

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

КОМПЛЕКС АЛГОРИТМОВ "НЕФТЕПЛАН" ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Доля В.И., Тютюнник Л.И.

(Киев)

Рассмотрен комплекс алгоритмов "Нефтеплан" оптимального текущего планирования основного производства нефтеперерабатывающего завода. Приведены результаты опытно-промышленной эксплуатации программ "Диснефтеплан", реализованного на персональной ЭВМ IBM-PC/AT.

Проблема оптимального планирования и управления непрерывным производством занимает одно из центральных мест при создании интегрированных систем управления (ИСУ) предприятиями с непрерывной технологией (ПНТ) [1]. Один из путей решения этой проблемы — разработка экономико-математических методов планирования, реализуемых с помощью современных средств вычислительной техники.

Сотрудниками Института кибернетики имени В.М. Глушкова АН УССР создан комплекс алгоритмов "Нефтеплан" оптимального текущего планирования основного производства нефтеперерабатывающего завода (НПЗ), ориентированный на персональную ЭВМ IBM-PC/AT. Под "планированием" в нем подразумевается управление производством с достаточно большим интервалом (не менее 12 ч.), причем предприятия в целом (т.е. на верхнем уровне ИСУ). Далее представлены краткое описание этого комплекса и результаты его опытно-промышленной эксплуатации на Ново-Горьковском НПЗ.

1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Очевидно, что любая модель непрерывного производства независимо от уровня сложности не может быть вполне адекватной объекту управления, т.е. отражать все его особенности. Поэтому естественно сознательное стремление к построению упрощенной математической модели, которая бы затем уточнялась (адаптировалась к объекту управления) в процессе ее экспериментальных исследований и опытно-промышленной эксплуатации.

Анализ схем материальных потоков различных НПЗ позволил установить, что основное производство этих ПНТ можно представить в виде последовательности отдельных производственных блоков (ПБ) [2]. Каждый i -й ПБ, $i = 1, \dots, N$, включает в себя несколько резервуарных парков V_i , группу параллельно работающих технологических установок X_i (где $X_1, \dots$ — блоки первичной, вторичной и т.д. переработки сырья) и блок распределения S_i полуфабрикатов i -го ПБ между установками последующего $(i + 1)$ -го ПБ. В состав блока установок X_i входят также АСУТП, если таковые имеются.

Одним из важных вопросов является определение минимального интервала управления, от которого во многом зависит периодичность соответствующих воздействий. Он связан главным образом с характером возмущений, действующих на объект управления. В результате исследования производственной деятельности ряда НПЗ выявилось, что все возмущения, присущие нефтепереработке, можно разделить на пять типов [2]: ψ_ξ — изменение количества или качества поставляемого сырья; ψ_i — изменение поставки материальных ресурсов, $\psi_i^{(r)}$ — ремонт (простой) технологических установок,

ψ_y — изменение отгрузки товарной продукции, ψ_y^* — изменение планового задания по выпуску товарной продукции. Совокупность указанных возмущений представляет собой производственную обстановку на НПЗ в данном плановом периоде.

Анализ производственной деятельности НПЗ показывает, что длительность интервала управления, определяемая периодичностью и интенсивностью воздействия возмущений (на верхнем уровне ИСУ), колеблется в пределах 0,5 — 3 суток. С учетом этого обстоятельства математическая модель блока технологических установок i -го ПБ может быть представлена в виде (индекс i опустим)

$$z_{lk} = x_{lk} w_l, \quad \sum_k x_{lk} = 1,$$

$$g_{lk\mu} = g_{lk\mu}(x_{l\chi}, w_l),$$

$$l = 1, \dots, n_w, \quad k = 1, \dots, n_l, \quad \chi = 1, \dots, n_l,$$

$$\mu = 1, \dots, m_{lk}.$$

Функцию $g_{lk\mu}$ в первом приближении можно аппроксимировать линейным соотношением: $g_{lk\mu} = \alpha_{lk\mu} - \beta_{lk\mu} z_{lk}$, где z_{lk} — количество полуфабриката k (ПФ), получаемого на установке l ; x_{lk} — коэффициент отбора k -го ПФ; w_l — производительность установки l ; $g_{lk\mu}$ — качество μ -го ПФ; m_{lk} — число качественных характеристик ПФ; $\alpha_{lk\mu}$ и $\beta_{lk\mu}$ — регрессионные коэффициенты, определяемые из опыта работы установок.

Коэффициент отбора $x_{lk} = \delta_{lk} p_{lk}$ зависит от относительных отборов других ПФ (с данной установки) и, как показано ниже, входит в оптимизационную задачу как неизвестная переменная. В данном случае δ_{lk} — коэффициент извлечения k -го ПФ из сырья; p_{lk} — потенциальное содержание в нем ПФ.

Полученные на установках ПФ z_i смешиваются (распределяются) в блоке S_i в определенных пропорциях и образуют промежуточные (или товарные — в N -м ПБ) продукты

$$y_{il} = \sum_j s_{ilj} z_{ij}, \quad \sum_l s_{ilj} = 1, \quad s_{ilj} \leq s_{ilj} \leq \bar{s}_{ilj},$$

$$i = 1, \dots, N, \quad l = 1, \dots, n_l^{(y)}, \quad j = 1, \dots, n_l^{(z)},$$

имеющие качество (индекс i опустим) $\varphi_{l\mu} = \varphi_{l\mu}(g_{l\mu}, \rho_{lj}, z_j)$, $\mu = 1, \dots, m_l$.

Линейная аппроксимация функции $\varphi_{l\mu}$ в рабочих пределах изменения рецептуры смешения приводит к известной модели аддитивного процесса

$$\varphi_{l\mu} = \sum_j \beta_{j\mu} g_{j\mu} \rho_{lj}, \quad \rho_{lj} = s_{lj} z_j / y_l,$$

где s_{ilj} — пропорции смешения; ρ_{lj} — относительная рецептура; $g_{l\mu}$ — качество компонентов смешения; $n_l^{(z)}$ — число компонентов смешения; $n_l^{(y)}$ — число товарных продуктов; m_l — число качественных характеристик продукта l ; $\beta_{j\mu}$ — коэффициенты регрессии, определяемые экспериментально.

В связи с ограниченностью объемов промежуточных резервуарных парков отечественных ПНТ можно считать, что выходные материальные потоки i -го ПБ направляются непосредственно на установки $(i + 1)$ -го ПБ, т.е. соединены по "жесткой" схеме:

$w_i(t) = y_{i-1}(t)$, $i = 1, \dots, N$, $t \in [0, \dots, \tau]$. Имеющиеся же резервуарные парки необходимы лишь для компенсации непредвиденных возмущений и принимаются в расчет только при оперативном управлении производством ПНТ.

2. ПОСТАНОВКА И АНАЛИЗ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ НПЗ

К числу основных технико-экономических показателей, устанавливаемых предприятию в плановом периоде $[0, \dots, T]$, относятся:

переработка сырья

$$\int_0^T w_0(t) dt = \xi_T, \quad t \in [0, \dots, T],$$

план выпуска товарных продуктов

$$\int_0^T y_N(t) dt = y_T^*(\psi_y^*),$$

качество которых должно удовлетворять требованиям ГОСТа

$$\varphi_N^* \leq \varphi_N(t) \leq \bar{\varphi}_N^*,$$

график планово-предупредительного ремонта (ППР) установок

$$w_i(\psi_i^{(r)}, t) = 0, \quad t \in [\theta_l, \dots, \bar{\theta}_l] \subset [0, \dots, T],$$

график поставки материальных ресурсов, т.е. ресурсные коэффициенты установок $\eta_i(\psi_i)$ [2].

Производство товарной продукции на НПЗ зависит от ряда технологических ограничений, к числу которых относятся ограничения на суточную производительность установок

$$\underline{w}_i^* \leq w_i(\psi_i^{(r)}, t) \leq H_i(\psi_i) \bar{w}_i^*, \quad i = 1, \dots, N,$$

пределы изменения коэффициентов отборов на установках

$$\underline{X}_i \leq X_i(t) \leq \bar{X}_i,$$

регламентируемые межцеховыми нормами на качество ПФ

$$\underline{\varphi}_i^* \leq \varphi_i(t) \leq \bar{\varphi}_i^*,$$

технологические ограничения на рецептуру смешения

$$\underline{\rho}_{ij} \leq \rho_{ij}(t) \leq \bar{\rho}_{ij},$$

где $\underline{\rho}_{ij}$ и $\bar{\rho}_{ij}$ — предельные нормы вовлечения компонента смешения в товарный продукт l , устанавливаемые ГОСТами.

Одним из основных показателей эффективности работы предприятия является прибыль

$$Q = \int_0^T \sum_i [c'_i y_i(t) - d'_i z_i(t)] dt,$$

где c_i — стоимость товарных и промежуточных продуктов; d_i — себестоимость производства ПФ.

С учетом рассмотренной математической модели НПЗ и важнейших технико-экономических показателей его производственной деятельности задачу оптимального управления основным производством НПЗ (на уровне предприятия в целом) можно сформулировать следующим образом: при изменяющейся производственной обстановке (т.е. воздействии вектора возмущений $\psi(t)$) в каждый момент времени t планового периода $[0, \dots, T]$ определить коэффициенты отборов ПФ $X_i(t) \equiv \{x_{ilk}(t)\}$ на установках и пропорции смешения (распределения) $S_i(t) = \{s_{ilj}(t)\}$, допустимые по всем приведенным выше технологическим, производственным, ресурсным ограничениям и обеспечивающие предприятию максимум прибыли.

Это — достаточно трудная задача математического программирования, размерность которой может составлять тысячи ограничений и переменных при наличии нелинейностей двух видов: с одной стороны, произведения матриц S_i и X_i (с неизвестными элементами), с другой — нелинейность функций φ_i и g_i , $i = 1, \dots, N$.

Рассмотренная постановка имеет ряд особенностей, отличающих ее от известных оптимизационных задач аналогичного назначения. Прежде всего отсутствие до недавних пор эффективных алгоритмов и программных средств решения нелинейных оптимизационных задач требовало подмены их линейными (линеаризованными) задачами путем фиксации большого числа неизвестных переменных. Это резко снижает эффект оптимизации и иногда приводит к неверным результатам. Ранее не всегда в полной мере исследовался вопрос об адекватности математической модели объекту

управления. К сожалению, часто преобладало стремление не столько описать его физическую природу, сколько подогнать постановку задачи под готовые методы решения. На наш взгляд, мало внимания уделялось и системному анализу непрерывного производства как объекта управления. В частности, недостаточно полно изучались характер возмущений и их связь с управляющими воздействиями, а также выходными координатами этого объекта. В данной работе поставлена и решается существенно нелинейная задача управления производством НПЗ. Приняв во внимание имеющийся опыт оптимизации непрерывного производства, мы попытались в определенной степени устранить указанные недостатки.

3. ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ "ДНЕПР" РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ НПЗ

Непосредственное использование методов нелинейного программирования для решения поставленной задачи связано с определенными трудностями, к числу которых относятся:

невыпуклость (в общем случае) допустимой области оптимизационной задачи в связи с наличием, например, двусторонних нелинейных ограничений;

допустимая область имеет "овражный" характер из-за наличия в задаче "узких" двусторонних ограничений;

отсутствие гарантированной сходимости алгоритмов при произвольном начальном приближении.

Указанные обстоятельства обусловили необходимость разработки такого алгоритма, который был бы по возможности простым в реализации и обеспечивал получение приближенного решения (допустимого приближения) оптимизационной задачи за минимально возможное время. Таков алгоритм параметрической декомпозиции, использующий конкретные физические свойства объекта управления и предназначенный непосредственно для решения задач оптимального управления непрерывным производством (далее для краткости — алгоритм "ДНЕПР"). Его сущность в следующем.

Разобьем плановый период $[0, \dots, T]$ на n_T интервалов $T_k, k = 1, \dots, n_T$, в пределах каждого из которых возмущения квазипостоянны. Исключая промежуточные переменные y_i, z_i, g_i , исходную задачу (с учетом указанного разбиения) можно представить в виде

$$\max_{S_i, X_i, w_i} \{ Q = \sum_k \sum_i (c'_i S_{ik} X'_{ik} w_{ik} - d'_i w_{ik}) \}, \quad (1)$$

$$\sum_k S_{Nk} X'_{Nk} w_{Nk} = y_T^*, \quad (2)$$

$$S_{ik} X'_{ik} w_{ik} = w_{i+1, k}, \quad \sum_k w_{0k} = \xi_T, \quad (3)$$

$$\varphi_i^* \leq \tilde{\varphi}_{ik}(S_{ik}, X_{ik}, w_{ik}) \leq \bar{\varphi}_i^*, S_{ik} \text{ и } X_{ik} \in \Gamma, \quad (4)$$

$$\underline{w}_{ik} \leq w_{ik} \leq \bar{w}_{ik}, w_{ik} \equiv \{w_{ilk}\}, \quad (5)$$

где $\underline{w}_{ilk} = w_{ilk}^*(T_k - r_{ilk})$, $\bar{w}_{ilk} = \eta_{ilk} \bar{w}_{ilk}^*(T_k - r_{ilk})$,

$$\Gamma = \{ \gamma_{\mu\nu} : 0 \leq \gamma_{\mu\nu} \leq \bar{\gamma}_{\mu\nu}, \sum_{\mu} \gamma_{\mu\nu} = 1 \},$$

где r_{ilk} — время ремонта (простоя) установки l -го ПБ в интервале управления k .

Поскольку главную функцию НПЗ — выпуск товарной продукции — осуществляет последний (товарный) блок, то исходная задача может быть сведена к оптимизации товарного (N -го) блока с учетом предельных ресурсов ("вилкок") производства ПФ

в предыдущем блоке

$$\max_{S_{Nk}, X_{Nk}, w_{Nk}} \{ Q_N = \sum_k (c'_N S_{Nk} X'_{Nk} w_{Nk} - d'_N w_{Nk}) \}, \quad (6)$$

$$\sum_k S_{Nk} X'_{Nk} w_{Nk} = y^*_T, \quad (7)$$

$$\underline{F}_{Nk} \leq F_{Nk}(S_{Nk}, X_{Nk}, w_{Nk}) \leq \bar{F}_{Nk}, \quad (8)$$

$$w_{Nk} \in W_N, \quad k = 1, \dots, n_T. \quad (9)$$

Здесь (8) включают в себя ограничения (3) – (5) при $i = N$.

Множество W_N допустимых параметров w_{Nk} описывается системой ограничений (3) – (5) (при $i = 0, \dots, N - 1$), которую можно представить в свернутом виде

$$W_N[S_{ik}, X_{ik}] : \begin{cases} w_{Nk} = \prod_q S_{qk} X'_{qk} \xi_k, & \xi_k = w_{0k}, \end{cases} \quad (10)$$

$$\varphi_i^* \leq \tilde{\varphi}_{ik}(S_{jk}, X_{jk}, \xi) \leq \bar{\varphi}_i^*, \quad (11)$$

$$w_{ik} \leq \prod_j S_{jk} X'_{jk} \xi_k \leq \bar{w}_{ik}, \quad (12)$$

$$\underline{S}_{ik} \leq S_{ik} \leq \bar{S}_{ik}, \quad \underline{X}_{ik} \leq X_{ik} \leq \bar{X}_{ik}, \quad (13)$$

$$\left(\prod_q S_{qk} X'_{qk} \right)' e_{wi} = e_{\xi}, \quad (14)$$

где $i = 0, \dots, N - 1$; $k = 1, \dots, n_T$; $j = i, \dots, 0$; $q = N - 1, \dots, 0$; $\underline{S}_{ik}$, $\bar{S}_{ik}$ и $\underline{X}_{ik}$, $\bar{X}_{ik}$ – матрицы предельных значений элементов S_{ik} и X_{ik} ; e_{ξ} – вектор с единичными элементами, число которых равно размерности вектора ξ .

Делая некоторые допущения, основанные на физических свойствах рассматриваемого объекта управления, множество W_N с элементами $\{S_{ik}, X_{ik}\}$ можно аппроксимировать (агрегировать) некоторым множеством $\tilde{W}_N$ с элементами w_{Nk}

$$\tilde{W}_N[w_{Nk}] : \begin{cases} \underline{\Phi}_{N-1} \leq \Phi_{N-1,k}(w_{Nk}) \leq \bar{\Phi}_{N-1}, \end{cases} \quad (15)$$

$$w_{Nk} \leq w_{Nk} \leq \bar{w}_{Nk}, \quad (16)$$

$$\underline{P}_{Nk} \xi_k \leq w_{Nk} \leq \bar{P}_{Nk} \xi_k, \quad (17)$$

$$\sum_k w'_{Nk} e_{wN} = \xi'_T e_{\xi}, \quad (18)$$

где

$$\underline{P}_{Nk} = \prod_i \underline{S}_{ik} \underline{X}'_{ik}; \quad \bar{P}_{Nk} = \prod_i \bar{S}_{ik} \bar{X}'_{ik}, \quad (19)$$

векторы w_{Nk} определяются из (10), неравенства (17) непосредственно следуют из (10), (13), а соотношения (18) – из (14).

В результате указанных построений исходная задача (1) – (5) сводится к оптимизации N -го (товарного) блока (6) – (9), где множество W_N аппроксимируется (агрегируется) множеством $\tilde{W}_N$. Решив задачу (6) – (9), можно получить вектор управляющих воздействий u_{Nk} для блока N : $u'_{Nk} \equiv \{S_{Nk}, X_{Nk}\}$, а также задание предыдущему $(N - 1)$ -му ПБ по производству промежуточных продуктов в каждом интервале управления

$$y^*_{N-1,k} = w^*_{Nk}, \quad k = 1, \dots, n_T.$$

Далее, по аналогии с (6) – (9) решается задача оптимизации $(N - 1)$ -го ПБ, а затем – для каждого блока i в порядке, обратном движению материальных потоков предприятия. Способ формирования оптимизационных задач и расчета соответствующих векторов управляющих воздействий подобен рассмотренному выше.

Экспериментальные исследования показали, что вектор приближенного решения оптимизационной задачи (1) – (5), полученный при использовании алгоритма "ДНЕПР", обычно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к точности решения задач планирования нефтеперерабатывающего производства. Однако в отдельных

случаях (до 5%), когда не удастся получить допустимое решение задачи оптимизации, необходимо уточнить полученный вектор управляющих воздействий, взяв его в качестве начального приближения $\{u_{ik}^0, w_{ik}^0\}$ в более сложном алгоритме параметрической декомпозиции.

Представим исходную задачу в виде

$$\min_{u_{ik}, w_{ik}} \{h(u_{ik}, w_{ik})\}, i = 0, \dots, N, k = 1, \dots, n_T, \quad (20)$$

$$f_i(u_{ik}, w_{ik}) \leq 0, l = i, \dots, i+1, \quad (21)$$

где h — нелинейная функция, которая согласно (1) является суммой некоторых функций h_i : $h = \sum_i h_i$; f_i — нелинейные вектор-функции, включающие в себя функции ограничений (2) — (5); u_{ik} — векторы неизвестных переменных, компоненты которых состоят из элементов матриц S_{ik} и X_{ik} . Предполагается, что множество R допустимых решений задачи (20) — (21) непусто, а функции h и f_i выпуклы (по совокупности переменных u_{ik} и $w_{ik}^{(0)}$) в некоторой области $R_0 \subset R$, содержащей начальную $\{u_{ik}^{(0)}, w_{ik}^{(0)}\}$ и оптимальную $\{u_{ik}^*, w_{ik}^*\}$ точки.

Зафиксируем компоненты векторов w_{ik} . Пусть $w_{ik} = \tilde{w}_{ik}$. Тогда (20) — (21) распадается на $N+1$ блочных задач

$$\min_{u_{ik}} \{h_i(u_{ik}, \tilde{w}_{ik})\}, \quad (22)$$

$$f_i(u_{ik}, \tilde{w}_{ik}) \leq 0. \quad (23)$$

Координирующая функция $\omega(w_{ik})$ задачи (22) — (23) имеет вид

$$\omega(w_{ik}) = \min_{u_{ik}} \{h(u_{ik}, \tilde{w}_{ik})\}, u_{ik} \in R_u, \quad (24)$$

где R_u — множество решений $\tilde{u}_{ik}$ блочных задач (22) — (23) при фиксированных w_{ik} из множества R_w , определяемого ограничениями (23).

Поскольку явный вид координирующей функции (24) неизвестен, будем решать задачу ее минимизации приближенно, используя градиентный спуск: $w_{ik}^{(\alpha+1)} = w_{ik}^{(\alpha)} - \beta_{ik} \nabla \omega_{ik}(w_{ik}^{(\alpha)})$, $\alpha = 0, \dots, \infty$, где β_{ik} — длина шага в направлении обобщенного градиента $\nabla \omega_{ik}$ функции ω в точке $(u_{ik}^{(\alpha)}, w_{ik}^{(\alpha)})$.

При выпуклости функций h_i и f_i градиент $\nabla \omega_{ik}$ определяется проекцией градиента функции Лагранжа ограничений задачи (20) — (21) на множество R_w

$$\nabla \omega_{ik}(w_{ik}) = \nabla h_{ik}(\tilde{u}_{ik}, w_{ik}) + \sum_i \sum_k \lambda'_{ik} \nabla f_{ik}(\tilde{u}_{ik}, w_{ik}),$$

где ∇h_{ik} и ∇f_{ik} — проекции обобщенных градиентов функций h_i и f_i в точке $(\tilde{u}_{ik}, w_{ik})$; $\tilde{u}_{ik}$ — векторы решения блочных задач (22) — (23) при фиксированных w_{ik} ; λ'_{ik} — неопределенные множители Лагранжа, т.е. двойственные переменные (20) — (21).

Длину шага β_{ik} в направлении $\nabla \omega_{ik}$ можно найти из соотношения: $\beta_{ik} = \kappa / \|\nabla \omega_{ik}\|$, где $\kappa > 0$ — параметр, определяемый экспериментально.

4. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ БЛОЧНЫХ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Для решения отдельных задач нелинейного программирования авторами разработан и апробирован в промышленных условиях алгоритм "АПРОКС". Представим блочную нелинейную задачу оптимизации типа (22), (23) в виде

$$\min_{x \in R} h(x), R = F \cap X, \quad (25)$$

$$F = \{x : f_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m\}, \quad (26)$$

$$X = \{x : \underline{x} \leq x \leq \bar{x}\}, x \in E_n, \quad (27)$$

где $h(x)$ и $f_i(x)$ — выпуклые непрерывно дифференцируемые на X функции; $\underline{x}$ и $\bar{x}$ —

векторы минимальных и максимальных значений x ; E_n — евклидово пространство n переменных; (27) соответствует (13). В (25)–(27) предполагается, что множество R непусто и удовлетворяет условию Слейтера.

Решение задачи (25)–(27) находится в результате построения последовательных приближений

$$x_{\alpha+1} = x_{\alpha} + \beta_{\alpha} p_{\alpha}, \quad \alpha = 0, \dots, \infty, \quad x_0 \in X, \quad (28)$$

где β_{α} — длина шага, $0 < \beta_{\alpha} < 1$, в направлении p_{α} . Предполагается, что начальное приближение x_0 в общем случае находится за пределами допустимой области: $x_0 \notin R$.

Решение задачи (25)–(27) осуществляется в два этапа: вначале находится допустимое решение, а затем оптимальное. Для первой стадии в текущей точке x_{α} осуществляется линейная аппроксимация функций h и f_i и решается следующая задача линейного программирования

$$\min_{x \in R_{\alpha}} \{ -\nabla \bar{f}'(x_{\alpha})x \}, \quad R_{\alpha} = F_{\alpha} \cap X, \quad (29)$$

$$F_{\alpha} = \{ x : \nabla f'_i(x_{\alpha})x \leq -f_i(x_{\alpha}) \},$$

где $\nabla f_i(x_{\alpha})$ — векторы частных производных функций f_i в точке x_{α} ; ' — символ транспонирования; $\nabla \bar{f}(x)$ — вектор частных производных функций

$$\bar{f}(x) = \max_i \{ f_i(x) \}, \quad i \in 1, \dots, m.$$

Если κ_{α} — решение задачи (29), то направление движения p_{α} определяется разностью

$$p_{\alpha} = \kappa_{\alpha} - x_{\alpha}. \quad (30)$$

Шаг β_{α} в направлении p_{α} находится по формуле

$$\beta_{\alpha} = 2^{-\nu_{\alpha}}, \quad (31)$$

где ν_{α} — первое из чисел $\nu = 0, 1, \dots, \bar{\nu}$, $\bar{\nu} < \infty$, при котором справедливо неравенство

$$\bar{f}(x_{\alpha+1}) \leq \bar{f}(x_{\alpha}). \quad (32)$$

Процесс (28) поиска допустимого решения заканчивается, как только выполняется неравенство

$$\bar{f}(x_{\alpha}) \leq 0, \quad x_{\alpha} \in X.$$

После того как допустимое решение $x_{\alpha} \in R$ найдено, ищем оптимальное — x^* . Для этого на каждом шаге итерационного процесса решается задача линейного программирования

$$\min_{x \in R_{\alpha}} \{ \nabla h'(x_{\alpha})x \},$$

где $\nabla h'(x_{\alpha})$ — вектор частных производных функции цели $h(x)$ в точке x_{α} ; множество R_{α} находим из (29), а направление p_{α} — из (30). Шаг β_{α} в направлении p_{α} определяется соотношением (31), при котором выполняется неравенство (32).

Процесс поиска оптимального решения заканчивается при $\|x_{\alpha+1} - x_{\alpha}\| \leq \epsilon$, где $\epsilon > 0$ — малое заданное число, дающее требуемую точность решения задачи нелинейного программирования.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСА

На базе рассмотренных алгоритмов оптимального планирования нефтеперерабатывающего производства разработан комплекс программ (КП) "Диснефтеплан" (диалоговая информационная система планирования нефтепереработки), реализованный на персональной ЭВМ IBM-PC/AT. В его состав входят: КП "Нефтеплан" расчета оптимального плана производства НПЗ, КП "Нефтеплан-документ" формирования и пред-

ставления плановых документов, база данных и специализированная система управления ею (СУБД), позволяющая осуществить диалоговый режим пользователя с ПБМ.

КП выполнен на языке FORTRAN-77 и ориентирован на использование в операционной системе MSDOS. СУБД функционирует в системе программирования TURBO-PASCAL 5.5 с графическим интерфейсом BGI. Эксплуатация КП не требует специальной подготовки и осуществляется работниками планового отдела НПЗ.

Комплекс может рассчитывать: проект плана производства НПЗ в очередном году; план производства НПЗ в текущем году (с разбивкой года по кварталам или квартала по месяцам); несколько вариантов плана производства с целью выбора наилучших технико-экономических показателей работы НПЗ.

В ходе опытно-промышленной эксплуатации КП "Диснефтеплан" на Ново-Горьковском НПЗ было установлено, что основными факторами его экономической эффективности (по сравнению с традиционным "ручным" счетом) являются: оптимальное распределение материальных потоков между технологическими объектами НПЗ; оптимальная рецептура приготовления (смешения) нефтепродуктов; сокращение (до 50%) необходимых трудозатрат на подготовку и обработку информации при планировании производства.

Указанные факторы позволяют снизить себестоимость производства нефтепродуктов и обеспечивают существенный экономический эффект.

Часть программных модулей комплекса (в том числе модули нелинейной и линейной оптимизации) были применены при разработке КП оперативного расчета оптимальной рецептуры приготовления товарных масел [3]. Промышленные испытания показали, что это дает возможность экономить до 6% дефицитного остаточного компонента и до 5% дорогостоящих присадок (от общего объема вовлечения их в товарные масла).

В будущем предполагается использовать КП "Диснефтеплан" для решения всего комплекса задач перспективного, текущего и оперативного планирования основного производства НПЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уланов Г.М., Алиев Р.А., Кривошеев В.П. Методы разработки интегрированных АСУ промышленными предприятиями. М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Доля В.И. О решении комплекса задач оптимального планирования непрерывного производства // Управляющие системы и машины. 1978. № 2.
3. Доля В.И., Тютюнник Л.И. Об алгоритме решения нелинейных оптимальных задач управления непрерывным производством // Кибернетика и вычисл. техника. 1986. Вып. 71.

Поступила в редакцию
22.III 1991