



УДК 630*36.004:518.5

А.В. Воронин

Воронин Анатолий Викторович родился в 1959 г., окончил в 1983 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и кибернетики, первый проректор ПетрГУ. Имеет более 80 печатных работ в области математического моделирования систем управления в лесопромышленном комплексе.



ПРИКЛАДНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛПК

Предложена экономико-математическая модель верхнего уровня для решения задачи планирования работы группы основных производств ВИС ЛПК. Рассмотрены прикладные задачи, связанные с выбором технологий лесозаготовок, транспортировки, переработки древесины, развития производственной базы и инфраструктуры.

Ключевые слова: лесопромышленный комплекс, ВИС, транспортно-производственные задачи, планирование и управление материальными потоками, экономико-математические модели.

Рациональное использование материальных ресурсов и эффективная организация материальных потоков – важнейшие задачи в управлении и планировании деятельности вертикально-интегрированных структур (ВИС) ЛПК. Их решение позволяет использовать экономические методы при организации взаимодействия предприятий ВИС ЛПК на основе расчета оценок эффективности работы, определения размера платы за пользование ресурсами и оценок сырьевых ресурсов, контролируемых предприятиями ВИС. Необходимо организовать использование общих материальных ресурсов ВИС таким образом и в таких объемах, чтобы не только удовлетворялись потребности в настоящее время, но и обеспечивалось сохранение и воспроизводство их для использования в будущем.

Наиболее актуальными задачами, стоящими перед ВИС ЛПК, являются организация рационального размещения и функционирование системы обеспечивающих предприятий и производств, оптимизация управления межрегиональными, региональными и внутренними материально-

транспортными потоками. В процессе планирования требуется решить комплекс взаимосвязанных многоэтапных транспортно-производственных задач (МТПЗ), основу которых составляют задачи двух типов:

баланса и распределения ресурсов (производственные компоненты);
оптимизации транспортных потоков (транспортные, потоковые компоненты).

Математические модели и методы решения задач, обсуждаемых в статье, представлены в работах [1, 3, 4].

Настоящая статья служит продолжением работы [2], в ней рассмотрены прикладные задачи планирования и управления предприятиями ВИС, связанные с выбором технологий лесозаготовок, транспортировки, переработки древесины, развития производственной базы и инфраструктуры ВИС ЛПК. Первоначально рассматривается общая задача планирования работы группы основных производств ВИС ЛПК и формулируется математическая модель верхнего уровня. Далее приводятся варианты МТПЗ, связанные с планированием деятельности лесозаготовительных (ЛЗП) и лесоперерабатывающих (ЛПП) предприятий ВИС ЛПК.

Общая схема формирования МТПЗ ВИС ЛПК

Рассмотрим общую схему формирования МТПЗ для задачи планирования работы группы основных производств ВИС ЛПК, включая все фазы производства от заготовки древесины до изготовления конечной продукции (гофротара, бумажные мешки, тетради, обои, фанера, мебель и др.) и доставки потребителю.

Модели транспортной задачи и планирования производств чередуются. Считая транспортные потоки однородными, рассмотрим комплекс задач планирования для ВИС ЛПК, включающий совокупность предприятий:

m_1 – заготовителей древесины;

m_2 – по рубке технологической щепы;

m_3 – по варке целлюлозы;

m_4 – по производству картона;

m_5 – по изготовлению гофротары в объемах y^1, y^2, y^3, y^4 и y^5 ;

m_6 – заказчиков, связанных пятью транспортными задачами:

вывозки древесины (переменные x_{ij}^1);

доставки технологической щепы (переменные x_{ij}^2);

транспортировки целлюлозы (переменные x_{ij}^3);

перевозки картона (переменные x_{ij}^4);

доставки готовой продукции потребителям (переменные x_{ij}^5).

Если объемы выпуска продукции предприятий задаются значениями $y_i^1 (i = 1, \dots, m_1)$, $y_i^2 (i = 1, \dots, m_2)$, ..., многоэтапная транспортно-

производственная задача может быть записана как задача максимизации дохода комплекса производств с учетом транспортных расходов:

$$\sum_{q=1}^5 (\sum_{i=1}^{m_q} c_i^q y_i^q - \sum_{i=1}^{m_q} \sum_{j=1}^{m_{q+1}} \sigma_{ij}^q x_{ij}^q) \rightarrow \max;$$

$$\sum_{j=1}^{m_q} x_{ij}^q = \alpha_i^q y_i^q, \quad i = 1, \dots, m_q; \quad q = 1, \dots, 5$$

(уравнения баланса доставки и переработки продукции каждого производственного этапа);

$$\sum_{i=1}^{m_{q+1}} x_{ij}^q = y_j^{q+1}, \quad j = 1, \dots, m_{q+1}; \quad q = 1, \dots, 4$$

(уравнения баланса отгрузки и получения продукции производственных этапов);

$$\sum_{i=1}^{m_5} x_{ij}^5 \geq b_j^6, \quad j = 1, \dots, m_6$$

(требование обеспечения потребителей готовой продукцией);

$$d_i^q \leq y_i^q \leq D_i^q, \quad i = 1, \dots, m_q; \quad q = 1, \dots, 5$$

(учет границ производственной мощности предприятий всех уровней переработки);

$$x_{ij}^q \geq 0; \quad i = 1, \dots, m_q; \quad j = 1, \dots, m_{q+1}; \quad q = 1, \dots, 5.$$

Здесь c_i^q – доход от производства единицы продукции предприятия $i = 1, \dots, m_q$ фазы переработки $q = 1, \dots, 5$;

σ_{ij}^q – затраты транспортировки единицы передела $q = 1, \dots, 5$;

b_j^6 – требуемые объемы готовой продукции;

d_i^q, D_i^q – нижняя и верхняя границы;

α_i^q – коэффициент объема выработки продукции предприятиями.

Представленная модель является моделью верхнего уровня планирования и управления ВИС ЛПК. Положение данной модели в классе МТПЗ для ВИС ЛПК характеризуется наибольшей степенью агрегации ее параметров и неизвестных переменных. Структура класса МТПЗ позволяет наращивать и усложнять данную модель или ее части, дополняя их более детализированными транспортными и/или производственными модулями, соответствующими реальным производственным процессам. Рассмотрим ряд примеров прикладных задач для планирования работы предприятий ВИС ЛПК.

Базовая линейная транспортно-производственная задача

Базовой транспортно-производственной моделью размещения лесозаготовительных (ЛЗП) и лесоперерабатывающих (ЛПП) предприятий применительно к ВИС ЛПК с учетом затрат перевозки сырья является хорошо знакомая транспортная задача в сетевой или матричной постановке [5]. В этой задаче учитываются имеющиеся (без возможного расширения) мощности ЛЗП, в предположении однородности технологии лесозаготовок или лесопереработки и структурных свойств сырья. Не учитываются также транс-

портные средства, используемые для перевозки сырья. В результате получается транспортная задача, для решения которой можно использовать весьма эффективные методы [5].

Решая задачу, можно получить:

рекомендуемые объемы рубок по каждому ЛЗП в пределах производственных мощностей;

рекомендуемые маршруты и объемы перевозки лесоматериалов – потоки по дугам графа, не превосходящие пропускную способность маршрута;

транспортные оценки пунктов заготовки ЛЗП и пунктов потребления – лесоперерабатывающих предприятий региона, которые отражают затраты на перевозку лесопродукции потребителям региона и являются объективными оценками размещения производств в регионе;

транспортные оценки маршрутов перевозки, которые можно использовать для расчета экономической эффективности ремонта и строительства лесовозных дорог, приобретения дополнительных транспортных средств или других способов повышения пропускной способности дорог;

эффективность строительства новых транспортных маршрутов.

Полученные двойственные оценки служат содержательным и обоснованным средством расчета дифференциальных показателей, необходимых для выравнивания условий хозяйствования и выработки стратегии развития лесозаготовительных предприятий ВИС ЛПК.

Однако данная модель не может адекватно описать сложные производственные процессы в ЛПК, поэтому практический интерес представляют варианты обобщения этой задачи, исследованные автором.

1. Многопродуктовая транспортно-производственная задача отличается от базовой отказом от предположения об однородности потоков лесосырья. Поскольку технологии лесозаготовок и комплексной переработки древесины исключают заготовку одного вида сырья, возникает модель, в которой транспортные потоки разделяются по его видам.

2. Вариантная транспортно-производственная задача основана на предположении о возможности выбора лесозаготовительными и лесоперерабатывающими предприятиями нормативов выработки и потребления лесосырья. Действительно, ЛЗП располагают возможностью варьировать участки лесозаготовок, различающиеся структурой лесосеки по сортам и породам древесины, и выбирать виды рубки, которые влияют на выход лесопродукции. В модели используется понятие технологии, определяемой рядом параметров, среди которых производительность машин, оборудования и персонала, затраты на заготовку 1 м^3 древесины и структура получаемого сырья (доля древесины различных пород и определенного качества в единице заготовленных круглых лесоматериалов). Цель этой задачи – поиск оптимального сочетания технологий предприятий ЛПК в целом.

3. Актуальность задачи реконструкции и строительства предприятий связана с тем, что ВИС как единая экономическая система имеет возмож-

ность распределять капиталовложения в инфраструктуру производственных мощностей. Таким образом, в целевой функции появляются нелинейные компоненты, а задача приобретает свойства задачи размещения предприятий.

4. Используя лесовозные дороги, построенные 20 ... 30 лет назад, ВИС ЛПК должна строить и новые дороги. Транспортная задача при этом становится нелинейной.

5. ВИС ЛПК располагает финансовыми средствами для технического перевооружения парка транспортных средств (ТС). В результате появляется принципиально новая возможность выбора и специализации ТС для выполнения тех или иных хозяйственных операций. Задача усложняется по целому ряду причин. К ним относятся:

необходимость сопоставления эксплуатационных затрат по использованию новой техники и расходов на ее приобретение;

ограничения на объемы перевозки с использованием наиболее эффективных ТС;

требования учета затрат, связанных с возможной перевалкой грузов.

Рассмотрим некоторые из перечисленных вариантов задачи.

Многопродуктовая транспортно-производственная задача

В данной задаче потоки лесосырья неоднородны: лесопильное предприятие интересуется исключительно пиловочником, фанерное – кряжи, целлюлозно-бумажное – балансы.

Транспортные потоки разделяются по видам перевозимого сырья, поэтому данная МТПЗ характеризуется группой транспортных модулей, объединенных объемами лесозаготовок. Другая группа ограничений, связывающих транспортные задачи, определяется пропускными способностями маршрутов перевозки сырья.

Основная цель решения этой задачи – найти оптимальное соответствие поставщиков древесины и ее потребителей с учетом требуемой структуры древесного сырья, транспортных затрат на перевозки различных видов древесины, а также экономических оценок технологий заготовки (включая использование специализированной техники, видов рубок) и структуры лесных ресурсов.

В результате решения данной задачи будут получены:

рекомендуемые интенсивность использования технологий и общие объемы лесозаготовок по каждому предприятию;

закрепление поставщиков сырья за потребителями;

маршруты и объемы перевозок древесины каждого вида;

оценки отдельных технологий предприятия и пунктов производства в целом;

транспортные оценки маршрутов перевозок отдельно по каждому виду сырья.

Вариантная транспортно-производственная задача

В данном варианте ЛЗП и ЛПП имеют возможность выбора в определенных пределах продуктивного вектора. Действительно, ЛЗП могут варьировать участки рубки, различающиеся породно-сортовой структурой лесосечного фонда, а также выбирать виды рубок леса (сплошная, проходная, санитарно-выборочная и пр.), чтобы влиять на выход сортиментов.

В зависимости от породного состава, возраста и прочих характеристик древостоев, видов рубок, состояния техники, почвенно-грунтовых условий и инфраструктуры каждое лесозаготовительное предприятие использует свои технологии. С точки зрения математической модели, технология характеризуется рядом наиболее значимых параметров, среди них производительность машин, оборудования и персонала, затраты на заготовку 1 м^3 , сортиментная структура и др.

Введем важное для дальнейшего изложения понятие технологии лесозаготовок. Ему соответствует конкретный вид рубки, набор используемых технических средств и т. д. (например, скандинавская, отечественная технология). «Наполнение» понятия технологии и затраты на заготовку определяют специалисты лесной отрасли.

В рассматриваемой задаче для каждого ЛЗП необходимо установить наиболее подходящие множества технологий и их интенсивности, обеспечивающие запросы потребителей, а транспортные потоки рассчитывать раздельно по видам заготавливаемого сырья. Сходная ситуация характерна и для ЛПП. К примеру, выбор продуктивного вектора предприятия ЦБП может быть обусловлен соотношением объемов балансов и пиловочника. Все это свидетельствует о возможности выбора технологий работы предприятий ЛПК, которые должны быть учтены в математических моделях.

В этой задаче не учитываются затраты, связанные с начальным обеспечением технологии, например с закупкой оборудования. Эти затраты отличаются от эксплуатационных тем, что осуществляются единовременно и не зависят от объема производства.

Задача реконструкции действующих и строительства новых предприятий (производств)

В рассматриваемом варианте учитываются имеющиеся мощности ЛЗП, а также возможности модернизации или реконструкции части предприятий и даже строительства новых объектов. Задача возникает в условиях, когда проведено обследование лесного фонда и инфраструктуры региона, подготовлены проекты развития производства. Обычно при этом известны возможное приращение проектной мощности предприятия, капиталовложения, необходимые для реализации проекта и ожидаемые эксплуатационные затраты.

Транспортная часть этой задачи аналогична предшествующей, при этом целевая функция должна отражать как затраты на заготовку и транспортировку сырья (пропорционально объемам), так и капиталовложения,

связанные с расширением или модернизацией производства. Капитальные (разовые) и текущие (пропорциональные объемам производства) затраты дисконтируются.

Решение этой задачи позволяет дополнительно получить:
перечень ЛЗП, рекомендуемых для реконструкции;
план распределения капиталовложений в предприятия ВИС ЛПК;
оценки перспективности разработки участков лесного фонда и соответствующие рекомендации по планированию стратегии развития лесозаготовок в ВИС ЛПК или лесопромышленном регионе.

Задача легко обобщается на большой период, что позволяет отнести ее к числу моделей перспективного развития ВИС.

Характеризуя рассматриваемую задачу как МТПЗ, необходимо отметить несколько более сложную структуру ее производственной части, которая определяется несколькими управляемыми факторами. В однопродуктовом варианте в состав этой задачи входит единственная транспортная компонента, в многопродуктовом – по числу видов древесного сырья.

Не составляет проблемы обобщение этой модели в случаях:
модернизации, реконструкции и строительства не только лесозаготовительных, но и лесоперерабатывающих предприятий;
выбора одного или нескольких вариантов из множества проектов строительства, реконструкции или модернизации предприятия ВИС ЛПК;
внедрения одной или группы новых технологий работы ЛЗП, которые потребуют строительства, реконструкции сооружений или приобретения новых технических средств и оборудования.

*Задача выбора транспортных средств перевозки продукции
с учетом ее перевалки*

В этой задаче учитываются только имеющиеся мощности ЛЗП. Среди управляемых факторов, кроме объемов и маршрутов, рассматриваются способ организации перевозок и используемый транспорт. Вывозка может осуществляться одним или несколькими транспортными средствами, поэтому целевая функция отражает затраты, связанные с погрузкой и перевозкой, а также перевалкой и разгрузкой древесины.

Решение этой задачи позволяет получить, кроме базовой, следующую информацию:

выбор транспортных средств для вывозки древесины по имеющимся маршрутам и определение объемов погрузки – выгрузки;
определение объемов и выбор пунктов перевалки древесины в ВИС ЛПК.

Решение задачи дает рекомендации по использованию определенных видов транспортных средств, выбору пунктов перевалки древесины, а также оценки экономических показателей эффективности транспортных средств. Несколько модифицируя условия задачи, можно получить весьма полезную информацию о целесообразности реконструкции или строительства новых транспортных магистралей.

Другой вариант этой задачи связан с оптимизацией заготовки и транспортировки древесины с учетом сезонности. Действительно, многие ЛЗП Севера вывозят древесину по зимним дорогам. При этом стоимость сезонной заготовки и доставки древесины может колебаться в широких пределах, что дает основание рассчитывать на значительный экономический эффект от внедрения задачи.

Рассмотренные задачи, как правило, характеризуют один-два этапа производства и один – транспортировки. Используя эти компоненты, можно формулировать более сложные задачи, добиваясь необходимого уровня адекватности реальным производственным процессам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов А.Ф. и др. Оптимизация в планировании и управлении предприятиями регионального лесопромышленного комплекса / А.Ф. Булатов, А.В. Воронин, В.А. Кузнецов и др. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – 228 с.
2. Воронин А.В. Многоэтапные задачи планирования и управления материальными потоками в вертикально-интегрированных структурах лесопромышленного комплекса // Лесн. журн. – 2003. – № 2-3. – С. 123–133. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Воронин А.В., Кузнецов В.А. Математические модели и методы в планировании и управлении предприятием ЦБП. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. – 256 с.
4. Воронин А.В., Шегельман И.Р. Интегрированные структуры в лесной промышленности. – СПб.: Изд-во СПбЛТА, 2003. – 160 с.
5. Романовский И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1977. – 352 с.

Петрозаводский государственный университет

Поступила 10.02.04

A.V. Voronin

Applied Transport-production Tasks of Planning Work of Forest-industrial Companies

Economic-mathematical model of upper level has been suggested for solving a task of work planning for main productions of vertical-integration structure of forest industry. Applied tasks related to selection of forest-harvesting technologies, transporting, wood processing, production basis and infrastructure development are considered.