

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 составили 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). Рис. 1 - Прогноз нефтедобычи до 2030 года

На основе результатов исследования сложившихся обстоятельств, современной оценки экологической ситуации в нефтедобывающих регионах, анализа технико-экономических возможностей производственного комплекса необходимо сформировать 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 () от реализации выбранной технологии с учетом потенциальных штрафов за нанесение ущерба окружающей природной среде и (или) целевых инвестиций. Первоначально необходимо:

Рис. 2 - Блоки линейных ограничений модели – 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, формирующих 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), выступающий в качестве функционала задачи и оцениваемый, исходя из условия осуществления всех первоначальных инвестиций на первом ($t = 1$) 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 сходимости с ϵ . При разработке структуры эколого-экономической оптимизационной модели выделим основные блоки, необходимые для формирования системы линейных ограничений и линейного функционала, представленного в следующем виде, (1) а систему ограничений запишем в матричной форме, (2) где A – матрица коэффициентов при переменных; b – вектор ограничений; C – вектор коэффициентов функционала; x – векторы действительных переменных; z – вектор бинарных переменных. После соответствующих преобразований получим выражение для расчета критерия оптимальности, (3) где z_t – результаты, достигаемые на шаге t ; z_{t-1} – затраты на шаге $t-1$; z_{t-2} – капитальные затраты (инвестиции); r – норма дисконта; n – шаги расчета; T – расчетный период. В связи с невозможностью точного прогнозирования экологических платежей, цен на расходные 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 при известных среднегодовых значениях доходов и текущих затрат на последующих шагах при $t=1$ $z_1 = 0$, $z_2 = 0$, $z_3 = 0$; при $t=2$ $z_2 = 0$, $z_3 = 0$. (4) (5) С условием принятых допущений получим z_t . (6) Для полноты описания условий реализации математической модели объекта инвестирования (модернизации) введем систему основных множеств: M_1 – множество потребителей КПО; M_2 – множество предприятий по обезвреживанию НШ; M_3 – множество предприятий субподрядчиков; M_4 – множество типов КПО; M_5 – множество номенклатуры видов НШ; M_6 – множество для объединения поставщиков НШ при условиях, что $M_1 \cap M_2 = \emptyset$, $M_2 \cap M_3 = \emptyset$, $M_3 \cap M_4 = \emptyset$, $M_4 \cap M_5 = \emptyset$, $M_5 \cap M_6 = \emptyset$, (7) (8) где M_i , $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ – 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 (9) где x_{ij} – бинарная переменная, принимающая значение 1, если на i -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 и максимальной технико-экономической целесообразности организации ее производства, (10) где x – бинарная переменная. Участие предприятий-субподрядчиков в системе обращения с КПО можно учесть заданием их уровнем запасов и пропускной способности. Балансовое соотношение запишем в виде $x_1 + x_2 = 1$, (11) (12) где x_1 – количество i -й продукции, отгружаемой через j -ю субподрядную организацию в течение года. Общее суммарное количество продукции i , равное Q_i , (13) (14) должно находиться в пределах существующей и планируемой $[x_{i1}, x_{i2}]$ пропускной способности базы (т г-1), т. е. $x_{i1} \leq Q_i \leq x_{i2}$, (15) (16) где x_{i1} – бинарная переменная, ответственная за решение о строительстве i -й сбытовой базы. Одним из ограничений является спрос КПО у потребителей D_i , а так как данная продукция реализуется субподрядчиками, находящимися в том же j -м регионе, то ограничение на отгрузку продукции запишем в виде следующего неравенства $x_{ij} \leq D_i$. (17) Зададимся ориентировочными значениями удельных капитальных вложений в создание новых предприятий K_{ij} , новых предприятий-субподрядчиков K_{ij}^* и коэффициентами накопившихся складских запасов КПО для оценки величины оборотных средств. Стоимость КПО, хранящегося на j -м предприятии-субподрядчике, оцениваемую по себестоимости ее производства на j -м предприятии по обезвреживанию НШ с учетом транспортных затрат, запишем в виде $C_{ij} = K_{ij} + K_{ij}^* + C_{ij}^*$. (18) Отсюда запишем ограничение по инвестированию проекта в следующем виде $x_{ij} \leq D_i$. (19) где x_{ij} – лимиты использования средств (собственных и заемных); себестоимости изготовления единицы продукции на действующих и строящихся предприятиях по обезвреживанию НШ; C_{ij} – транспортный тариф на перевозку КПО; L_{ij} – расстояние между j -м предприятием по обезвреживанию НШ и i -м предприятием-субподрядчиком. Зададимся рядом параметров, необходимых для формирования функционала: C_{ij} – средние значения эксплуатационных расходов на предприятиях-субподрядчиках; C_{ij}^* – средний транспортный тариф на перевозку нефтешлама; L_{ij} – расстояние между j -м поставщиком сырья и i -м предприятием для обезвреживания НШ; Q_i – среднее плечо перевозок продукции с i -го предприятия-субподрядчика i -му потребителю; D_i – 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 x_{ij} , x_{ij}^* , x_{ij}^* , когда функционал (критерий оптимизации) достигает максимального значения. Данная задача может быть решена с помощью математического аппарата частично-целочисленного линейного программирования большой размерности [5] На рис.

З 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 обезвреживанию, которое запишем в следующем виде . (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.