1973. 332 с.
7. Bellman R. E. Dynamic Programming. Courier Dover Publ. 2003.
8. Jan A. S. Practical Mathematical Optimization: An Introduction to Basic Optimization Theory and Classical and New Gradient-Based Algorithms. Springer Publ. 2005.
9. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
10. Klein T., Holzkamper A., Calanca P., Seppelt R., Fuhrer J. Adapting agricultural land management to climate change: a regional multi-objective optimization approach // Landscape Ecology. 2013. Vol. 28. P. 2029—2047.
11. Shamshirband S., Khoshnevisan B., Yousefi M., Bolandnazar E., Anuar N. B., Wahab A. W. A., Khan S. U. R. A multi-objective evolutionary algorithm for energy management of agricultural systems — A case study in Iran // Renewable and Sustainable Energy Rev. 2015. Vol. 44. P. 457—465.

#### Сведения об авторах

**Владимир Иванович Салихов**

— канд. техн. наук; Университет ИТМО, кафедра интеллектуальных технологий в промышленной робототехнике;  
E-mail: tourinvest.spb@mail.ru

**Сергей Александрович Вразhevский**

— магистрант; Университет ИТМО, кафедра систем управления и информатики; E-mail: Vrazhevskij.S@gmail.com

Рекомендована кафедрой систем управления и информатики

Поступила в редакцию 22.04.15 г.

**Ссылка для цитирования:** Салихов В. И., Вразhevский С. А. Исследование методов оптимизации процесса технического оснащения предприятий агропромышленного комплекса // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 9. С. 770—778.

#### STUDY OF OPTIMIZATION METHODS FOR TECHNICAL EQUIPMENT OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

V. I. Salikhov, S. A. Vrazhevsky

ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: Vrazhevskij.S@gmail.com

Multi-objective optimization methods for technical equipping control systems in the agricultural business area are reviewed. Economic and tangible optimality criteria for agricultural enterprises are considered. The control system of technical equipping is treated as a multi-level system with marked vertical and horizon-

tal communication. Methods of multi-criteria optimization are formulated for agronomic production systems with the account for character of relations between subsystems under optimization. Attention is paid to the gradient descent method for organization of vertical communications. External effects are accounted for in solving the problem of optimization of technical equipment.

**Keywords:** multi-objective optimization, gradient descent, technical equipping system, agribusiness, multi-level systems.

**Data on authors**

**Vladimir I. Salikhov** — PhD; ITMO University; Department of Intelligent Technologies in Industrial Robotics; E-mail: tourinvest.spb@mail.ru

**Sergey A. Vrazhevsky** — Post-Graduate Student; ITMO University; Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: Vrazhevskij.S@gmail.com

**For citation:** *Salikhov V. I., Vrazhevsky S. A.* Study of optimization methods for technical equipment of agricultural enterprises // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie.* 2015. Vol. 58, N 9. P. 770—778 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-9-770-778