

Я. С. Мухтаров, Р. Ш. Суфиянов, В. А. Лашков

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИЙ В СФЕРУ ОБРАЩЕНИЯ С НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫМИ ГРУНТАМИ

Ключевые слова: нефтяные шламы, чистый дисконтированный доход, эколого-экономическая оптимизационная модель.

На основе комплексного критерия – чистого дисконтированного дохода, предложена модель для оценки инвестиций, направляемых в сферу обезвреживания нефтезагрязненных грунтов, образующихся в ходе добычи и транспортирования нефти.

Keywords: Sludge, the net discounted produce, ecological and economic optimization model.

On the complex criterium basis, i.e. net discounted produce, a model is proposed to estimate investments into rendering safe oily soils arised during extraction and transportation of petroleum.

В России, как и во всем мире, объемы добычи углеводородов возрастают: на рис. 1 представлены соответствующие данные за ряд прошедших лет с прогнозом, по данным аналитиков, до 2030 года [1]. Если не произойдет коренных прогрессивных изменений в технологиях нефтедобычи, нефтепереработки, или в подходе к проблеме обезвреживания нефтяных шламов, то масштабы их негативного воздействия на биосферу также будут неуклонно возрастать.

По данным, представленным Комитетом по природным ресурсам и экологии Государственной Думы РФ, потери углеводородов в 2007 году соста-

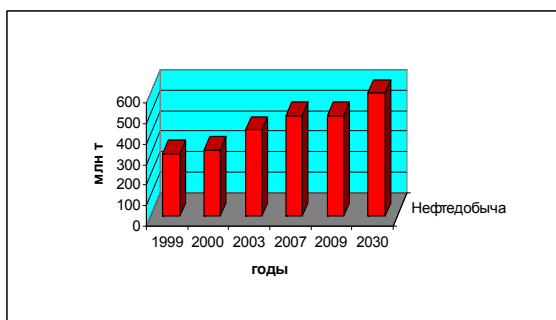


Рис. 1 - Прогноз нефтедобычи до 2030 года

вили чуть более 4%, а по данным российского отделения Greenpeace в России ежегодно теряется 5-7% всей добытой нефти [2], и значительная часть потерянной нефти (нефтепродуктов) находится в нефтяных шламах.

Рост количества нефтесодержащих отходов свидетельствует о необходимости инвестирования средств в проекты развития природоохранных предприятий на территории России. Ключевой идеей для инвестиций в данную сферу выступает возможность создания (на основе существующих предприятий) организаций для обезвреживания опасных отходов данного типа с возможностью использования конечного продукта обезвреживания (КПО).

На основе результатов исследования сложившихся обстоятельств, современной оценки экологической ситуации в нефтедобывающих регионах, анализа технико-экономических возможностей производственного комплекса необходимо сформиро-

вать базу для реализации инвестиционных возможностей и на их основе выдвинуть ряд альтернатив реализации проекта. Альтернативы могут различаться местами размещения, перечнем выполняемых работ, производительностью комплекса и др. Финансирование проекта может осуществляться как с участием государственных организаций, так и частных инвесторов.

При обеспечении необходимого и достаточного финансирования выбор наиболее эффективной альтернативы состоит в поиске оптимального решения задачи в условиях многовариантности проблемы. Большое количество различных вариантов возможных решений в условиях неопределенности требует системного подхода и применения методов декомпозиции. В соответствии с системным анализом приведенную выше комплексную эколого-экономическую задачу необходимо разделить на ряд более простых задач, оставаясь при этом в рамках конфигуратора.

При создании эколого-экономической модели для описания условий функционирования системы необходимо составить систему балансовых уравнений, описывающих материальные, энергетические и информационные потоки, с учетом транспортных издержек, затрат на заработную плату, стоимости реагентов и, не в последнюю очередь, с учетом природоохранных мероприятий.

Экологические проекты, в подавляющем большинстве, без учета штрафных санкций убыточны и при этом налицо дилемма: чем жестче экологические требования, тем выше затраты и, соответственно, чем меньше финансирование, тем хуже получаемый природоохранный эффект.

Как правило, в нефтедобывающих регионах имеется значительное количество нефтедобывающих предприятий и необходимо решать проблему обезвреживания образующихся там нефтесодержащих отходов. Естественно, возникают вопросы, связанные со складированием или транспортировкой таких отходов до мест обезвреживания и с выбором метода обезвреживания [3], наиболее эффективного с точки зрения, как экологии, так, и экономики. На первый план выходит «цена решения вопроса» и налицо оптимизационная задача, где в качестве критерия оптимизации, необходимо выбрать комплексный параметр, определяющий эколого-

экономическую эффективность моделируемых природоохранных мероприятий на современных нефтедобывающих предприятиях.

В качестве критерия оптимизации рассмотрим интегральный эффект (E_1) от реализации выбранной технологии с учетом потенциальных штрафов за нанесение ущерба окружающей природной среде и (или) целевых инвестиций.

Первоначально необходимо:

- выбрать объекты для инвестирования и определить места их размещения;
- обосновать категории экологической допустимости;
- определиться с техникой и производственными технологиями, а также типами производственных зданий;
- выбрать места для размещения и обезвреживания нефтесодержащих отходов, определить предприятия-субподрядчиков для реализации КПО;
- определиться с номенклатурой нормируемых оборотных средств и с техническим оснащением вспомогательных производств;
- выбрать типы и размеры производственных помещений;
- определиться с маршрутами и объемами транспортировки сырья и продукции, рассчитать капитальные затраты.

Примем систему ограничений, формирующую область допустимых решений из нескольких блоков.

1-й блок состоит из балансовых уравнений, определяющих соотношения между сырьевыми и продуктовыми потоками; 2-й блок задает ограничения для выбора технологии обезвреживания с учетом производительности технологических аппаратов. В 3-м блоке учитываются условия, ограничивающие размеры производственных зданий, в 4-м блоке производится оценка технико-экономических параметров, а в 5-м учитываются затраты на транспортировку при выборе оптимального размещения предприятий. В 6-м блоке представлены экологические ограничения, описывающие воздействие образующихся нефтесодержащих отходов на окружающую природную среду.

В связи с необходимостью задания ряда условий в виде нелинейных выражений, что вызывает определенные трудности при расчетах по разработанной модели, поэтому необходимо воспользоваться специальными приемами замены задачи нелинейного программирования более простыми задачи частично целочисленного линейного программирования.

Для более подробного описания технологических и эколого-экономических альтернатив представим проект как систему взаимосвязанных субпроектов, в рамках которых можно будет провести более детальную оптимизацию технологических процессов и оборудования. В качестве показателя эффективности инвестирования средств, примем интегральный эффект (чистый дисконтированный доход $\text{ЧДД}_{\text{опт}}$), выступающий в качестве функционала задачи и оцениваемый, исходя из условия

осуществления всех первоначальных инвестиций на первом ($i = 1$) шаге горизонта расчета и на основе среднегодовых значений доходов и текущих затрат на всех последующих шагах [4].

На рис. 2 представлена блок-схема системы линейных ограничений модели, задающих область допустимых решений рассматриваемой задачи.

Для поиска наиболее приемлемого, эффективного, экологически допустимого и экономически целесообразного решения, необходимо обеспечить итерационную процедуру, осуществляемую по схожести $\text{ЧДД}_{\text{опт}i}$ с $\text{ЧДД}_{\text{опт}i-1}$.

При разработке структуры эколого-экономической оптимизационной модели выделим основные блоки, необходимые для формирования системы линейных ограничений и линейного функционала, представленного в следующем виде

$$F_1(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{X}) = f_1(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{X}), \quad (1)$$

а систему ограничений запишем в матричной форме

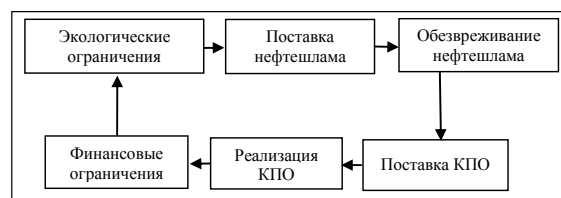


Рис. 2 - Блоки линейных ограничений модели

$$A_1(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{X}) = \bar{a}_1, \quad (2)$$

где $A_1 = \|a_{ij}\|_{m \times n}$ – матрица коэффициентов при переменных; $\bar{a}_1$ – вектор ограничений; f_1 – вектор коэффициентов функционала; $\bar{X}$, $\bar{Y}$ – векторы действующих переменных; $\bar{X}$ – вектор бинарных переменных.

После соответствующих преобразований получим выражение для расчета критерия оптимальности

$$F_1 = \text{ЧДД}_1(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{X}) = \sum_{t=1}^T \frac{R_t(\bar{X})}{(1+E)^{t-1}} - \sum_{t=1}^T \frac{C_t(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{X})}{(1+E)^{t-1}} - K_t(\bar{X}, \bar{X}), \quad (3)$$

где $R_t(\bar{X})$ – результаты, достигаемые на шаге t ; $C_t(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{X})$ – затраты на шаге t ; $K_t(\bar{X}, \bar{X})$ – капитальные затраты (инвестиции); E – норма дисконта; t – шаги расчета; T – расчетный период.

В связи с невозможностью точного прогнозирования экологических платежей, цен на расход-

ные материалы, текущих и капитальных затрат при формировании ограничений модели будем ориентироваться на укрупненные технико-экономические показатели и нормативы, а также на средневзвешенные показатели производительности оборудования, средние нормы расхода материалов и т.д.

Допустим, на первом шаге были осуществлены инвестиции K при известных среднегодовых значениях доходов R и текущих затрат C на последующих шагах

$$\text{при } t=1 \quad K_1=K, \text{ при } t \geq 2 \quad K_t=0, \quad (4)$$

$$R_1=0, \quad C_1=0; \text{ при } t \geq 2 \quad R_t=R, \quad C_t=C. \quad (5)$$

С условием принятых допущений получим

$$F = \text{ЧДД}(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{X}) = \sum_{t=2}^T \frac{R(\bar{X})}{(1+E)^{t-1}} - \sum_{t=1}^T \frac{C(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{X})}{(1+E)^{t-1}} - K(\bar{X}, \bar{X}). \quad (6)$$

Для полноты описания условий реализации математической модели объекта инвестирования (модернизации) введем систему основных множеств:

$R_{пп} = \{1, 2, \dots, g, \dots, n_R\}$ – множество потребителей КПО;

$G^{пшу} = \{1, 2, \dots, g, \dots, n_G\}$ – множество предприятий по обезвреживанию НШ;

$P^{сп} = \{1, 2, \dots, p, \dots, n_P\}$ – множество предприятий субподрядчиков;

$J^{кпо} = \{1, 2, \dots, j, \dots, n_J\}$ – множество типов КПО;

$I^{нш} = \{1, 2, \dots, i, \dots, n_I\}$ – множество номенклатуры видов НШ;

$S_i^{пнш} = \{1, 2, \dots, s, \dots, n_{S_i}\}$ – множество для объединения поставщиков НШ при условиях, что

$$G^{ншу} = G^{\text{собст. ншу}} \cup G^{\text{стр. ншу}}, \quad (7)$$

$$P^{сп} = P^{\text{собст. сп}} \cup P^{\text{стр. сп}}, \quad (8)$$

где $G^{\text{собст. ншу}}$, $G^{\text{стр. ншу}}$, $P^{\text{собст. сп}}$, $P^{\text{стр. сп}}$ – собственные и строящиеся предприятия по обезвреживанию НШ и предприятия-субподрядчики.

При создании новых производств по переработке НШ для определения планируемого объема производства необходимо ориентироваться на определенный интервал, задаваемый интенсивностью источника загрязнения и типом КПО, и представленный в виде

$$a_g^{\text{стр. ншу}} X_g^{\text{стр. ншу}} \leq \sum_{j \in J^{\text{кпо}}} X_{jg}^{\text{кпо-стр. ншу}} \leq A_g^{\text{стр. ншу}} \dot{X}_g^{\text{стр. ншу}} \quad (9)$$

где $\dot{X}_g^{\text{стр. ншу}} = \{1, 0\}$ – бинарная переменная, принимающее значение 1, если на g -м строящемся предприятии экономически целесообразно обезвреживать j -й НШ, или 0, если это нецелесообразно. Левая часть выражения характеризует минимальную технико-экономическую целесообразность создания нового предприятия для обезвреживания НШ, а правая часть обусловлена максимально допустимой производительностью установок.

На решение о создании предприятия по обезвреживанию НШ могут также влиять границы минимальной $a_{jg}^{\text{стр. ншу}}$ и максимальной $A_{jg}^{\text{стр. ншу}}$ технико-экономической целесообразности организации ее производства

$$a_{jg}^{\text{стр. ншу}} \dot{X}_g^{\text{стр. ншу}} \leq \sum_{j \in J^{\text{кпо-стр. ншу}}} X_{jg}^{\text{кпо-стр. ншу}} \leq A_{jg}^{\text{стр. ншу}} \dot{X}_g^{\text{стр. ншу}} \quad (10)$$

где $\dot{X}_g^{\text{стр. ншу}} = \{1, 0\}$ – бинарная переменная.

Участие предприятий-субподрядчиков в системе обращения с КПО можно учесть заданием их уровнем запасов и пропускной способности. Балансовое соотношение запишем в виде

$$X_{j \text{ пр}}^{\text{кпо-собст. сп}} = \sum_{j \in G_p^{\text{кпо-собст. ншу}}} X_{j \text{ гр}}^{\text{кпо-собст. сп}} + \sum_{j \in G_p^{\text{стр. ншу}}} X_{j \text{ гр}}^{\text{кпо-собст. сп}}, \quad (11)$$

$$X_{j \text{ пр}}^{\text{кпо-стр. сп}} = \sum_{j \in G_p^{\text{собст. ншу}}} X_{j \text{ гр}}^{\text{кпо-стр. сп}} + \sum_{j \in G_p^{\text{стр. ншу}}} X_{j \text{ гр}}^{\text{кпо-стр. сп}}, \quad (12)$$

где $X_{j \text{ пр}}^{\text{кпо-собст. сп}}$ и $X_{j \text{ пр}}^{\text{кпо-стр. сп}}$ – количество j -й продукции, отгружаемой через p -ю субподрядную организацию в течение года.

Общее суммарное количество продукции $X_{\text{пр}}^{\text{кпо-собст. сп}}$ и $X_{\text{пр}}^{\text{кпо-стр. сп}}$, равное

$$X_p^{\text{кпо-собст. сп}} = \sum_{j \in J_p^{\text{кпо}}} X_{j \text{ гр}}^{\text{кпо-собст. сп}}, \quad (13)$$

$$X_p^{\text{кпо-стр. сп}} = \sum_{j \in J_p^{\text{кпо}}} X_{j \text{ гр}}^{\text{кпо-стр. сп}}, \quad (14)$$

должно находиться в пределах существующей $A_p^{\text{собст. сп}}$ и планируемой $[a_p^{\text{стр. сп}}, A_p^{\text{стр. сп}}]$ пропускной способности базы ($t \text{ г}^{-1}$), т. е.

$$\sum_{j \in J_p^{КПО}} x_{jgr}^{КПО-собст.СП} \leq A_p^{собст.СП}, \quad (15)$$

$$a_p^{стр.СП} \dot{x}_p^{стр.СП} \leq \sum_{j \in J_p^{КПО}} x_{jgr}^{КПО-стр.СП} \leq A_p^{стр.СП} \dot{x}_p^{стр.СП} \quad (16)$$

где $\dot{x}_p^{стр.СП} = \{1, 0\}$ – бинарная переменная, ответственная за решение о строительстве p -й сбытовой базы.

Одним из ограничений является спрос КПО у потребителей $A_{jr}^{КПО-макс\ спрос}$, а так как данная продукция реализуется субподрядчиками, находящимися в том же Γ -м регионе, то ограничение на отгрузку продукции запишем в виде следующего неравенства

$$\sum_{j \in P_p^{КПО}} x_{jgr}^{КПО-собст.СП} + \sum_{j \in P_p^{КПО}} x_{jgr}^{КПО-стр.СП} \leq A_{jr}^{КПО-макс\ спрос}. \quad (17)$$

Зададимся ориентировочными значениями удельных капитальных вложений в создание новых предприятий $\tilde{K}_{jg}^{КПО-стр.НШУ}$, новых предприятий-субподрядчиков $\tilde{K}_p^{КПО-стр.СП}$ и коэффициентами накопившихся складских запасов КПО $k_p^{скл. зап}$ для оценки величины оборотных средств.

Стоимость КПО, хранящегося на p -м предприятии-субподрядчике, оцениваемую по себестоимости ее производства на g -м предприятии по обезвреживанию НШ с учетом транспортных затрат, запишем в виде

$$O_p^{ост-стр.СП} = \sum_{j \in J_p^{КПО}} \sum_{g \in G_p^{собст.НШУ}} (\tilde{C}_{jg}^{КПО-собст.НШУ} + \tilde{T}_{КПО}^{тр.тар} I_{gr}^{НШУ-СП}) k_p^{скл. зап} x_{jgr}^{КПО-стр.СП} + \sum_{j \in J_p^{КПО}} \sum_{g \in G_p^{стр.НШУ}} (\tilde{C}_{jg}^{КПО-стр.НШУ} + \tilde{T}_{КПО}^{тр.тар} I_{gr}^{НШУ-СП}) k_p^{скл. зап} x_{jgr}^{КПО-стр.СП}. \quad (18)$$

Отсюда запишем ограничение по инвестированию проекта в следующем виде

$$\sum_{g \in G^{стр.НШУ}} \sum_j \tilde{K}_{jg}^{КПО-стр.НШУ} x_{jg}^{КПО-стр.НШУ} + \sum_{p \in P^{СП}} \tilde{K}_p^{КПО-стр.СП} x_p^{КПО-стр.СП} +$$

$$+ \sum_{j \in G^{КПО}} \sum_g \sum_{p \in P^{стр.СП}} (\tilde{C}_{jg}^{КПО-собст.НШУ} + \tilde{T}_{КПО}^{тр.тар} I_{gr}^{НШУ-СП}) k_p^{скл. зап} x_{jgr}^{КПО-стр.СП} + \sum_{j \in G_p^{КПО}} \sum_g \sum_{p \in P^{стр.СП}} (\tilde{C}_{jg}^{КПО-стр.НШУ} + \tilde{T}_{КПО}^{тр.тар} I_{gr}^{НШУ-СП}) k_p^{скл. зап} x_{jgr}^{КПО-стр.СП} \leq I^{макс\ собст.} + I^{макс\ заем}. \quad (19)$$

где $I^{макс\ собст.}$ и $I^{макс\ заем.}$ – лимиты использования средств (собственных и заемных); себестоимости изготовления единицы продукции на действующих $\tilde{C}_{jg}^{КПО-собст.НШУ}$ и строящихся $\tilde{C}_{jg}^{КПО-стр.НШУ}$ предприятиях по обезвреживанию НШ; $\tilde{T}_{КПО}^{тр.тар}$ – транспортный тариф на перевозку КПО; $I_{gr}^{НШУ-СП}$ – расстояние между g -м предприятием по обезвреживанию НШ и p -м предприятием-субподрядчиком.

Зададимся рядом параметров, необходимых для формирования функционала: $\tilde{C}_p^{КПО-СП}$ – средние значения эксплуатационных расходов на предприятиях-субподрядчиках; $\tilde{T}_{НШ}^{тр.тар.}$ – средний транспортный тариф на перевозку нефтешлама; $I_{sg}^{пост.сыр.-НШУ}$ – расстояние между s -м поставщиком сырья и g -м предприятием для обезвреживания НШ; $I_{сп-пр}^{сп-пп}$ – среднее плечо перевозок продукции с p -го предприятия-субподрядчика Γ -му потребителю; $\tilde{Q}_j$ – доходы от реализации продукции.

В общем виде формализация задачи оптимального выбора и размещения предприятий для обезвреживания нефтешламов с учетом экономической целесообразности и экологической допустимости может быть представлена как нахождение оптимальных параметров $\bar{X}_{опт}$, $\bar{Y}_{опт}$, $\bar{X}_{опт}$, когда функционал F_1 (критерий оптимизации) достигает максимального значения. Данная задача может быть решена с помощью математического аппарата частично-целочисленного линейного программирования большой размерности [5]

На рис. 3 представлена структурная схема потоков сырья и продукции, на основе которых строятся балансовые соотношения модели. Разработанная модель, являясь относительно простой по структуре, вместе с тем имеет большую размерность.

Зададим область допустимых решений задачи оптимизации – по ограничению поставки нефтяных шламов на предприятия по их обезврежива-

нию, которое запишем в следующем виде

$$\sum_{g \in G_s^{\text{собст. ншу}}} Y_{jsg}^{\text{нш}} + \sum_{g \in G_s^{\text{стр. ншу}}} Y_{jsg}^{\text{нш}} \leq A_{is}^{\text{нш}}. \quad (20)$$

По результатам решения данной оптимизационной задачи с помощью разработанной модели, возможно:

- прогнозировать количества образующихся нефтяных шламов в нефтедобывающем регионе;
- рассчитать предотвращенный экологический ущерб окружающей природной среде при условии выполнения соответствующих нормативов и требований;
- выбрать, при наличии альтернативы, наиболее рациональные методы и предприятия для обезвреживания нефтяных шламов;
- экологически и экономически обосновать принятие решений в условиях многовариантной задачи транспортирования, обезвреживания нефтяных шламов и реализации конечного продукта обезвреживания;
- определить оптимальные места для размещения новых предприятий по обезвреживанию нефтяных шламов при значительной дальности действующих

предприятий;

- провести предварительный анализ эффективности инвестиций на основе оценок чистого дисконтированного дохода, срока окупаемости инвестиций и других экономических критериев оценки эффективности.

Литература

1. Мухтаров, Я.С. Моделирование процесса обращения с нефтезагрязненными грунтами / Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, Н.И. Гданский, В.А. Лашков // Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2012. – № 11. – С.201-204.
2. Петов, Н. Разливное море разливов / Н. Петов // Нефть России. – 2009. – №5. С.77–80.
3. Мухтаров, Я.С. Определение экономической целесообразности применения метода реагентного капсулирования / Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов // Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2012. – № 12. – С.175-176.
4. Фишмен, Д. Руководство по оценке бизнеса / Д. Фишмен, Ш. Пратт, К. Гриффит, К. Уилсон. – М.: Квинто-Консалтинг, 2000. – 120 с.
5. Лэсдон, Л. Оптимизация больших систем / Л. Лэсдон. – Л.: Наука, 1975. – 432 с.

© Я. С. Мухтаров – д-р техн. наук, проф. каф. машиноведения КНИТУ, Р. Ш. Суфиянов – канд. техн. наук, доц., соискатель каф. Машиноведения КНИТУ, В.А. Лашков – д-р техн. наук, проф., зав. каф. машиноведения КНИТУ, lashkov_dm@kstu.ru.