

А.Н. Чубинский

А.А. Тамби

А.А. Федяев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ И
ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ
ПРОИЗВОДСТВ
Учебное пособие**

Санкт-Петербург

2013

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государ-
ственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

Кафедра технологии лесопиления и сушки древесины

А.Н. Чубинский, доктор технических наук, профессор

А.А. Тамби, кандидат технических наук, доцент

А.А. Федяев, кандидат технических наук, ассистент

Проектирование лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств.

Проектирование деревоперерабатывающих производств

Учебное пособие

Учебное пособие по выполнению практических работ для студентов,
обучающихся по направлению 250400 «Технология лесозаготовительных и
деревоперерабатывающих производств».

Допущено УМО по образованию в области лесного дела в качестве
лабораторного практикума для студентов ВУЗов, обучающихся по направ-
лению 250400 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатываю-
щих производств».

Санкт-Петербург

2013

Рассмотрено и рекомендовано к изданию научно-методическим советом Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

Ответственный редактор

А.Н. Чубинский.

Рецензенты

Кафедра механической технологии древесины Костромского государственного технологического университета (доктор технических наук, профессор **Угрюмов С.А.**).

Кандидат технических наук, доцент **А.П. Штембах** (ООО «Фаэтон»).

УДК 338.24

Чубинский А.Н. Проектирование лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств. Проектирование деревоперерабатывающих производств: учебное пособие / А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, А.А. Федяев. – СПб.: СПбГЛТУ, 2013 – 81 с.

ISBN

Подготовлено кафедрой технологии лесопиления и сушки древесины.

В учебном пособии изложено содержание практических работ, методика их выполнения, приведены справочные материалы, необходимые для выполнения работ по проектированию деревоперерабатывающих производств.

Библиогр. 10. Табл. 38. Ил. 22.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Анализ целесообразности проектирования производства древесных материалов на основе маркетинговых исследований.....	6
1.1 Общие положения.....	6
1.2 Древесные ресурсы.....	8
1.3. Основные виды продукции.....	10
1.4 Производство древесных материалов в России.....	23
1.5. Оптимальное распределение ресурсов.....	28
1.6 Практическая работа № 1.....	38
2. Проектирование технологии на графе. Выбор оборудования и его расчет.....	40
2.1. Проектирование технологического процесса в виде ориентированного графа.....	40
2.2 Выбор оборудования.....	44
2.3 Расчет оборудования.....	56
2.4. Оптимизация загрузки оборудования.....	61
2.5. Практическая работа № 2.....	64
3. Разработка схем организации рабочих мест. Расчет производственных площадей.....	65
Практическая работа № 3.....	70
4 Разработка плана цеха с расположением оборудования.....	71
Практическая работа № 4.....	73
5 Классификация производственных зданий и сооружений. Требования к ним. Генеральный и ситуационные планы.....	74
Практическая работа № 5.....	75
Библиографический список.....	80

Введение

Вопросы проектирования объектов капитального строительства лесопромышленного назначения изучаются на факультетах механической технологии древесины и лесоинженерном и имеют принципиальные отличия, вызванные разными предметами и условиями труда.

Дисциплина «Проектирование лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» включает в себя два модуля: «Проектирование лесозаготовительных производств» и «Проектирование деревоперерабатывающих производств». В настоящем учебном пособии изложены содержание и последовательность выполнения практических работ по второму модулю «Проектирование деревоперерабатывающих производств».

Современный уровень развития науки и техники предъявляет особые требования к проектированию промышленных предприятий, к срокам и качеству выполнения проектных работ, от которых во многом зависят эффективность производства и темпы научно-технического прогресса.

При проектировании решается комплекс разнородных технических, экономических и социальных задач, при этом учитывается, что по уровню техники и технологии, инфраструктуре проектируемое предприятие должно превосходить передовые действующие производства.

В свете этого, специалист в области проектирования должен не только хорошо владеть знаниями сегодняшнего дня, но и умением прогнозировать развитие своей отрасли и смежных отраслей экономики, глубоко понимать основные направления развития производства на длительную перспективу.

Повышение эффективности производства, увеличение объемов выпуска продукции и её конкурентоспособности, расширение заготовок и переработки древесины в районах Сибири и Дальнего Востока, комплексное и рациональное использование древесины, повышение производительности

сти труда, создание принципиально новых технологических процессов и производств - решение этих задач требует напряженного труда от работников всех категорий, в том числе и от проектировщиков.

Для ускорения темпов научно-технического прогресса необходимо сокращать сроки проектирования, что возможно лишь при условии моделирования технологических процессов, функционирования предприятия в целом, внедрения САПР.

Развитие современного подхода к проектированию требует также знания специальных программ, позволяющих прогнозировать работу предприятия в кратко- и долгосрочной перспективе, что позволит рационально использовать имеющиеся производственные мощности и ресурсы.

Целью учебного пособия является оказание помощи студентам в выполнении практических работ, предусмотренных учебной программой дисциплины.

1 Анализ целесообразности проектирования производства древесных материалов на основе маркетинговых исследований

1.1 Общие положения

Целесообразность строительства нового, реконструкции, модернизации действующего производства осуществляется на основе анализа рынков продукции, намечаемой к выпуску, и сырья.

Исследование рынка направлено, в первую очередь, на обоснование конкурентных преимуществ товара (рис. 1) путем изучения как конъюнктуры товарного рынка, так и коммерческой деятельности участников рынка: покупателей и производителей. Определение конкурентных преимуществ товара строится на базе принятых (ой) стратегий конкуренции (рис. 2), предусматривающих при проектировании производства:

- выпуск продукции, соответствующей запросам потребителя;
- углубление переработки сырья и широкий ассортимент продукции на его основе в соответствии с потребностями целевых рынков;
- применение технологий, оборудования, структуры управления, кадрового потенциала и т.п., обеспечивающих снижение издержек на производство продукции;
- обоснование производственной мощности предприятия как на основе спроса на продукцию, так и с учетом наличия сырьевых ресурсов и т.д.

Как правило, маркетинговые исследования рынка древесных материалов (пиломатериалов, фанеры, древесных плит из измельченной древесины, столярных плит, клееных щитов из цельной древесины), во многих случаях являющихся товарами-заменителями, включают:

- техническое описание продукции с указанием сортов, сортообразующих пороков и дефектов, области ее применения и конкурентных преимуществ;
- цены на продукцию и основные ценообразующие факторы;
- анализ лесосырьевой базы в регионе размещения производства;
- сравнительный анализ эксплуатационных свойств товаров-заменителей и основного продукта;
- перечень потребителей продукции по странам и регионам, объемы потребления по сортам, с указанием специфических требований;
- перечень производителей-конкурентов по странам и регионам, объемы производства по сортам в натуральном и денежном выражении;
- определение потенциала и емкости сегмента рынка.

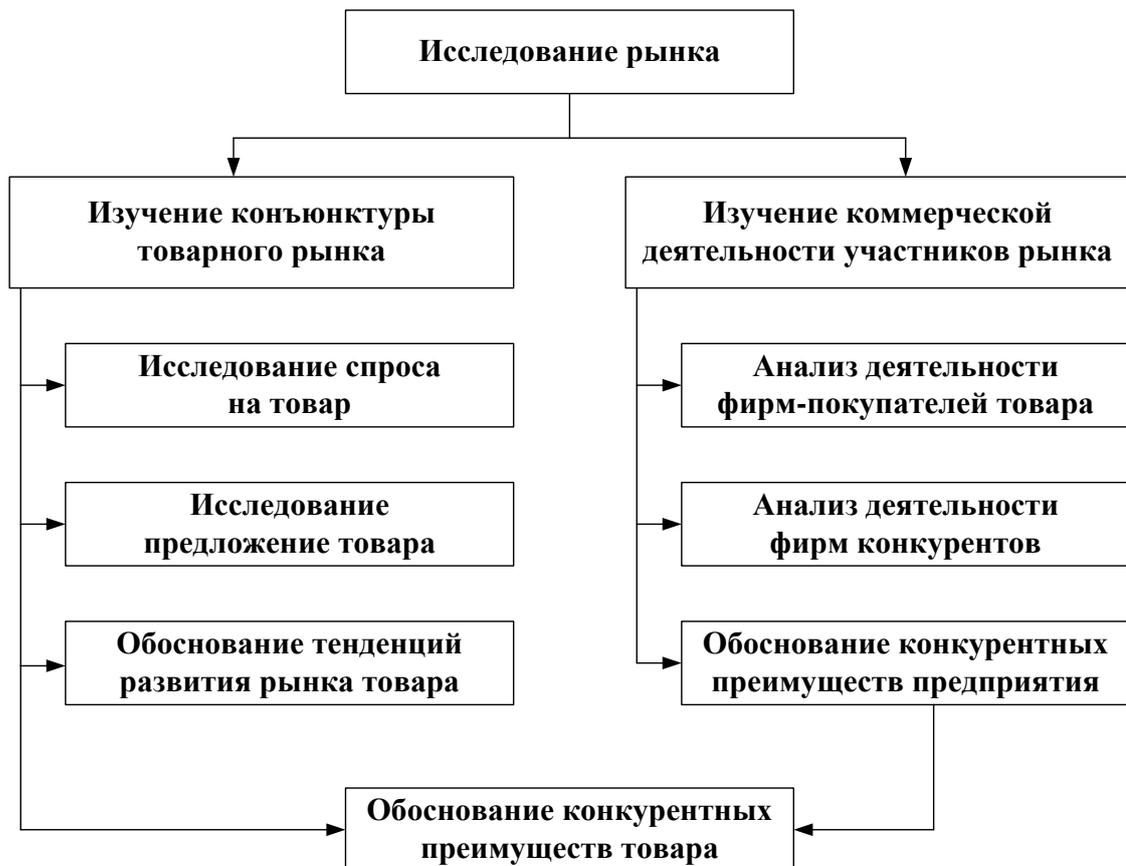


Рис. 1 Алгоритм исследования рынка

1.2 Древесные ресурсы

Сырьем для производства пиломатериалов являются круглые лесоматериалы хвойных пород древесины (табл. 1), для изготовления фанеры, преимущественно березовые фанерные кряжи. Древесные плиты из измельченной древесины производят из древесных частиц, полученных из технологической щепы, являющейся в свою очередь, продуктом, получаемым из отходов лесопиления и фанерного производства, а также не востребуемых в лесопилении, фанерном и целлюлозно-бумажном производстве круглых лесоматериалов.

Потенциальная экономически доступная ресурсная база России для производства древесных материалов по разным оценкам составляет от 250 до 350 млн. м³ древесины из общей годовой расчетной лесосеки, оцениваемой в объеме от 400 до 600 млн.м³ (табл. 2).



Рис. 2 Стратегии конкуренции

Таблица 1

Физико-механические свойства хвойных пород древесины

Порода древесины	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии вдоль волокон, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при растяжении вдоль волокон, МПа	Прочность при скалывании, МПа	Модуль упругости, ГПа	Биостойкость (потеря массы древесного образца, %, от воздействия <i>Coniofora puteana</i>)	
							Ядро	заболонь
Лиственница (<i>Larix spp</i>)	640	56,7	98,5	119,5	8,7	13,8	-	-
Лиственница (<i>Larix sibirica</i>)	660	61,5	97,8	120,5	14,9		23,30	32,15
Сосна (<i>Pinus spp</i>)	470	39,6	71,8	84,1	6,2	11,9	-	63,80
Ель (<i>Picea spp</i>)	450	39,0	70,3	70,3	6,3	9,3	-	-
Пихта (<i>Abies spp</i>)	380	34,4	60,3	65,6	5,8	8,7	-	-

Таблица 2

Общие и доступные к эксплуатации лесные ресурсы Российской Федерации и Федеральных округов, млн. м³

Показатели	Российская Федерация	Центральный	Северо-Западный	Южный	Приволжский	Уральский	Сибирский	Дальневосточный
Общий запас леса	81866,7	3699,4	9907,6	707,4	5308,2	7693,4	33650,6	20899,4
Годичный прирост	970,4	70,5	130,1	10,1	106,0	93,1	353,7	207,1
Расчетная лесосека	553,5	34,0	102,7	1,3	57,1	61,5	204,0	92,9
Расчетная лесосека, возможная	437,5	34,0	95,4	1,3	57,1	49,8	145,4	54,5
Рубки ухода	35,0	8,4	5,2	1,2	8,5	5,0	5,0	1,7
Общий расчетный объем возможных лесозаготовок	472,5	42,4	100,6	2,5	65,6	54,0	150,4	56,2

1.3. Основные виды продукции

В мировой практике к основным древесным конструкционным материалам относят: пиломатериалы, фанеру, классические древесно-стружечные плиты, плиты из крупномерных ориентированных частиц (OSB), древесноволокнистые плиты. Классификация основной продукции деревоперерабатывающих производств представлена на рис. 3 и в табл. 3,4. Сравнительные характеристики свойств основных пород древесины, древесных материалов, объемы их производства и экспорта представлены в табл. 5 - 13.

Пиломатериалы изготавливают из древесины хвойных и лиственных пород. В зависимости от размеров и формы поперечного сечения основные виды пиломатериалов производят в виде досок (ширина в два и более раз превышает толщину), брусков, у которых ширина меньше двойной толщины, и брусьев с шириной и толщиной более 100 мм. Брусья могут быть двух-, трех- или четырехкантными по числу пропиленных сторон.

Пиломатериалы классифицируют по породе древесины, сорту (количеству сортообразующих пороков), углу наклона волокон к кромке (радиальные и тангентальные) наличию обзола (обрезные и необрезные), а также по размерам в соответствии с ГОСТ 24454 и 2695. Толщина хвойных пиломатериалов от 16 до 250 мм, ширина от 75 до 275, длина от 1 до 6,5 м с установленной стандартами градацией.

Пиломатериалы классифицируют также по влажности: сырые, сухие транспортной влажности, сухие технологической (в зависимости от вида дальнейшей обработки) влажности; по виду обработки поверхности: нестроганные (поверхность обработана методом пиления), строганные (поверхность обработана методом цилиндрического или торцового фрезерования).

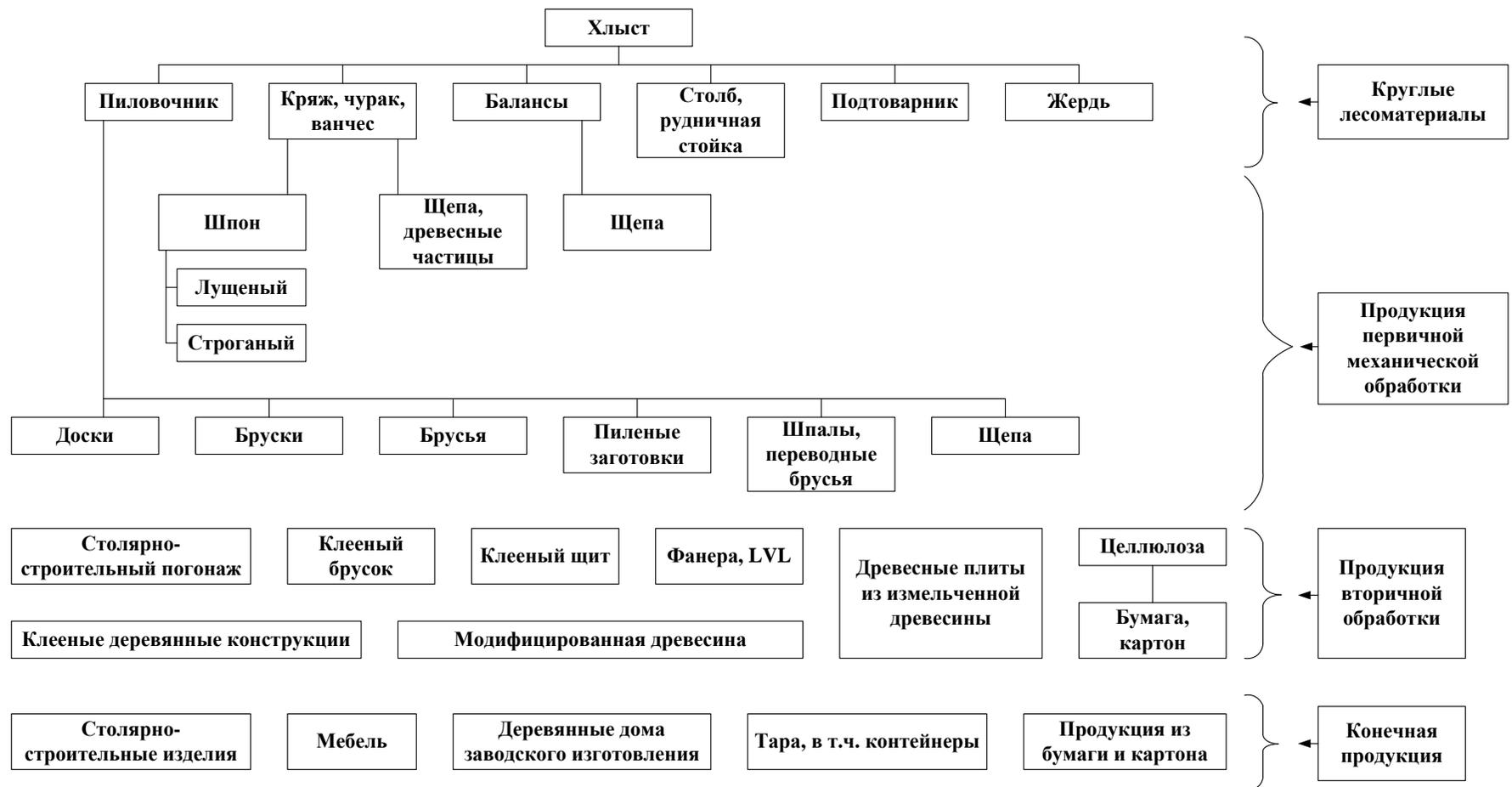


Рис. 3 Классификация основной продукции деревоперерабатывающих производств

Таблица 3

Продукция деревоперерабатывающих производств (из круглых лесоматериалов)

Сырьё	Продукция первичной механической переработки			
	Основная		Побочная	
	Наименование	Область применения	Наименование	Область применения
Пиловочник	Пиломатериалы: - доски - бруски - брусья - шпалы и переводные брусья - пиленые заготовки	Производство столярно-строительных изделий и погонажа, мебели; деревянное домостроение; строительство дорог	Щепа	Производство целлюлозы, древесных плит из измельченной древесины
Кряж, чурак, ванчес	Шпон: - лущеный - строганый	Производство фанеры, облагораживание плитных материалов	Древесные частицы, щепа	Производство древесных плит из измельченной древесины
Балансы	Щепа	Производство целлюлозы		

Таблица 4

Продукция деревообрабатывающих производств

Сырьё	Продукция	
	Наименование	Область применения
Пиломатериалы	Столярно-строительный погонаж (половой шпунт, вагонка, строганные пиломатериалы, плинтус, наличник и т.д.)	Строительство
	Клееный брус	Производство оконных и дверных блоков
	Клееные деревянные конструкции	Промышленное и гражданское строительство, строительство мостов
	Модифицированная древесина (уплотненная, антисептированная, термообработанная и др. виды)	Строительство, мебельное производство
	Строительные элементы из древесины (стеновые панели, арки, фермы, балки и т.п.)	Деревянное домостроение, строительство
	Паркет, паркетная доска, паркетный щит	Строительство
	Мебельные заготовки	Производство мебели
Шпон лущеный	Фанера, включая специальные виды	Строительство, в т.ч. деревянное домостроение; мебельное производство
	LVL (клееные конструкционные материалы из шпона)	Строительство, в т.ч. деревянное домостроение
Шпон строганный	Облицовочный слой для отделки заготовок	Мебель, столярно-строительные изделия
Щепа	Древесные частицы для плитных материалов	Производство ДСтП, ДВП, МДФ

Таблица 5

Свойства древесных материалов для деревянного домостроения

Наименование свойства	Ед. измер	Наименование материала							
		Пиломатериалы хвойные:			Фанера на водостойких клеях		ДСтП на водостойких клеях	OSB/3	MDF
		сосна	ель	лиственница	хвойная	лиственничная			
Толщина	мм	25-50	25-50	25-50	9-30	3-30	6-30	6-38	6-30
Плотность	кг/м ³	470	450	640	450-650	550-700	600 - 700	600 - 700	650-800
Прочность при изгибе	МПа	71,8	70,3	98,5	60-80	60-100	15-25	55-65	20-35
Прочность при скалывании*	МПа	6,2	6,3	8,7	1,0	березовая 1,5	0,14-0,75	0,26-0,50	0,50 - 0,70
Модуль упругости	ГПа	11,9	9,3	13,8	9,0-11,0	10,0-12,0	2,5-3,5	9,0-10,0	2,0-3,5
Стабильность размера по длине (диапазон изменения относительной влажности воздуха от 35 до 85 %)	%	0,1	0,1	0,1	0,06 - 0,07	0,06 - 0,07	0,25-0,3	0,25-0,3	0,25 - 0,3
Возможность применения для наружных работ	-	да	да	да	да	да	нет	да	нет
Сравнительная биостойкость	-	средняя	средняя	высокая	высокая	средняя	низкая	средняя	низкая

Примечание:

* - для фанеры: прочность при скалывании по клеевому слою после кипячения образцов в течение 1 часа; - для плит из измельченной древесины (ДСтП, OSB, MDF): прочность при отрыве поперек пласти (растяжение перпендикулярно пласти).

Таблица 6

Свойства древесных материалов для изготовления мебели

Наименование свойства	Ед. изм.	Наименование материала					
		Пиломатериалы			Фанеры листвен- ная, необлагоро- женная	ДСП ламини- рованная	MDF
		хвойные	лиственные				
			кольцесосудистые	рассеяннососудистые			
Толщина	мм	25-50	25-50	25-50	3-30	6-30	6-30
Плотность	кг/м ³	420	500	450	550-700	600-700	650-800
Прочность при изгибе	МПа	69-85	103-128	68-110	60-100	15-25	20-35
Технологичность сравнительная	-	средняя	низкая	средняя	высокая	высокая	средняя
Влаго- и атмосферо- стойкость сравнитель- ная	-	высокая	высокая	высокая	высокая	средняя	средняя
Архитектурно- художественная вы- разительность	-	высокая	высокая	высокая	средняя	низкая	средняя
Сравнительная био- стойкость	-	средняя	средняя	средняя	высокая	высокая	высокая
Токсичность	-	низкая	низкая	низкая	средняя	высокая	средняя

Таблица 7

Производство основных видов лесопродуктов в Российской Федерации

Показатели	Производство по годам					
	1980	1990	1995	2000	2005	2010
Вывозка древесины (млн. м ³)	328,0	304,0	134,9	167,9	170,0	173,6
Пиломатериалы (млн. м ³)	80,0	75,0	26,5	20,2	22,0	19,0
Фанера (млн. м ³)	1,5	1,6	0,9	1,5	2,6	2,7
Древесно-стружечные плиты (млн. м ³)	3,5	5,6	2,2	2,3	3,9	5,5
Древесно-волоконистые плиты (млн. м ³)	1,5	1,5	0,8	0,9	1,3	1,7
Целлюлоза товарная (тыс. т)	2 405	2 770	1 801	2 037	2 429	2 100
Бумага и картон (тыс. т)	6 998	8 325	4 070	5 140	7 126	7 750

Таблица 8

Производство конструкционных лесоматериалов в России

Наименование продукции	Производство по годам							
	1985	1990	1995	2000	2005	2007	2009	2011
Круглый лес, млн. м ³	337	304	116	168	185	207	178	182
Пиломатериалы, млн. м ³	80	75	26,5	20	20	23	18	25
Фанера, тыс. м ³	1594	1592	939	1484	2551	2763	2107	3003
Древесностружечные плиты (классические), тыс. м ³	4672	5568	2206	2332	4046	5261	4562	5605
Древесноволокнистые плиты, млн. м ²	453	483	234	278	378	477	296	428

Таблица 9

Структура объема отгруженной продукции (работ, услуг) Российской Федерации в 2008 г. (в процентах)

Обработка	По видам деятельности															
	Производство пищевых продуктов, включая напитки, и табака	Текстильное и швейное производство	Производство кожи, изделий из кожи и производство обуви	Обработка древесины и производство изделий из дерева	Целлюлозно-бумажное производство, издательская и полиграфическая деятельность	Производство кокса и нефтепродуктов	Химическое производство	Производство резиновых и пластмассовых изделий	Производство прочих неметаллических минеральных продуктов	металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	Производство машин и оборудования	Производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	Производство транспортных средств и оборудования	Прочие производства	производство прочих материалов и веществ, не включенных в другие группировки	
100	15,8	0,9	0,2	1,5	3,3	17,7	7,8	2,4	6	19,5	5,9	5,4	9	2,6	2	

Таблица 10

Среднегодовое потребление пиломатериалов и листовых древесных материалов в Российской Федерации

Направления использования	Пиломатериалы		Фанера		ДСП		ДВП	
	(тыс. м ³)	(%)						
Строительство	4 300,0	61,7	410,0	31,6	190,0	3,5	480,0	24,0
Ремонт зданий и сооружений	420,0	6,0	340,0	26,4	210,0	3,9	690,0	34,4
Производство мебели	730,0	10,5	195,0	15,0	4 910,0	90,0	595,0	29,7
Авто-, вагоно-, судо- и контейнеро-строение	1 010,0	14,5	150,0	11,6	10,0	0,2	24,0	1,2

Таблица 11

Душевое потребление основных лесоматериалов в ведущих лесопромышленных странах мира и в Российской Федерации

Страны	Пиломатериалы (м ³)	Древесные панели: фанера, ДВП, ДСП (м ³)	Бумага и картон (кг)
Российская Федерация	0,05	0,06	48,7
США	0,23	0,11	230,0
Китай	0,03	0,07	68,0
Япония	0,12	0,06	198,0
Германия	0,22	0,15	236,0
Швеция	0,66	0,15	275,0
Финляндия	0,79	0,11	346,0
Франция	0,18	0,08	176,0

Таблица 12

Экспорт основных видов лесопродукции из Российской Федерации

Лесопродукты	1990	2000	2005	2007	2008	2009	2010
Круглый лес (млн. м ³)	15,0	30,8	48,3	49,3	36,7	21,7	21,2
Пиломатериалы (млн. м ³)	7,1	7,8	14,8	17,3	15,3	16,2	17,7
Фанера (тыс. м ³)	394,0	974,0	1527	1503	1326	1334,0	1512,0
Древесно-стружечные плиты (тыс. м ³)	115,0	135,0	242,0	479,0	411,0	496,0	490,0
Древесно-волоконистые плиты (тыс. м ³)	43,0	299,0	380,0	455,0	402,0	411,0	277,0
Целлюлоза (тыс. т)	389,0	1660	1946	1 900	2 035	1702,0	1650
Бумага и картон (тыс. т)	906,0	2 293	2 737	2 590	2 635	2595,0	2538

Таблица 13

Товарная структура экспорта и импорта (доля в общем объеме производства России, %)

	Продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье		Продукция топливно-энергетического комплекса		Продукция химической промышленности, каучук		Древесина и целлюлозно-бумажные изделия		Металлы и изделия из них		Машины оборудование и транспортные средства	
	экспорт	импорт	экспорт	импорт	экспорт	импорт	экспорт	импорт	экспорт	импорт	экспорт	импорт
Центральный федеральный округ	27,2	49,9	51,2	18,4	19,3	65,7	6,1	57,9	20,2	45,2	34,7	61,5
Северо-Западный федеральный округ	12,8	29,6	9,3	4,9	13,2	13,1	35,2	24,1	11,8	15,4	10,2	16,6
Южный федеральный округ	33,5	5,8	1,6	15,0	4,8	2,9	1,6	3,8	4,5	10,8	7,2	3,5
Приволжский федеральный округ	5,8	2,5	10,0	28,4	39,4	4,3	7,8	2,6	6,3	8,7	21,5	5,3
Уральский федеральный округ	2,4	1,3	18,5	16,8	5,7	1,7	2,8	3,4	24,9	6,4	6,9	3,8
Сибирский федеральный округ	4,8	2,6	2,2	12,5	10,6	8,0	31,3	1,4	25,0	3,3	7,3	2,8
Дальневосточный федеральный округ	3,6	3,0	2,9	3,4	0,2	1,7	11,6	2,0	1,5	3,5	1,0	3,4

К основным сортообразующим порокам и дефектам пиломатериалов относят: сучки, трещины, ненормальные окраски и гнили, дефекты обработки, включая несоответствие точности размеров стандартам, и другие.

Фанеру изготавливают путем склеивания 3-х и более слоев лущеного шпона. В зависимости от условий эксплуатации и функционального назначения фанеру производят: общего назначения (ГОСТ 3916) повышенной водостойкости на фенолоформальдегидных клеях (ФСФ) и водостойкую на карбамидоформальдегидных клеях (ФК), авиационную, облицованную строганым шпоном, декоративную (облицованную пленками на основе бумаг, пропитанных смолами), бакелизованную, для щитовой опалубки, для авто-, вагоно- и контейнеростроения. Фанеру изготавливают как из листового шпона, преимущественно березового, так и из хвойного (преимущественно ели, сосны, лиственницы); фанеру считают изготовленной из той породы древесины, из которой изготовлены её наружные слои.

Свойства фанеры и других клееных материалов из шпона зависят от многих влияющих факторов: породы древесины, вида клея, конструкции пакета шпона (его слойности и направления волокон в смежных слоях шпона), способа нанесения клея на шпон, параметров режима склеивания, способа и материалов для облагораживания поверхности и др.

Для каждого вида фанеры регламентированы свои размерные характеристики, так толщина всех марок фанеры находится в диапазоне от 1,0 до 30,0 мм, а фанерных плит - от 8 до 78 мм. Основные форматы фанеры: 1525x1525мм, 1830x1220мм, 2440x1220мм, 1525x3050мм.

Большеформатная фанера, один из размеров (по длине или ширине) которой превышает 1525 мм, в большей степени соответствует требованиям строительного модуля (600 мм) и широко востребована в строительстве.

У фанеры общего назначения сорт зависит от качества и количества сортообразующих пороков и дефектов у наружных слоев шпона (лицевого

и обратного). Сорта фанеры обозначают двумя разделенными символами: E/E, I/I, II/II, III/III, IV/IV, E/I, I/II, II/III, III/IV, E/II, I/III, II/IV, E/III, I/IV - для лиственной фанеры и такими же символами, но с индексом "х" (например Ix/IIx) - для хвойной.

Фанеру общего назначения разделяют не только по сортности, но и по содержанию свободного формальдегида (классы эмиссии E1 и E2), степени механической обработки поверхности: нешлифованная (НШ), шлифованная с одной стороны (Ш1), с двух сторон (Ш2). Требования к шероховатости поверхности (степени разрыхленности поверхности древесины) зависят не только от способа обработки поверхности, но и от породы древесины, из которой изготовлена фанера.

Для нешлифованной фанеры лиственных пород один из показателей, характеризующих шероховатость поверхности R_m , должен быть не более 200 мкм, для хвойной - не более 320 мкм, а шлифованной - не более 100 и 200 мкм, соответственно.

Древесные плиты из измельченной древесины классифицируют следующим образом:

- древесностружечные плиты (particleboard), ДСтП;
- древесностружечные плиты с ориентированными крупномерными частицами (oriented strand board), OSB;
- древесноволокнистые плиты (fiberboard), ДВП:
 - мягкие, ДВПм;
 - средней плотности (medium density), ДВПсп (MDF);
 - твердые, ДВПт.

ДСтП общего назначения (ГОСТ 10632) изготавливают на карбамидоформальдегидных смолах с классом токсичности E1 и E2, марок П-А и П-Б, с обычной и мелкоструктурной поверхностью, шлифованные и нешлифованные. Плиты повышенной водостойкости в нашей стране, как

правило, изготавливают с применением фенолоформальдегидных смол. Облицованные пленками на основе терморезистивных полимеров ДСтП выпускают трех групп качества А, Б, У (ГОСТ Р52078).

Древесноволокнистые плиты в соответствии с ГОСТ 4598 в зависимости от плотности определяют следующим образом:

- мягкие (100 – 400 кг/м³);
- полутвердые (400 - 800 кг/м³);
- твердые (не менее 800 кг/м³);
- сверхтвердые (950 кг/м³).

По Европейскому стандарту EN 622 производят плиты средней плотности (MDF), которые находят сегодня широкое применение в производстве мебели, вытесняя древесностружечные плиты, в первую очередь, для производства фасадных элементов, т.к. MDF позволяют выполнять на их поверхности по пласти торцовое фрезерование, формируя различное объемное изображение, что повышает архитектурно-художественную ценность изделия, её потребительские свойства.

Древесностружечные плиты с ориентированными крупномерными частицами (OSB) изготавливают из древесных частиц толщиной 0,5 - 0,9 мм, шириной 6-40 мм, длиной до 180 мм (соотношение длины и ширины, как правило, 3 к 1 или 6 к 1).

В Европейском стандарте EN 300 OSB делят на 4 типа в зависимости от физико-механических свойств и влагостойкости:

OSB/1 - ограждающие панели общего назначения, используемые для изготовления встроенной мебели, эксплуатируемой в сухих условиях;

OSB/2 - несущие панели, эксплуатируемые в сухих условиях;

OSB/3 - несущие панели, эксплуатируемые во влажных условиях;

OSB/4 - несущие панели, эксплуатируемые в тяжелом режиме во влажных условиях.

Выпускают плиты форматом 1220 x 2440 мм, 1220 x 3660 мм, 915 x 1830 мм, соответствующим строительному модулю, толщиной от 6 до 38 мм. Наиболее востребованы плиты толщиной 10 -18 мм.

Выбор древесного материала (пиломатериала, фанеры, плиты) зависит от их функционального назначения, условий эксплуатации, а для этого необходимо знать основные показатели, характеризующие их качество: прочность при изгибе, модуль упругости при изгибе, прочность на отрыв поперек пласти (растяжение перпендикулярно пласти), атмосферо- и водостойкость, разбухание по толщине за 24 часа, точность формы и размеров. По большинству показателей, как видно из табл. 5, 6 древесностружечные плиты ДСтП проигрывают MDF и OSB.

Анализ производства, экспорта, импорта, потребления основных древесных материалов в России, древесных плит в Европе, Северной Америке и СНГ показывает, что при неуклонном росте их объемов производства (исключая годы кризиса) имеют место и тенденции снижения объемов производства ряда товаров на региональных рынках, например фанеры и ДСтП в Северной Америке, что характерно и для рынков внутри одной страны. Вот почему, анализ региональных рынков при проектировании предприятий крайне необходим.

Анализ мирового рынка древесных плит показывает две разные тенденции в его развитии, структура этого рынка в Европе и Северной Америке различны. Канада и США в отличие от Европы больше производят и потребляют фанеры при снижении в последние годы как производства, так и потребления классических древесностружечных плит (ДСтП).

Конкурируют между собой (являются товарами-заменителями) не фанера и OSB, а ДСтП и OSB в строительстве, MDF и ДСтП - в производстве мебели.

Последнее десятилетие в России (исключая годы кризиса) характеризовалось бурным развитием производства и экспорта фанеры, увеличением производства пиломатериалов, в первую очередь для экспорта, увеличились объемы производства древесностружечных плит преимущественно для внутреннего потребления. Было введено в строй несколько крупных и средних лесопильных предприятий, на многих фанерных предприятиях установлены новые производственные мощности, в том числе и для облагораживания фанеры. Развилось производство MDF.

1.4 Производство древесных материалов в России

Лесопильно-деревообрабатывающие и фанерные предприятия являются частью единого комплекса, перерабатывающего лесные ресурсы, и как иные производственные структуры их классифицируют по следующим признакам: размеру (объему) производства (крупные, средние, малые), широте производственного профиля (диверсифицированные и комбинированные), гибкости технологии, уровню применения ручного труда (автоматические, автоматизированные, механизированные) и другим.

Известно несколько подходов к делению лесопильно-деревообрабатывающих предприятий по их размеру (уровню концентрации, объему производства, производственной мощности), в основу одного из которых положены объем перерабатываемого сырья (пиловочника) и количество установленных лесопильных рам. Проф. Калитеевский Р.Е. классифицирует лесопильные производства на три группы: крупные, средние и малые. К крупным отнесены предприятия выпускающие более 125 тыс. м³ пиломатериалов в год (перерабатывающие свыше 250000 м³ пиловочника в год), к средним – от 40000 до 125000 м³ пиломатериалов и к малым от 2500 до 40000 м³. В соответствии с этой классификацией в сере-

дине первого десятилетия XXI века в России насчитывалось 13 крупных предприятий: ЗАО «Новоенисейский ЛХК», ОАО «Усть-Илимский ЛДЗ», ОАО «Лесозавод №25» (г. Архангельск), ОАО «Соломбальский ЛДК», ОАО «Онежский ЛДК», ОАО «Сыктывкарский ЛДК», ОАО «Свирь Тимбер» и др. с общим объемом выпуска немногим более 3,5 млн. м³ пиломатериалов в год т.е. около 17% производства пиломатериалов в России. Более трех четвертей продукции изготавливается на малых производствах (табл. 14). Основные объемы пиломатериалов вырабатываются на морально, а зачастую и физически устаревших лесопильных рамах. Медленными темпами идет их замена на современное бревнопильное оборудование: профилирующие агрегаты, ленточно- и круглопильные станки.

Мировое производство пиломатериалов составляет в последние десятилетия около 400 млн. м³ в год. В последние годы Россия выпускает пиломатериалов по разным оценкам от 25 до 35 млн. м³ в год.

Начиная с перехода на рыночные условия хозяйствования до сего времени, лесопиление в России отличается высокой степенью риска. Несмотря на относительно малую капиталоемкость оборудования по сравнению с другими производствами по механической обработке древесины, продукция лесопиления не обладает достаточной рентабельностью. Эти предприятия создают слишком малую добавочную стоимость, цена на пиломатериалы близка к цене на круглый лес.

Большинство лесопильных предприятий характеризуется низким уровнем глубины переработки древесины, малыми объемами производства сухих, строганых и клееных пиломатериалов, применением морально и физически устаревшего бревнопильного оборудования. Отсюда, низкие производительность труда и уровень рентабельности производства.

Таблица 14

Распределение лесопильных предприятий по объемам производства
по состоянию на 2001 год

Лесопильное предприятие с годовым объемом производства пиломатериалов, тыс. м ³	Количество предприятий		Объем производства пиломатериалов	
	шт.	%	тыс. м ³	%
до 5,0	20646	97,84	9448	52,2
5,1 – 10,0	230	1,09	1615	9,0
10,1 – 30,0	173	0,82	2867	16,0
30,1 – 100,0	46	0,22	2404	13,4
Более 100,0	7	0,03	1686	9,4

Большая часть лесопильных предприятий начала XXI века характеризуется:

- малым объемом производства пиломатериалов, соответствующих зарубежным стандартам, требованиям международного рынка по качеству и размерам пилопродукции, что сужает границы товарных рынков, приводит к необходимости продавать продукцию по низким ценам;

- большим объемам переработки сырья низкого качества, что снижает рентабельность лесопиления;

- крайне низкими объемами сушки пиломатериалов, что не только не позволяет повысить рентабельность лесопиления, но и приводит к потере качества пиломатериалов;

- низким техническим уровнем основных (более 63% установленных бревнопильных станков – лесопильные рамы) и вспомогательных (сортировка, хранение, упаковка) операций;

- отсутствием силовой сортировки пиломатериалов;

- малым использованием отходов для сжигания с целью получения тепловой и электрической энергии;

- отсутствием координации действий производителей пилопродукции и лесозэкспортеров, не отлажены механизмы взаимодействия между лесозаготовителями и переработчиками древесины;

- дефицитом квалифицированных кадров, в первую очередь в области маркетинг-менеджмента и управления качеством продукции.

Значительно лучше экономическая ситуация на предприятиях по производству фанеры и древесных плит из измельченной древесины, которые в отличие от лесопильных, характеризуются высоким средним уровнем концентрации, достигшим к 2007 году в фанерном производстве 100 тыс. м³ фанеры в год. Годовая мощность современных линий по изготовлению древесно-стружечных плит составляет до 500 тыс. м³. На 23 крупных (всего 66) фанерных предприятиях мощностью свыше 50 тыс. м³ фанеры в год в 2007 году выпущено более 2 млн. 700 тыс. м³ фанеры, т.е. около 90 % всего годового объема производства (в лесопилении 17%). В России действует 9 предприятий годовой мощностью более 100 тыс. м³ фанеры: ООО «Сыктывкарский ФЗ», ОАО «Фанплит», ООО «Пермский ФК», ЗАО «Фанком», ОАО «Усть-Ижорский ФК» и др.

В отличие от лесопиления объемы производства фанеры и древесных плит неуклонно росли.

Развитие форм организации труда, техники лесопиления в мировой практике, использование отечественными предприятиями зарубежного бревнопильного оборудования, совершенствование ассортимента продукции из древесины, в первую очередь клееных бруса и щита, низкая рентабельность производства сырых необработанных пиломатериалов изменяют подходы бизнеса к организации лесопильного производства, делая его все более диверсифицированным.

Лесопильные предприятия в начале XXI века развиваются по пути как прямой, так и обратной диверсификации, т.е. углубляют переработку древеси-

ны, производя столярно-строительный погонаж, клееный брус и клееный щит, полуфабрикаты для деревянных домов заводского изготовления, и создают собственные лесозаготовительные цехи с целью снижения транзакционных издержек. Эти инновации приводят к изменениям уровня концентрации производства, его организации и управления, повышению рентабельности.

Результаты экспертного опроса, проведенного в 2008 году Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академией имени С.М. Кирова совместно с ВАО «РЕСТЕК» показали, что, по мнению экспертов, 80% пиломатериалов в России целесообразно выпускать в диверсифицированном серийном производстве (мелко – 20%, средне – 25-30%, крупносерийном – 30-35%), оставшиеся 20% - в равных долях на предприятиях массового выпуска и индивидуальных (малого объема). Развитие крупных, как правило, рентабельных лесопильных производств сегодня затруднено в России вследствие больших капиталовложений и высоких затрат на доставку сырья из-за неразвитости дорожной сети и больших железнодорожных тарифов.

Серьезным тормозом в технологическом развитии деревоперерабатывающих производств является низкий уровень отечественного станкостроения. Наряду с созданием благоприятных условий для трансфера высокотехнологичного зарубежного оборудования путем снижения ввозных таможенных пошлин, целесообразно стимулировать инвестиционную активность лесопромышленников в развитии отечественного станкостроения, создания в России предприятий зарубежными фирмами по аналогии с автомобилестроением. Это актуально для всех деревообрабатывающих производств, в первую очередь для лесопиления, ибо его восстановление до уровня 80-х годов прошлого века требует увеличения объема производства почти в четыре раза.

1.5. Оптимальное распределение ресурсов

При проектировании новых и реконструкции действующих предприятий представляет интерес задача распределения ресурсов (сырья, материалов, оборудования, инструмента и т.д.) для изготовления тех или иных видов продукции.

При наличии соответствующих ресурсов C_1, C_2, \dots, C_m в определенном количестве b_1, b_2, \dots, b_m предприятие может изготовить продукцию $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$. Для изготовления единицы продукции Π_j необходимо a_{ij} единиц ресурса C_i ($i \in 1:m, j \in 1:n$). Известно, что реализация единицы продукции Π_j приносит прибыль U_j с учетом затрат на доставку сырья и материалов. Выпуск продукции Π_j ограничен спросом (наряд-заказами), т.е. Π_j вида продукции нужно не более, чем K_j единиц.

Задача формулируется следующим образом: какое количество X_j продукции вида Π_j нужно изготовить, чтобы реализовать максимальную прибыль?

Задача может быть решена средствами линейного программирования и состоит в определении максимального значения функции

$$L = \sum_{j=1}^n U_j X_j$$

при условиях:

$$1. a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1;$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

.....

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

$$\text{или } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i (i = \overline{1, m});$$

$$2. X_j \leq K_j (j = \overline{1, n})$$

$$3. X_j \geq 0 (j = \overline{1, l}; l \leq n)$$

Рассмотрим решение этой задачи на примере.

Предприятию необходимо изготовить фанеру двух видов (марок ФК и ФСФ) $П_1$ и $П_2$, для изготовления которых необходимы сырье, материалы и трудовые ресурсы (табл. 15).

От реализации 1 м³ продукции $П_1$ и $П_2$ предприятие получает прибыли 6 и 8 руб. соответственно.

Таблица 15

Ресурсы

Наименование ресурса	Норма расхода ресурса на 1 м ³ продукции		Общее количество ресурса
	$П_1$	$П_2$	
Сырье березовое, м ³	2,6	2,6	260
Смола фенолоформальдегидная, кг	-	90	2800
Смола карбамидоформальдегидная, кг	80	-	6000
Технологическая трудоемкость, чел.-ч	15	16	900

Запишем исходные условия.

Исходя из ограниченности ресурсов:

$$2,6X_1 + 2,6X_2 \leq 260,$$

$$0X_1 + 90X_2 \leq 2800,$$

$$80X_1 + 0X_2 \leq 6000,$$

$$15X_1 + 16X_2 \leq 900.$$

Отрицательным выпуск продукции не может быть, поэтому:

$$X_1, X_2 \geq 0.$$

Выпуск продукции ограничен спросом на рынке:

$$X_1 \leq 50; X_2 \leq 40.$$

Общая прибыль от реализации составит $L = 6X_1 + 8X_2$.

Известно, что задача линейного программирования при небольшом количестве неизвестных легко геометрически интерпретируется.

Решим задачу путем геометрической интерпретации. Для этого изменим знаки неравенств в системе управлений (1) на знаки равенств:

$$\begin{aligned} 2,6X_1 + 2,6X_2 &= 260, \\ 0X_1 + 90X_2 &= 2800, \\ 80X_1 + 0X_2 &= 6000, \\ 15X_1 + 16X_2 &= 900, \\ 1X_1 + 0X_2 &= 0, \\ 0X_1 + 1X_2 &= 0, \\ 1X_1 + 0X_2 &= 50, \\ 0X_1 + 1X_2 &= 40. \end{aligned} \tag{1}$$

и построим соответствующие прямые в декартовой системе координат (рис. 4).

Каждая прямая делит плоскость на две полуплоскости, координаты точек одной из них удовлетворяют исходному неравенству. Стрелками показаны полуплоскости, координаты точек которых удовлетворяют исходным неравенствам.

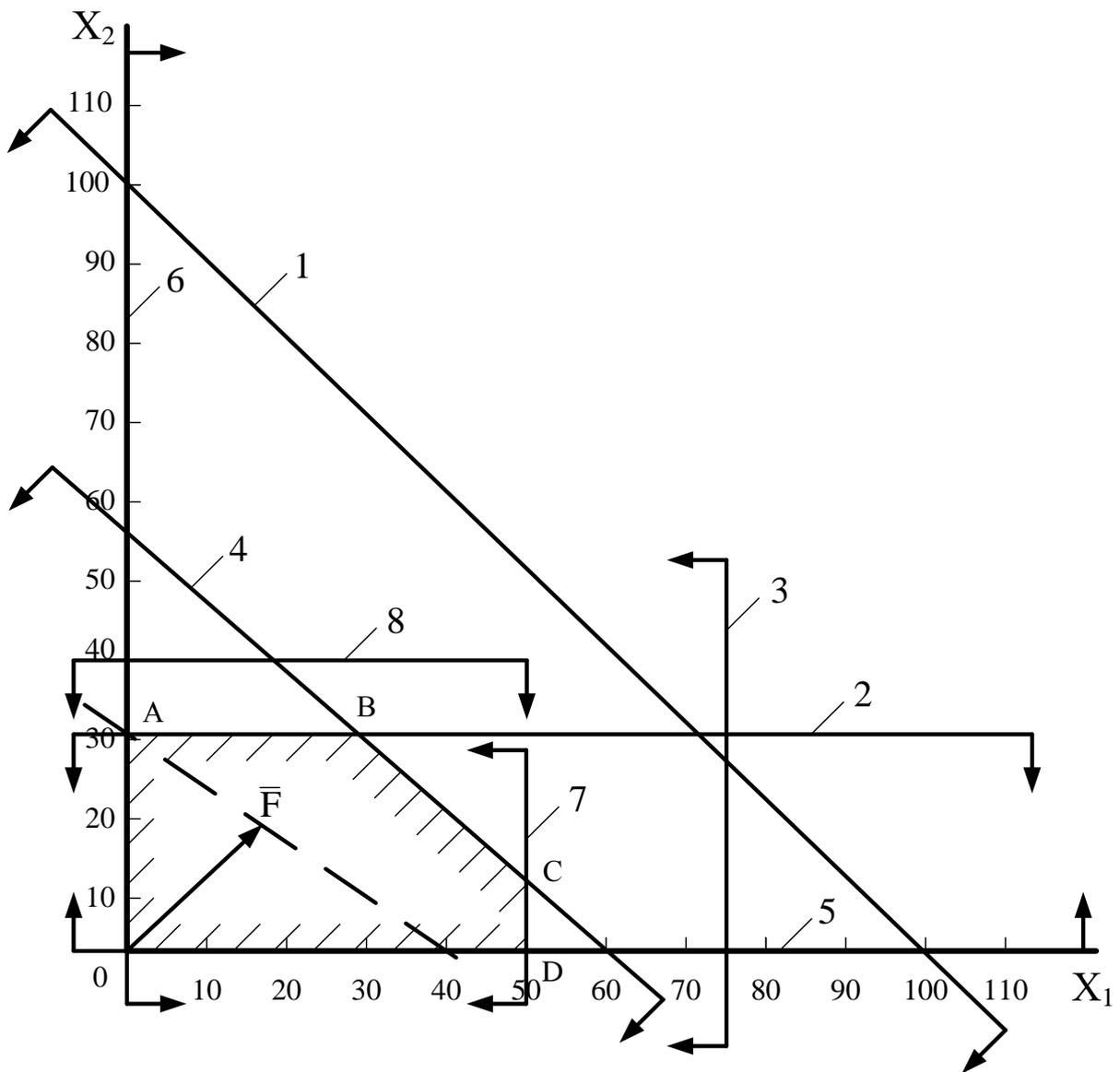


Рис. 4. Геометрическая интерпретация решения задачи линейного программирования

Часть плоскости X_1OX_2 , принадлежащая одновременно всем полуплоскостям (в нашем случае многоугольник $OABCD$), образует область допустимых решений. Координаты любой точки пятиугольника $OABCD$ удовлетворяют исходной системе неравенств. Следовательно, решение задачи находится в точке, принадлежащей многоугольнику $OABCD$, в которой функция L принимает максимальное значение. Для определения этой точки необходимо построить вектор \bar{F} (6, 8) и прямую $6X_1 + 8X_2 = l$, где l –

константа, при которой прямая $6X_1 + 8X_2$ имеет общие точки с многоугольником решений.

Примем $l = 240$ и построим прямую $6X_1 + 8X_2 = 240$. Перемещаем прямую $6X_1 + 8X_2 + 240$ в направлении вектора \bar{F} до пересечения с последней общей точкой с многоугольником $OABCD$, которой в данном случае является точка B . Координаты этой точки и являются решением нашей задачи. Их находят путем совместного решения уравнений пересекающихся прямых (2) и (4):

$$0X_1 + 90X_2 = 2800,$$

$$15X_1 + 16X_2 = 900,$$

отсюда $X_1 = 26,8 \text{ м}^3$, $X_2 = 31,1 \text{ м}^3$.

Итак, максимальная прибыль будет реализована при изготовлении фанеры марки ФК в объеме $26,8 \text{ м}^3$ и марки ФСФ – $31,1 \text{ м}^3$:
 $L = 6 \cdot 26,8 + 8 \cdot 31,1 = 409,6$ руб.

Использование геометрической интерпретации для решения задач линейного программирования возможно при числе неизвестных меньше трех. Поэтому для решения практических задач целесообразно пользоваться иным способом. В настоящее время наибольшее распространение получил симплекс-метод. Сущность симплекс-метода известна студентам из курса «Прикладной математики», а алгоритм метода включает следующие основные этапы:

1. Выражение целевой функции L через базисные переменные:

$$L = 6X_1 + 8X_2.$$

2. Проверка базисного решения на оптимальность.

Для получения базисного решения необходимо исходную систему неравенств (1) записать в следующем виде (2), введя дополнительные неизвестные:

$$\begin{aligned}
X_3 &= 260 - (2,6X_1 + 2,6X_2), \\
X_4 &= 2800 - (90X_2), \\
X_5 &= 6000 - (80X_1), \\
X_6 &= 900 - (15X_1 + 16X_2), \\
X_7 &= 50 - (X_1), \\
X_8 &= 40 - (X_2).
\end{aligned} \tag{2}$$

Для получения значений базисных переменных $X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$, необходимо приравнять нулю небазисные переменные X_1 и X_2 . Полученное таким образом решение называют базисным $(0, 0, 260, 2800, 6000, 900, 50, 40)$. Если в выражении целевой функции все коэффициенты отрицательны, то исходный базис является оптимальным. Из системы уравнений (2) определяется оптимальное базисное решение при $X_3 = X_4 = X_5 = X_6 = X_7 = X_8 = 0$, которое максимизирует целевую функцию. В том случае, если в целевой функции есть хотя бы один положительный коэффициент, то следует продолжить решение задачи.

3. Выбор из небазисных переменных той, которая способна при ее введении в базис увеличить значение L целевой функции.

В нашем случае наибольший вклад в увеличение L оказывает переменная X_2 . Введем ее в базис.

4. Вывод из базиса переменной.

В связи с введением в базис переменной X_2 из него следует вывести одну базисную переменную. Из базиса $(X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8)$ следует вывести ту из базисных переменных, в уравнении которой отношение свободного члена к коэффициенту при вводимой в базис переменной минимально:

$$260/2,6 = 100; 2800/90 = 31,1; 900/16 = 56,25; 40/1 = 40.$$

В нашем случае это переменная X_4 во 2-м уравнении системы. Второе уравнение системы (3) примет вид:

$$X_2 = 31,1 - \frac{1}{90} X_4. \quad (3)$$

5. Выражение остальных базисных переменных (X_3, X_5, X_6, X_7, X_8) и целевой функции через новые небазисные переменные (X_1 и X_4):

$$\begin{aligned} X_3 &= 260 - \left[2,6X_1 + 2,6 \left(31,1 - \frac{1}{90} X_4 \right) \right], \\ X_5 &= 6000 - (80X_1), \\ X_6 &= 900 - \left[15X_1 + 16 \left(31,1 - \frac{1}{90} X_4 \right) \right], \\ X_7 &= 50 - (X_1), \\ X_8 &= 40 - \left(31,1 - \frac{1}{90} X_4 \right), \\ L &= 6X_1 + 8 \left(31,1 - \frac{1}{90} X_4 \right). \end{aligned} \quad (4)$$

6. Возврат к пункту 2, пока не будут найдены значения всех небазисных переменных и оптимальное решение, т.е. пока в целевой функции все коэффициенты перед переменными не станут отрицательными. Затем, приравняв начальные базисные переменные нулю, получим значения начальных небазисных переменных, т.е. искомое решение будет записано в столбце свободных членов.

Для упрощения расчетов строят последовательные симплекс-таблицы (табл. 16).

После заполнения исходной симплекс-таблицы (табл. 16) в соответствии с приведенным алгоритмом заполняется следующая таблица и расчет продолжается:

1. Проверка базисного решения на оптимальность: т.к. коэффициенты при переменных целевой функции положительны – исходное решение не оптимально.

2. Выбор из небазисных переменных той, у которой положительный коэффициент в целевой функции максимальный, и подчеркнем ее.

3. Вывод переменной из базиса, в уравнении которой отношение свободного члена к коэффициенту при вводимой в базис переменной минимально. Отметим эту строку таким знаком (^o). Коэффициент при X_2 в этой строке называется разрешающим элементом. Возьмем его в рамку.

4. Выражение остальных базисных переменных и целевой функции через новые небазисные переменные. Составляем следующую симплекс таблицу (табл. 17).

Таблица 16

Симплекс-таблица

Базисные переменные	Свободные члены	Коэффициенты при переменных							
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_3	260	2,6	2,6	1	0	0	0	0	0
X_4^o	2800	0	90	0	1	0	0	0	0
X_5	6000	80	0	0	0	1	0	0	0
X_6	900	15	16	0	0	0	1	0	0
X_7	50	1	0	0	0	0	0	1	0
X_8	40	0	1	0	0	0	0	0	1
L	0	6	8	0	0	0	0	0	0

В первой строке столбца «базисные переменные» будет новая базисная переменная X_2 , все остальные члены этой строки получаются в результате деления членов строки, отмеченной точкой, на разрешающий элемент. Для получения членов других строк необходимо умножить соот-

ветствующий член первой строки на определенное число (множитель), а затем к полученному произведению прибавить аналогичный член из предыдущей симплекс-таблицы (табл. 16). Это число, которое, будучи умноженным на значение X_2 в столбце X_2 новой таблицы (табл. 17) и сложенным с преобразуемой строкой предыдущей таблицы (табл. 16), даст в столбце X_2 преобразуемой строки новой таблицы 0. Для строки X_3 этот множитель будет равен (-2,6). Для строки X_5 - 0, X_6 - (-16), X_7 - 0, X_8 - (-1), для строки целевой функции – (-8).

Таблица 17

Симплекс-таблица

Базисные переменные	Свободные члены	Коэффициенты при переменных							
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_2	31,1	0	1	0	$-\frac{1}{90}$	0	0	0	0
X_3	179,14	2,6	0	1	$+\frac{2,6}{90}$	0	0	0	0
X_5	6000	80	0	0	0	1	0	0	0
X_6^o	402,4	15	0	0	$+\frac{16}{90}$	0	1	0	0
X_7	50	1	0	0	0	0	0	1	0
X_8	8,9	0	0	0	$\frac{1}{90}$	0	0	0	1
L	-248,8	6	0	0	$-\frac{8}{90}$	0	0	0	0

Далее строим следующую симплекс-таблицу (табл. 18), основываясь на аналогичном алгоритме.

Как видно из табл. 18, все коэффициенты целевой функции отрицательны, т.е. получено оптимальное решение: $X_1 = 26,8 \text{ м}^3$, $X_2 = 31,1 \text{ м}^3$, максимальная прибыль 409,6 руб.

Значения свободных членов в графах: X_3 - неиспользованное сырье, X_5 - неиспользованная карбамидоформальдегидная смола, X_7 - неудовлетворенный спрос на фанеру марки ФК, X_8 - неудовлетворенный спрос на фанеру марки ФСФ.

Подобное решение также длительно. Для сокращения времени на решение задачи целесообразно пользоваться специализированными программами.

Таблица 18

Симплекс-таблица

Базисные переменные	Свободные члены	Коэффициенты при переменных							
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	26,8	1	0	0	$\frac{16}{90 \cdot 15}$	0	$\frac{1}{15}$	0	0
X_2	31,1	0	1	0	$-\frac{1}{90}$	0	0	0	0
X_3	$-26,8 \cdot 2,6 + 179,14$	0	0	1	$\frac{2,6 \cdot 2,6}{90}$	0	$-\frac{2,6}{15}$	0	0
X_5	$-26,8 \cdot 80 + 6000$	0	0	0	0	1	$-\frac{80}{15}$	0	0
X_7	23,2	0	0	0	$\frac{-16}{90 \cdot 15}$	0	0	1	0
X_8	8,9	0	0	0	$\frac{1}{90}$	0	0	0	1
L	-409,6	0	0	0	$\frac{-6 \cdot 16}{90 \cdot 15} - \frac{8}{90}$	0	$-\frac{6}{15}$	0	0

1.6 Практическая работа № 1

Обоснование объема проектируемого производства на основе анализа рынка продукции и сырья

Содержание работы:

1. Технологическое описание продукции и областей ее применения.
2. Объемы и характеристика сырья в экономически доступном радиусе транспортировки.
3. Характеристика рынка продукции:
 - основные потребители и объемы потребления;
 - основные производители и объемы производства;
 - конкурентные преимущества намечаемой к выпуску продукции;
 - конкурентные преимущества проектируемого производства.
4. Обоснование ассортимента продукции и объема ее производства на основе анализа рынка и оптимального использования сырьевых ресурсов.
5. Составление отчета.

Информация, необходимая для проведения работы, может быть найдена с помощью электронных ресурсов:

1. www.gks.ru – Федеральная служба государственной статистики;
2. www.минпромторг.рф – Министерство промышленности и торговли;
3. www.old.lenobl.ru/economic/ekology - официальный портал Правительства Ленинградской области;
4. www.gov.spb.ru – официальный портал Правительства Санкт-Петербурга;

5. www.sllr.ru – союз лесопромышленников и лесозэкспортеров России;
6. www.npadd.ru/reestr - реестр ассоциации деревянного домостроения;
7. www.lesprominform.ru – журнал Леспроминформ;
8. www.derewo.ru – журнал Дерево.ru;
9. www.se-saws.ru – лесопильное оборудование;
10. www.stankoagregat.ru – деревообрабатывающее оборудование;
11. www.faeton-spb.ru – оборудование для деревообработки;
12. www.wood.ru – портал лесной отрасли;
13. www.woodbusiness.ru – портал лесопромышленной отрасли;
14. www.pulscen.ru – торговая площадка Пульс цен;
15. www.rks-energo.ru – РКС Энерго;
16. www.spb.hh.ru – группа компаний «HeadHunter»;
17. www.rabota.mail.ru – Работа@mail.ru и другие.

2. Проектирование технологии на графе. Выбор оборудования и его расчет.

2.1. Проектирование технологического процесса в виде ориентированного графа.

Проектирование технологии в рамках разработки проектной документации требует разработки многовариантной схемы технологического процесса в виде последовательной цепочки операций. Графическое представление технологического процесса может быть представлено различным образом: в виде последовательных стадий, в виде маршрутных схем, ориентированных графов и т.п. /1/.

Разнообразие способов обработки, схем технологического процесса (ТП) одного функционального назначения требует одновременной разработки нескольких вариантов ТП, а в дальнейшем выбора одного из них по одному или нескольким критериям эффективности. Применение теории графов упрощает многовариантное проектирование. При этом технологический процесс изображают (рис. 5-7) в виде ориентированного графа $S(Q, Q)$, вершины которого являются отображением операций, проходов, переходов, установок, позиций, а дуги определяют временную последовательность и связи отдельных элементов процесса. Техничко-экономическая оценка технологических систем может быть сделана на основе их свойств. Среди множества свойств наибольший интерес представляют те, которые характеризуют качество продукции и ее трудоемкость. Эти свойства зависят не только от входных параметров, но и от характера взаимосвязей элементов системы, описываемой графом. При обеспечении одинакового уровня качества продукции приоритетной является система, обеспечивающая минимальную трудоемкость. Применение теории графов для описа-

ния технологических процессов дает возможность многовариантного проектирования с использованием современных информационных технологий для определения приоритетного варианта. Логическая схема проектирования технологии продукции P_i из исходного сырья P_0 может быть представлена в виде ориентированного графа, изображенного на рис. 5.

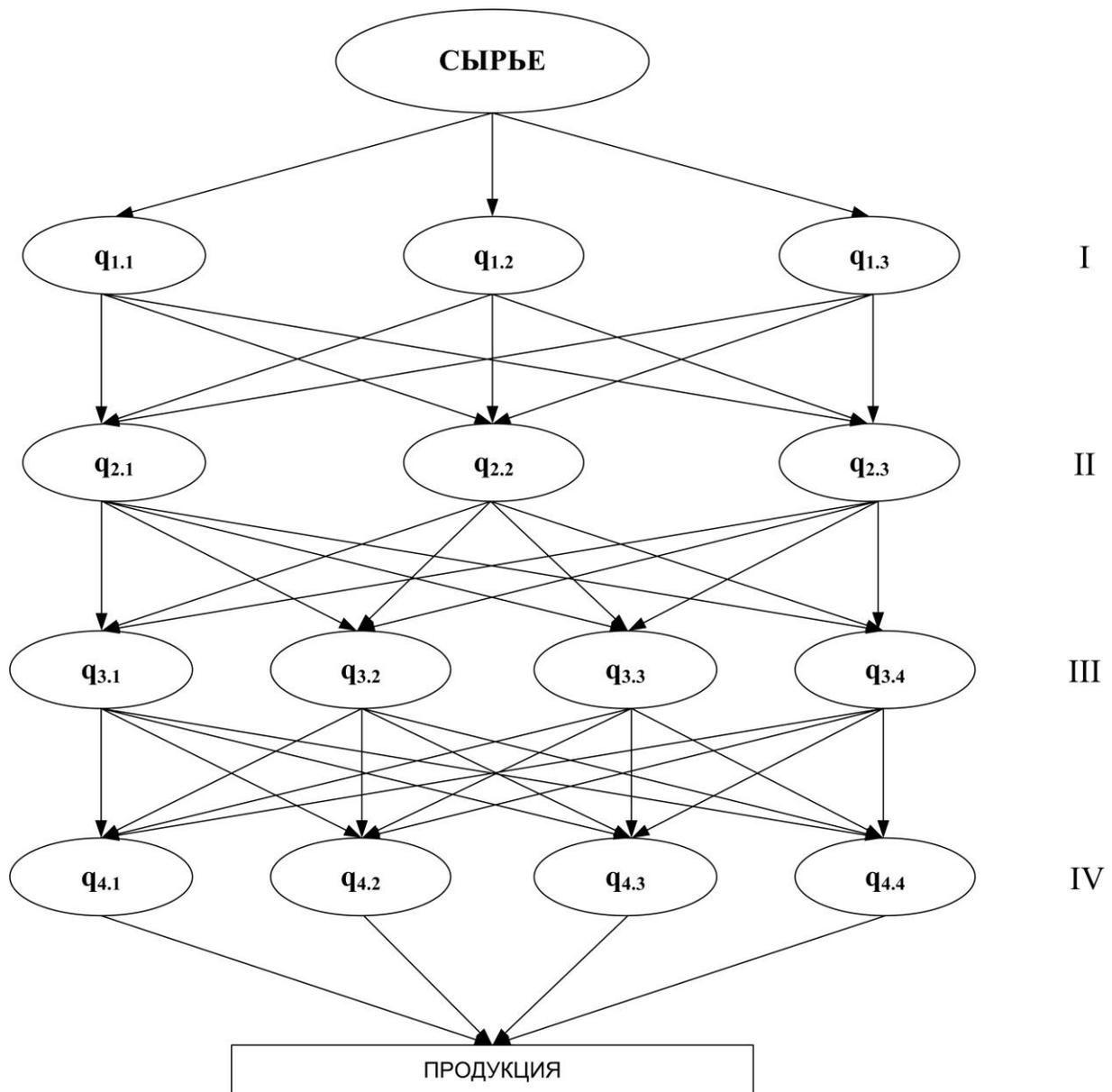


Рис. 5 Вариант (а) схемы технологического процесса в виде ориентированного графа

Проектировать технологию целесообразно на основе типовых технологических процессов T_T :

$$T_j \in T_T, \forall j = \overline{1, m}.$$

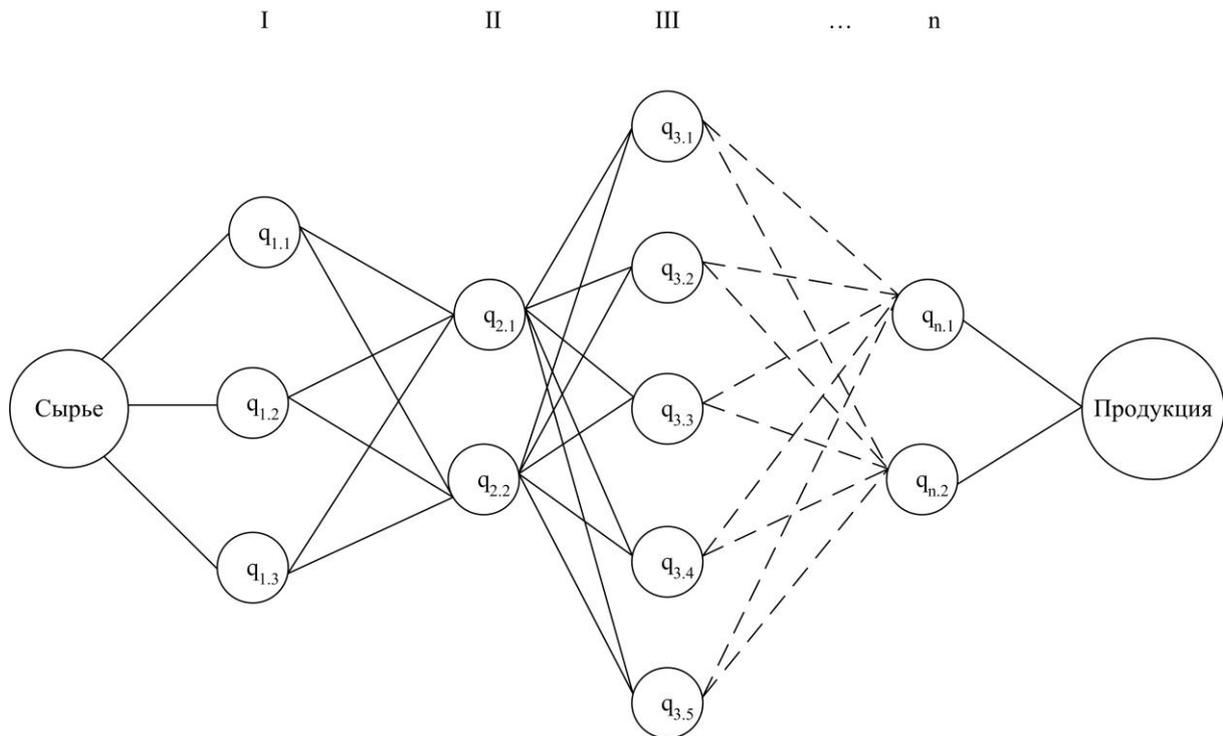


Рис. 6. Вариант (b) схемы технологического процесса в виде ориентированного графа

Каждый технологический процесс T_j состоит из множества операций q_{kj} , так что $q_{kj} \in T_j, \forall j = 1, k$. Таким образом, каждая схема технологического процесса будет представлять кортеж из элементов q_{kj} :

$$Q_i = \langle q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{ik} \rangle.$$

При трудоемкости k -й операции для i -й детали при реализации j -го технологического процесса c_{ikj} общие трудозатраты изготовления продукции P_j по j -й схеме составят:

$$C_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t c_{ikj}.$$

Оптimalен технологический процесс с минимальной суммарной трудоемкостью C_j . Оптимизировать технологический процесс можно по показателю эффективности, полученному, например, по методу расстановки приоритетов. Таким образом, задача оптимизации на взвешенном графе сводится к отысканию минимального пути S_j :

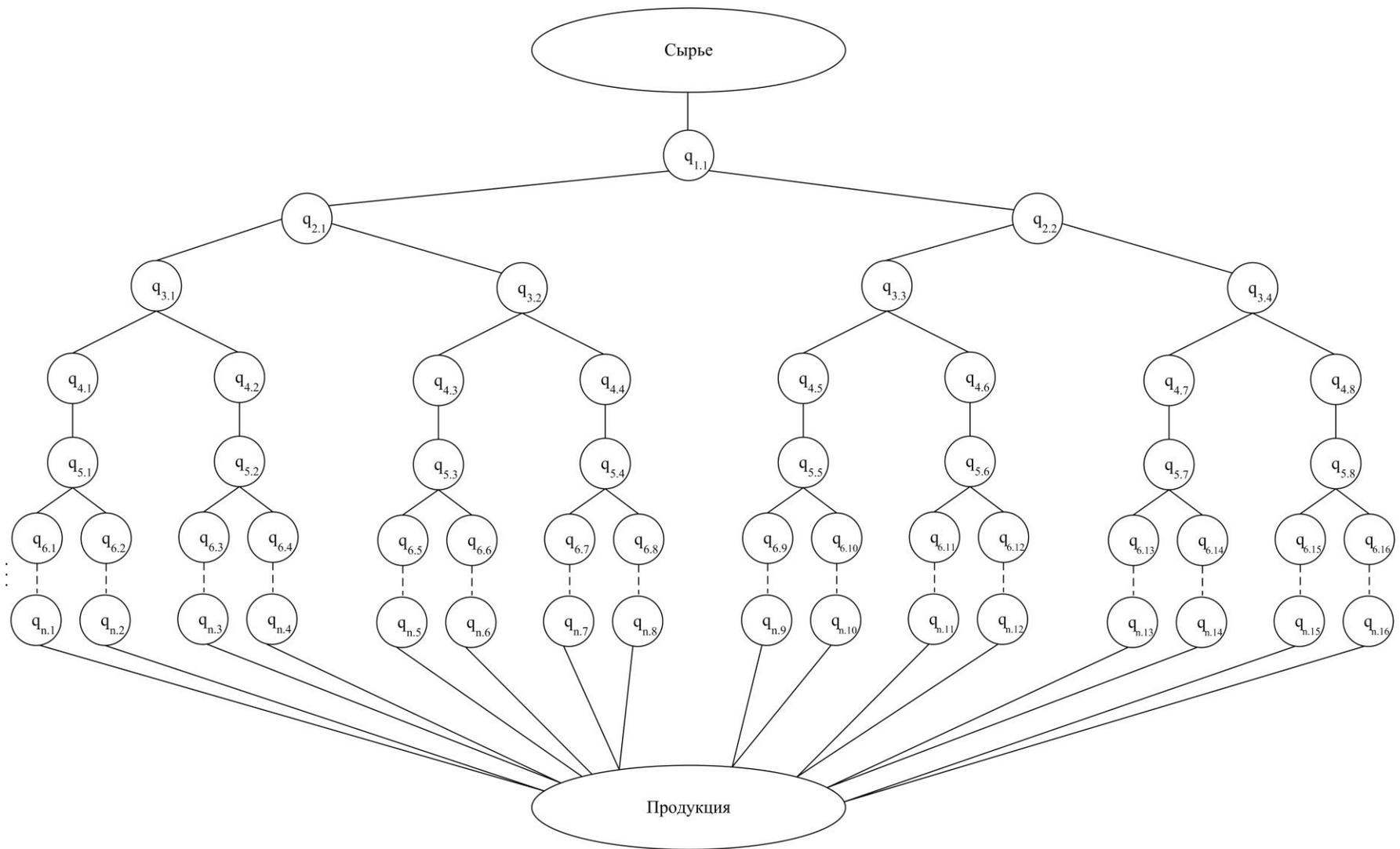


Рис. 7. Вариант (с) схемы технологического процесса в виде ориентированного графа.

$$S_j = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t C_{ikj},$$

Алгоритм решения такой задачи следующий:

1. Составить ориентированный взвешенный граф, последовательный набор дуг которого соответствует определенной технологической схеме изготовления изделия P .

2. Принять в вершине P_o трудоемкость (либо иной другой показатель) i -й конструктивно-технологической группы, равную 0:

$$S_{okj} = 0, C_{okj} = 0, \dots$$

3. Определить $S_{j\min}$ на каждой операции.

4. Построить последовательность операций с минимальной трудоемкостью:

$$Q_i = \langle q_{1j}, q_{2j}, \dots, q_{kj} \rangle.$$

Возможные способы обработки древесины в производстве материалов и изделий представлены в /1/, а оборудование, на котором могут быть реализованы технологические операции, – в /2-4/. В качестве критериев оценки технологического процесса могут быть приняты /1/:

- себестоимость продукции;
- трудоемкость продукции;
- энергоемкость процесса;
- стоимость оборудования;
- материалоемкость процесса и др. показатели.

2.2 Выбор оборудования

Производство материалов из древесины (пиломатериалов, фанеры и плит из измельченной древесины) характеризуется относительно стабиль-

ным ассортиментом продукции и может быть создано на базе жестких технологических потоков, в которых всегда можно выделить головное оборудование, производительность которого определяет производственную мощность предприятия.

Головным оборудованием лесопильного производства безусловно является бревнопильный станок либо бревнопильный технологический поток на базе двух бревнопильных станков.

К головному оборудованию для производства фанеры и древесных плит относят прессовое оборудование (в производстве древесных плит это главный конвейер, включающий в себя пресс). При этом, учитывая жесткий характер технологического процесса изготовления фанеры, для его синхронизации по производительности выбор головного оборудования ведут и по лущильным станкам, и по сушильным агрегатам.

При проектировании лесопильно-деревообрабатывающих и фанерных предприятий при выполнении процедуры выбора головных станков до анализа рынка оборудования, его технико-экономических показателей необходимо:

- определить цели новых капиталовложений, основными из которых могут быть: создание нового предприятия; реконструкция (расширение) действующего производства; модернизация технологического потока или предприятия в целом; повышение уровня капитализации предприятия;

- оценить формы организации труда на проектируемом или реконструируемом предприятии, его уровень концентрации (индивидуальное, мелкосерийное, серийное, крупносерийное, массовое производство), уровень специализации или комбинирования, степень диверсификации.

В основе выбора головного оборудования лежит четыре базовых принципа:

- наличие сырья в экономически доступном радиусе транспортировки и его объемы;
- размерно-качественные характеристики сырья;
- размерно-качественные характеристики продукции, намечаемой к выпуску;
- наличие потребителей технологической щепы в экономически доступном радиусе транспортирования.

Выбор остального оборудования для реализации технологического процесса проводится на основе синхронизации его производительности с производительностью головного оборудования с учетом ряда дополнительных требований /1/:

- возможность полной механизации и автоматизации технологических процессов, снижение затрат ручного труда при загрузке и выгрузке предмета производства;
- необходимость снижения затрат энергии всех видов и воды на технологические нужды;
- обеспечение требований по охране труда и окружающей среды;
- обеспечение требований по стоимости оборудования, затрат на его обслуживание и др.

Выбор оборудования может быть выполнен с использованием различных методов принятия решений, одним из наиболее объективных из которых является метод расстановки приоритетов.

Сущность метода расстановки приоритетов заключается в попарном качественном сравнении конкурирующих объектов (один либо лучше, либо хуже, либо равноценен по какому-то свойству другому) с дальнейшим переходом на количественные оценки и с использованием конкретных значений

показателей свойств конкурентов, а при их отсутствии – экспертных оценок. Сравнение проводят в матричной форме, что позволяет в дальнейшем при соответствующей математической обработке получить количественные значения приоритетов конкурирующих решений (объектов) по каждому свойству в отдельности и по комплексу показателей (признаков).

Допустим, в конкурсе участвуют n объектов (систем) $\forall_i = 1, n$, характеризующихся m показателями $\forall_j = 1, t$. Каждый i -й объект по определенному j -му показателю имеет количественную оценку X_{ij} .

Рассмотрим методику решения задачи.

1. Для качественного сравнения i -х объектов по j -м признакам строят матрицы бинарных отношений (см. ниже) с размером $n \times n$ (в одной матрице сравнивают i -е объекты, i -й объект строки с i -м объектом столбца), а соотношение объектов выражают символами лучше $>$, равно $=$, хуже $<$. Таких матриц будет столько, сколько показателей принято для оценки объектов, т.е. m . Затем таким же образом сравнивают сами показатели по их приоритетности (весомости) в оценке объектов, для этого строят матрицу размером $t \times t$.

Матрица бинарных отношений

I	1	2	3	...	n
1	=	<	>	...	>
2	>	=	>	...	>
3	<	<	=	...	<
·	·	·	·	...	·
·	·	·	·	...	·
·	·	·	·	...	·
n	<	<	>	...	=

2. Для перехода к количественным оценкам на основе имеющейся информации или с помощью балльной экспертной оценки определяют по каждому показателю, во сколько раз наилучший объект отличается от наихудшего:

$$K_j = \frac{X_{ij \max}}{X_{ij \min}}, \quad (5)$$

где $X_{ij \max}$ – максимальная оценка i -го объекта по j -му показателю; $X_{ij \min}$ – минимальная оценка i -го объекта по тому же признаку.

По найденному коэффициенту K_j определяют коэффициент ω_j , а затем члены a_{ij} матриц смежности A_j , заменяющих матрицы бинарных отношений. Коэффициент ω равен:

$$\omega_j = \left(\frac{K-1}{K+1} + \sqrt{\frac{0,05}{n}} \right) \cdot \beta_v, \quad \beta_1 = 1, \quad (6)$$

где β_v – поправочный коэффициент, равный на первой итерации $\beta_1 = 1$.

Члены a_{ij} матриц смежности $A_j = \|a_{ij}\|$ определяют следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 + \omega & \text{при } X_{ij} > X_{ej} \\ 1 & \text{при } X_{ij} = X_{ej} \\ 1 - \omega & \text{при } X_{ij} < X_{ej} \end{cases} \quad (7)$$

$$A_j = \left\{ \begin{array}{cccccc} a_{11}, & a_{12}, & \dots, & a_{1i}, & \dots, & a_{1n} \\ a_{21}, & a_{22}, & \dots, & a_{2i}, & \dots, & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ a_{i1}, & a_{i2}, & \dots, & a_{ii}, & \dots, & a_{in} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ a_{n1}, & a_{n2}, & \dots, & a_{ni}, & \dots, & a_{nn} \end{array} \right\} \quad (8)$$

т.е. вместо символов лучше $>$, равно $=$, хуже $<$ ставят соответствующее значение a_{ij} .

3. Для определения приоритета каждого i -го объекта по j -му показателю P_{ij} и приоритета показателя P_j вводят понятие мощности критерия L -го порядка $P(L)$, рассчитываемого построчно:

$$P(L) = A \cdot P(L-1), \quad (9)$$

$$P_i(1) = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad (10)$$

$$P_j(1) = \sum_{j=1}^m a_j, \quad (11)$$

P_{ij} и P_j определяют из выражения:

$$P_{ij}(L) = \frac{P_{ij}(L)}{\sum_{i=1}^n P_{ij}(L)}; \quad (12)$$

$$P_j(L) = \frac{P_j(L)}{\sum_{j=1}^m P_j(L)} \quad (13)$$

при условии:

$$|P_{ij}(L) - P_{ij}(L-1)| \leq E, \quad (14)$$

$$|P_j(L) - P_j(L-1)| \leq E, \quad (15)$$

где E – задаваемая точность расчета, принимаемая равной 0,01.

При достижении заданной точности определяют новое уточненное значение K^* по формуле:

$$K^* = \frac{P_{ij} \max}{P_{ej} \min} \quad (16)$$

и поправочный коэффициент β_v :

$$\beta_v = \frac{K}{K^*}. \quad (17)$$

$$\beta_1 < \beta_v \quad (18)$$

При выполнении условия (18) решение задачи закончено. В противном случае решение возвращается к пункту 2.

4. Комплексную оценку (приоритет) каждого объекта по всем j -м показателям определяют по формуле:

$$P_i = \sum_{j=1}^m P_{ij} P_j. \quad (19)$$

Чем выше значение приоритета, тем эффективнее проектируемый объект (система).

Рассмотрим на примере использование метода расстановки приоритетов по выбору четырехстороннего продольно-фрезерного станка для обработки в размер по сечению брусковых элементов оконных блоков. Краткая характеристика станков приведена в табл. 19.

Таблица 19

Краткая характеристика станков

№ п/п	Наименование модели	Страна производитель	Суммарная потребляемая мощность электродвигателей, кВт	Скорость подачи, м/мин	Максимальная ширина обрабатываемой заготовки, мм	Цена, тыс. руб.
1	Profimat 23S (4PM-230/4)	Болгария	20	6 – 12	230	778,5
2	Compact 18S (4FM-180/4)	Россия	16,1	6 – 12	180	562,5
3	Beaver 620	Тайвань	44,1	6 – 45	200	904,5
4	G-240P/6	Италия	38	6 – 30	160	1705,5

Составляем матрицу бинарных отношений для сравнения оборудования по потребляемой мощности (табл. 20), по скорости подачи (табл. 21), по ширине обрабатываемой заготовки (табл. 22) и по цене (табл. 23), исходя из следующих соображений.

Таблица 20

Матрица сравнения оборудования по суммарной потребляемой

мощности

	1	2	3	4	
1					K_1 $=2,74$ ω_1 $=0,58$
2					
3					
4					

В рассматриваемом примере (табл. 19) обработку заготовок требуемого качества могут выполнять станки с минимальной мощностью. С целью экономии энергии, чем меньше потребляется мощность, тем лучше, что и показано в табл. 20.

При сравнении оборудования по скорости подачи исходим из необходимости повышения производительности оборудования, которая зависит от скорости подачи, чем последняя выше, тем больше производительность (табл.21).

Таблица 21

Матрица сравнения оборудования по скорости подачи

					$K_2=3,75$
--	--	--	--	--	------------

	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				

$$\omega_2=0,69$$

Не требует дополнительных пояснений сравнение станков (табл. 19) по ширине обрабатываемой заготовки, чем больше возможности станка, тем лучше, т.к. можно расширять ассортимент выпускаемой продукции (табл. 22).

Таблица 22

Матрица сравнения оборудования по ширине обрабатываемой
заготовки

	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				

$$K_3 = 1,44$$

$$\omega_3 = 0,29$$

Сравнивая оборудование по цене, исходим из необходимости уменьшения капиталовложений, т.е. чем дешевле станок, тем он лучше (знак больше), (табл. 23).

Таблица 23

Матрица сравнения оборудования по цене

	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				

$$K_4=3,03$$

$$\omega_4=0,62$$

Рассчитав значения ω_1 , ω_2 , ω_3 и ω_4 по формуле (6), определяют по выражению (11) члены соответствующей матрицы смежности (табл. 24 – 27). В эти же таблицы заносим последующие расчеты приоритетов по формулам (9, 10, 11).

Таблица 24

Матрица смежности для сравнения оборудования по потребляемой мощности

	X_1	X_2	X_3	X_4	$P_{il}(1)$	$P^*_{il}(1)$	$P_{il}(2)$	$P^*_{il}(2)$	$P_{il}(3)$	$P^*_{il}(3)$
X_1	1	0,42	1,58	1,58	4,58	0,29	15,96	0,28	55,76	0,28
X_2	1,58	1	1,58	1,58	5,74	0,36	21,95	0,38	77,75	0,38
X_3	0,42	0,42	1	0,42	2,26	0,14	8,03	0,14	28,71	0,14
X_4	0,42	0,42	1,58	1	3,42	0,21	11,32	0,2	39,93	0,2

Таблица 25

Матрица смежности для сравнения оборудования по скорости подачи

	X1	X2	X3	X4	$P_{i2}(1)$	$P^*_{i2}(1)$	$P_{i2}(2)$	$P^*_{i2}(2)$	$P_{i2}(3)$	$P^*_{i2}(3)$
X1	1	1	0,31	0,31	2,62	0,16	8,57	0,15	29,02	0,15
X2	1	1	0,31	0,31	2,62	0,16	8,57	0,15	29,02	0,15
X3	1,69	1,69	1	1,69	6,07	0,38	22,85	0,41	77,91	0,42
X4	1,69	1,69	0,31	1	4,69	0,29	15,42	0,28	51,49	0,28

Таблица 26

Матрица смежности для сравнения оборудования по ширине обрабатываемой заготовки

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	$P_{i3}(1)$	$P^*_{i3}(1)$	$P_{i3}(2)$	$P^*_{i3}(2)$
X ₁	1	1,29	1,29	1,29	4,87	0,3	19,2277	0,31
X ₂	0,71	1	0,71	1,29	3,71	0,23	14,2513	0,22
X ₃	0,71	1,29	1	1,29	4,29	0,27	16,5713	0,27
X ₄	0,71	0,71	0,71	1	3,13	0,2	12,2677	0,2

Таблица 27

Матрица смежности для сравнения оборудования по цене

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	$P_{i4}(1)$	$P^*_{i4}(1)$	$P_{i4}(2)$	$P^*_{i4}(2)$	$P_{i4}(3)$	$P^*_{i4}(3)$
X ₁	1	0,38	1,62	1,62	4,62	0,29	15,79	0,28	53,8	0,28
X ₂	1,62	1	1,62	1,62	5,86	0,37	22,29	0,4	77,41	0,4
X ₃	0,38	0,38	1	1,62	3,38	0,21	10,83	0,19	37,3	0,19
X ₄	0,38	0,38	0,38	1	2,14	0,13	7,41	0,13	25,99	0,13

При достижении условия (14, 18) расчеты приоритетов оборудования по единичным показателям завершены.

Для определения комплексного приоритета необходимо прежде всего установить приоритеты (весомость влияния на общую оценки) единичных показателей: потребляемой мощности, скорости подачи, ширины обрабатываемой заготовки и цены. Воспользуемся методом экспертных оценок /1/.

Результаты экспертной оценки сведены в табл. 28.

Таблица 28

Экспертная оценка приоритетов показателей

№ п/п	Наименование показателя	Бальные оценки, выставленные соответствующим экспертом									Среднее значение балла	$K_{эij}$	$K_э$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	Потребляемая мощность	1	3	2	3	2	2	2	1	1	1,89	0,59	0,63
2	Скорость подачи	4	4	4	2	1	3	3	4	3	3,11	0,66	
3	Ширина обрабатываемой заготовки	2	2	1	1	3	1	1	2	2	1,67	0,57	
4	Цена	3	1	3	4	4	4	4	3	4	3,33	0,69	

Зная количественное значение весомости показателя (среднее значение оценки экспертов), выполняем расчеты аналогичные определению приоритетов единичных показателей. Строим матрицу бинарных отношений (табл. 29), по формулам 5 и 6 находим значения K_j и ω_j , затем строим матрицу смежности (табл. 30), предварительно заменив символы «>, =, <» на числовые значения по выражению 7.

Таблица 29

Матрица бинарных отношений

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	K_j
Y_1	=	<	>	<	=1,99
Y_2	>	=	>	<	ω_j

Y ₃	<	<	=	<	=0,44
Y ₄	>	>	>	=	

Таблица 30

Матрица смежности для сравнения показателей, характеризующих оборудование

	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	P _{j(1)}	P [*] _{j(1)}	P _{j(2)}	P [*] _{j(2)}
Y ₁	1	0,56	1,44	0,56	3,56	0,22	12,88	0,21
Y ₂	1,44	1	1,44	0,56	4,44	0,28	16,40	0,28
Y ₃	0,56	0,56	1	0,56	2,68	0,17	10,14	0,17
Y ₄	1,44	1,44	1,44	1	5,32	0,33	20,7	0,34

Зная приоритеты оборудования по единичным показателям и приоритеты показателей, строим итоговую матрицу для расчета комплексного приоритета станка (табл. 31) по формуле 19.

Таблица 31

Итоговая матрица

Модель станка	Приоритет станка по единичным показателям				Приоритет показателя		Комплексный приоритет станка
	1	2	3	4	номер	значение	
Profimat 23S	0,28	0,15	0,31	0,28	1	0,21	0,25
Compact 18S	0,38	0,15	0,22	0,4	2	0,28	0,29
Beaver 620	0,14	0,42	0,27	0,19	3	0,17	0,26
G-240P/6	0,2	0,28	0,2	0,13	4	0,34	0,2

Из табл. 32 видно, что максимальным приоритетом обладает станок Compact 18S, который и будет принят проектировщиком для формирования технологического процесса изготовления оконных блоков.

2.3 Расчет оборудования

Расчет оборудования. При проектировании технологии выполняют укрупненный расчет оборудования. Потребное количество оборудования рассчитывают по следующей методике:

1. Определение производительности оборудования:

а) для оборудования проходного типа:

$$A_{np} = UT_{cm}K_u / l_{cp}, \text{ шт. в смену};$$

$$A_{np} = UT_{cm}VK_u / l_{cp}, \text{ м}^3 \text{ в смену};$$

б) для оборудования позиционного типа:

$$A_{noz} = T_{cm}K_u / t_u, \text{ шт. в смену};$$

$$A_{noz} = T_{cm}VK_u / t_u, \text{ м}^3 \text{ в смену};$$

где U - скорость подачи, м/мин; T_{cm} - продолжительность смены, мин; K_u - коэффициент использования оборудования, $K_u = 0,55-0,9$; l_{cp} - средняя длина (ширина) обрабатываемой заготовки, м;

$$l_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m l_i n_i}{\sum_{i=1}^m n_i};$$

l_i - длина (ширина) i -й обрабатываемой заготовки, м; n_i - количество заготовок i -го типоразмера; m - количество типоразмеров заготовок; V - объем одновременно перерабатываемых заготовок, м^3 ; t_u - время цикла обработки, мин.

2. Определение времени на обработку единицы продукции (шт., м^3):

$$H = T_{cm} / A, \text{ мин.}$$

3. Определение потребного количества времени на обработку годовой программы продукции:

$$T_2 = HN / 60, \text{ ч},$$

где N - годовая программа продукции (шт., м³).

4. Определение потребного количества оборудования:

$$n = T_2 / T_p, \text{ шт.},$$

где T_p - эффективный фонд времени работы единицы оборудования в год ($T_p = 3968$ ч - для технически оснащенных рабочих мест (оборудования), $T_p = 4165$ ч - для технически не оснащенных рабочих мест при двухсменной работе).

Полученное значение n округляют до целого числа, как правило, в большую сторону, получая таким образом принятое количество оборудования n_{np} .

5. Определение процента загрузки оборудования:

$$P_3 = (n / n_{np}) 100 \% .$$

При выборе и расчете оборудования следует стремиться к его равномерной загрузке, поточной организации труда с единым ритмом работы станков по всему потоку. В процессе производства возникает необходимость оптимизации загрузки оборудования, т.е. распределения заказов на станки таким образом, чтобы их общая загруженность была минимальной при обеспечении требуемого ассортиментного плана.

На основе выбора оборудования составляют ведомости по формам, приведенным в табл. 32 и 33.

Расчет инструмента

Потребное количество инструмента, шт., на единицу оборудования

рассчитывают по формуле:

$$I = \frac{T_z m}{(1 - q)ta/b},$$

где m – количество одноименных инструментов в комплекте на единицу оборудования; a – допустимая величина стачивания инструмента, мм; b – величина стачивания режущей части инструмента за одну переточку, мм; t – продолжительность работы инструмента без переточки, ч; q – потери инструмента на поломку и непредвиденные расходы; ta/b – срок службы инструмента, ч.

Расчет инструмента целесообразно вести по форме табл. 34 в соответствии с нормативами табл. 35.

Годовая потребность в инструменте:

$$I_r = I + I_{об},$$

где $I_{об}$ – оборотный фонд инструмента, шт. $I_{об}$ принимают равным $4K$ для малорасходуемого инструмента и $5K$ для широко используемого инструмента. Значения K приведены в табл. 36.

Таблица 32

Ведомость технологического оборудования

Наименование оборудования, изготовитель (завод, страна, фирма)	Тип, модель	Количество, шт.	Габаритные размеры, мм; длина x ширина x высота	Потребная площадь для организации рабочего места, м ²	Количество рабочих мест, чел.	Установленная мощность, кВт	Расход пара, кг/ч	Расход воды, м ³ /ч	Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	Масса, т	Примечание

Таблица 33

Расчет численности основных рабочих

Наименование оборудования, рабочего места	Тип, модель	Количество оборудования, рабочих мест, шт.	Число дней работы в год	Число штатных рабочих, чел.			Разряд рабочих	Требуемое число чел.-дней при работе	
				на единицу оборудования (рабочего места) в одну смену	на все оборудование (рабочие места)			в одну смену	в две смены
					в одну смену	в две смены			

Таблица 34

Ведомость расчета потребности в инструменте

Оборудование	Наименование	Количество на единицу оборудования	Срок службы, ч	Время работы станка в году, ч	Годовой расход I , шт.	Годовая потребность I , шт.	Цена единицы инструмента, руб.	Стоимость годовой потребности, руб.

Таблица 35

Нормативы для расчета потребного количества инструментов

Инструмент	Величина допускаемого стачивания инструмента a , мм	Величина стачивания за одну переточку b , мм	Продолжительность работы инструмента без переточки, ч	Потери на поломку и неподвижные расходы, %
Пилы дисковые	20...35	0,6...0,8	3,5	5
Пилы дисковые, оснащенные пластинками из твердого сплава	6...8	0,15...0,20	50,0	3
Пилы ленточные столярные	25...40	0,3...0,4	3,5	5
Ножи плоские без прорезей	5...15	0,2...0,3	7,0	5
Ножи плоские с прорезями	5...13	0,2...0,3	7,0...10,0	5
Ножи сборных фрез, оснащенные пластинками из твердого сплава	4...8	0,20	10,0...60,0	8
Фрезы цельные	15...25	0,15...0,30	3,0...10,0	5
Фрезы концевые	10...40	0,4	2,0...4,0	10...15
Сверла	25...40	0,4	2,0...4,0	15...20

Значения коэффициента K

Время работы инструмента, ч	K	Время работы инструмента, ч	K
До 3950	1	19750 – 23700	6
3950 – 7900	2	23700 – 27650	7
7900 – 11850	3	27650 – 31600	8
11850 – 15800	4	31600 – 35500	9
15800 – 19750	5	35500 – 39500	10

2.4. Оптимизация загрузки оборудования

Особый интерес при проектировании новых и реконструкции действующих предприятий представляет задача оптимизации загрузки оборудования, т.е. распределения заказов на станки таким образом, чтобы их общая загруженность была минимальной при обеспечении требуемого ассортиментного плана.

Пусть предприятию (цеху) задан план по выпуску продукции M_j (например фанеры) m видов ($j \in 1:m$). Для изготовления может быть использовано оборудование (например прессы) O_i n видов ($i \in 1:n$).

Известно, что за один час i -е оборудование может выпустить a_{ij} продукции j -го вида (табл. 37). Фонд времени работы единицы оборудования в год равен T часов. Необходимо так распределить план, чтобы затраты времени на производство продукции были минимальными. Обозначим X_{ij} - количество станко-часов работы i -го оборудования по выпуску j -го вида продукции; b_j - план по выпуску продукции j -го вида.

Математическая задача записывается в следующем виде:

$$a_{11}X_{11} + a_{21}X_{21} + \dots + a_{i1}X_{i1} \geq b_1$$

$$a_{12}X_{12} + a_{22}X_{22} + \dots + a_{i2}X_{i2} \geq b_2$$

$$\begin{aligned}
 & \dots\dots\dots (20) \\
 & a_{1j}X_{1j} + a_{2j}X_{2j} + \dots + a_{ij}X_{ij} \geq b_j \\
 \\
 & X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1j} \leq T \\
 & X_{21} + X_{22} + \dots + X_{2j} \leq T \\
 \\
 & \dots\dots\dots (21) \\
 & X_{i1} + X_{i2} + \dots + X_{ij} \leq T
 \end{aligned}$$

Целевая функция, которую необходимо минимизировать:

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} . \quad (22)$$

Таблица 37

Исходные данные для решения задачи

Вид про- дукции M_j	Вид оборудования, O_i							План по выпуску продукции, b_j
	O_1	O_2	O_3	.	.	.	O_i	
M_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	.	.	.	a_{1i}	b_1
M_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	.	.	.	a_{2i}	b_2
M_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	.	.	.	a_{3i}	b_3
.
.
.
M_j	a_{j1}	a_{j2}	a_{j3}	.	.	.	a_{ji}	a_j

Система уравнений (21) предусматривает выполнение (перевыполнение) плана по ассортименту продукции. Система уравнений (22) устанавливает

имеющийся фонд времени работы оборудования. Уравнение (23) определяет общие затраты времени.

Формулировка задачи: выбрать такие неотрицательные значения переменных X_{ij} , удовлетворяющие неравенствам (22), (23), при которых линейная функция этих переменных (24) обращалась бы в \min .

Пусть цеху, в котором установлено два пресса, необходимо изготовить в год фанеры марки ФК двух толщин объемом $M_1 = 14000 \text{ м}^3$ и $M_2 = 8000 \text{ м}^3$, марки ФСФ одной толщины - $M_3 = 8000 \text{ м}^3$, марки БС-1 одной толщины - $M_4 = 2700 \text{ м}^3$. Известно: $a_{11} = 5,0 \text{ м}^3/\text{ч}$, $a_{12} = 3,75 \text{ м}^3/\text{ч}$, $a_{13} = 3,0 \text{ м}^3/\text{ч}$, $a_{14} = 1,0 \text{ м}^3/\text{ч}$, $a_{21} = 4,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, $a_{22} = 3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$, $a_{23} = 2,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, $a_{24} = 0,75 \text{ м}^3/\text{ч}$. Фонд времени работы прессов 5760 ч в год.

Задача запишется следующим образом:

$$5,0X_{11} + 0X_{12} + 0X_{13} + 0X_{14} + 3,75X_{21} + 0X_{22} + 0X_{23} + 0X_{24} \geq 14000$$

$$0X_{11} + 4,8X_{12} + 0X_{13} + 0X_{14} + 0X_{21} + 3,6X_{22} + 0X_{23} + 0X_{24} \geq 8000$$

$$0X_{11} + 0X_{12} + 3,0X_{13} + 0X_{14} + 0X_{21} + 0X_{22} + 2,2X_{23} + 0X_{24} \geq 8000$$

$$0X_{11} + 0X_{12} + 0X_{13} + 1,0X_{14} + 0X_{21} + 0X_{22} + 0X_{23} + 0,75X_{24} \geq 2700$$

$$1X_{11} + 1X_{12} + 1X_{13} + 1X_{14} + 0X_{21} + 0X_{22} + 0X_{23} + 0X_{24} \leq 5760$$

$$0X_{11} + 0X_{12} + 0X_{13} + 0X_{14} + 1X_{21} + 1X_{22} + 1X_{23} + 1X_{24} \leq 5760$$

$$L = X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} \rightarrow \min.$$

Подобная задача может быть решена симплекс-методом (раздел 3.4), с использованием стандартных прикладных программ на персональном компьютере.

Алгоритм решения задачи следующий.

На подготовительном шаге ограничения типа $>$ сводятся к ограничениям \leq и $=$ путем введения дополнительной переменной.

Затем решается M -задача.

Опорное решение получают из вводимых дополнительных переменных для ограничений типа \leq с нулевым коэффициентом целевой функции и из

искусственных переменных для ограничений типа = с M -коэффициентами «штрафа» в целевой функции. При определении вектора, вводимого в опорное решение, сначала просматривается тот столбец, для которого вероятно $X \neq 0$. Далее просматриваются все векторы до получения первой отрицательной оценки.

Для нашей задачи оптимально следующее решение:

$$X_{11} = 0; \quad X_{12} = 393 \text{ ч}; \quad X_{13} = 2667 \text{ ч}, \quad X_{14} = 2700 \text{ ч}, \quad X_{21} = 3733 \text{ ч}, \\ X_{22} = 1698 \text{ ч}, \quad X_{23} = 0 \text{ ч}, \quad X_{24} = 0 \text{ ч}.$$

2.5. Практическая работа № 2.

Выбрать и рассчитать потребное количество оборудования для реализации проектируемого процесса.

Содержание работы.

1. Разработать технологический процесс в виде ориентированного графа.
2. Выбрать оборудование по методу расстановки приоритетов.
3. Определить производительность оборудования и его загрузку.
4. Оптимизировать загрузку оборудования.
5. Сделать выводы.
6. Составить отчет.

3. Разработка схем организации рабочих мест. Расчет производственных площадей.

Следующей процедурой технологического проектирования после расчета оборудования является разработка схем организации рабочих мест, предшествующая разработке плана цеха с расположением оборудования.

Под рабочим местом понимают часть цеха, на котором расположено технологическое и связанное с ним стационарное транспортное оборудование, подступные места для необработанных и обработанных предметов труда, инфраструктура станка (например: электроцит, компрессорная установка, установка ТВЧ и т.п.) и место для рабочего (рис. 8 – 9).

Понимание рабочего места принципиально важно при проектировании предприятий и цехов по производству мебели и столярно-строительных изделий, для изготовления которых зачастую используют универсальное однооперационное оборудование. При проектировании лесопильных и фанерных предприятий, заводов по изготовлению древесных плит из измельченной древесины, технологический процесс которых строится, как правило, с использованием поточных механизированных, автоматизированных и автоматических линий. Строят схемы этих линий (ситуационные планы участков) с указанием тех же элементов, что и у рабочего места (рис. 10).

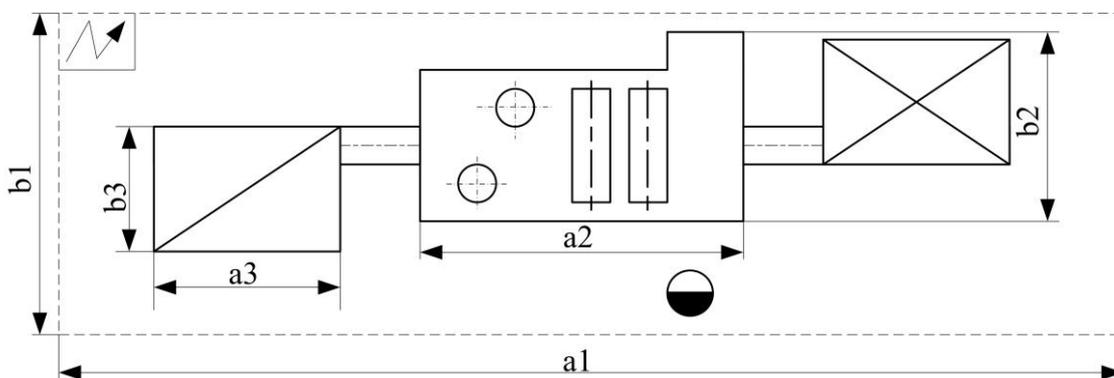


Рис. 8. Схема организации рабочего места многостороннего продольно-фрезерного станка с питателем и накопителем.

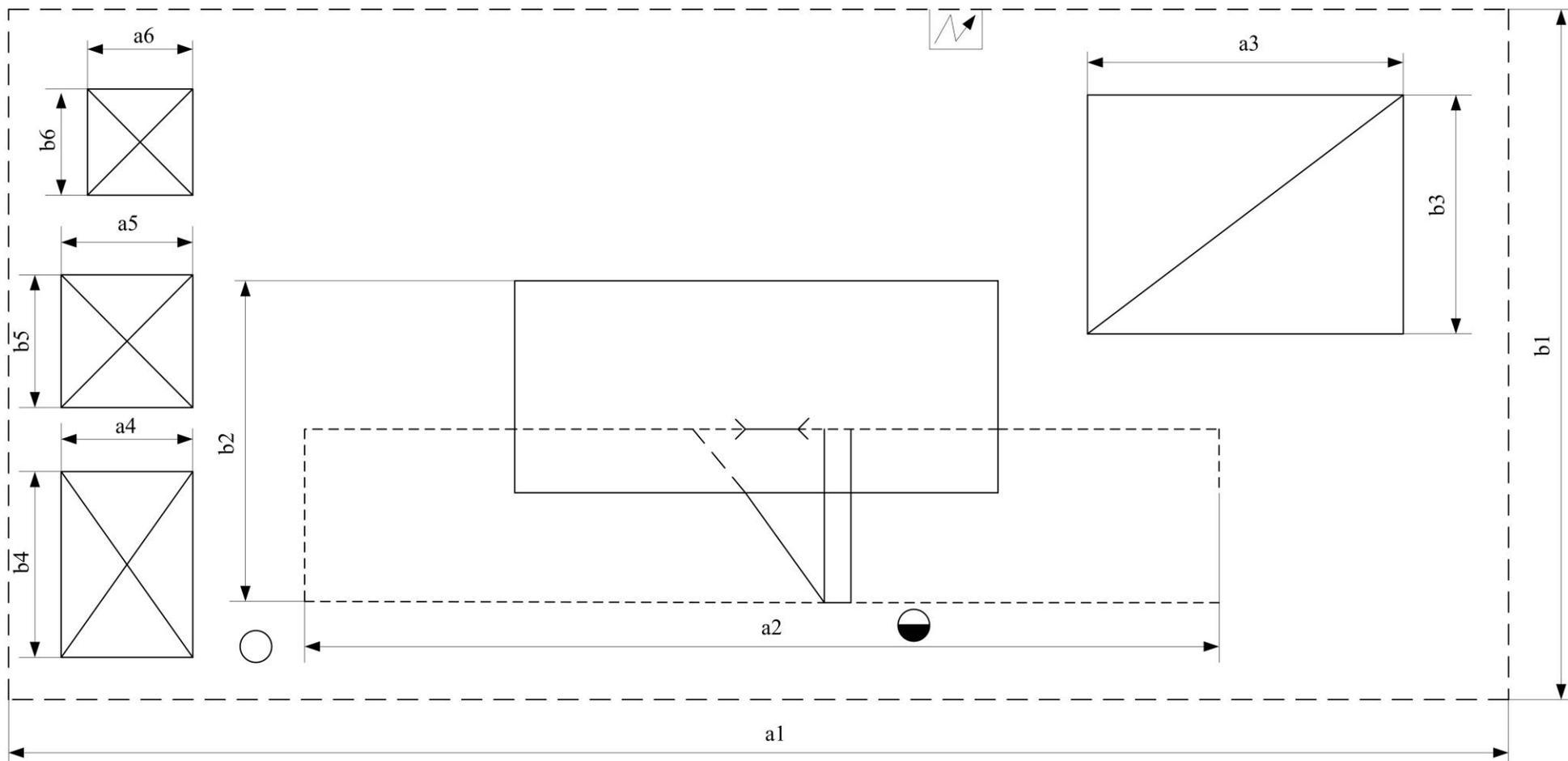


Рис. 9. Схема организации рабочего места у форматно-обрезного станка.

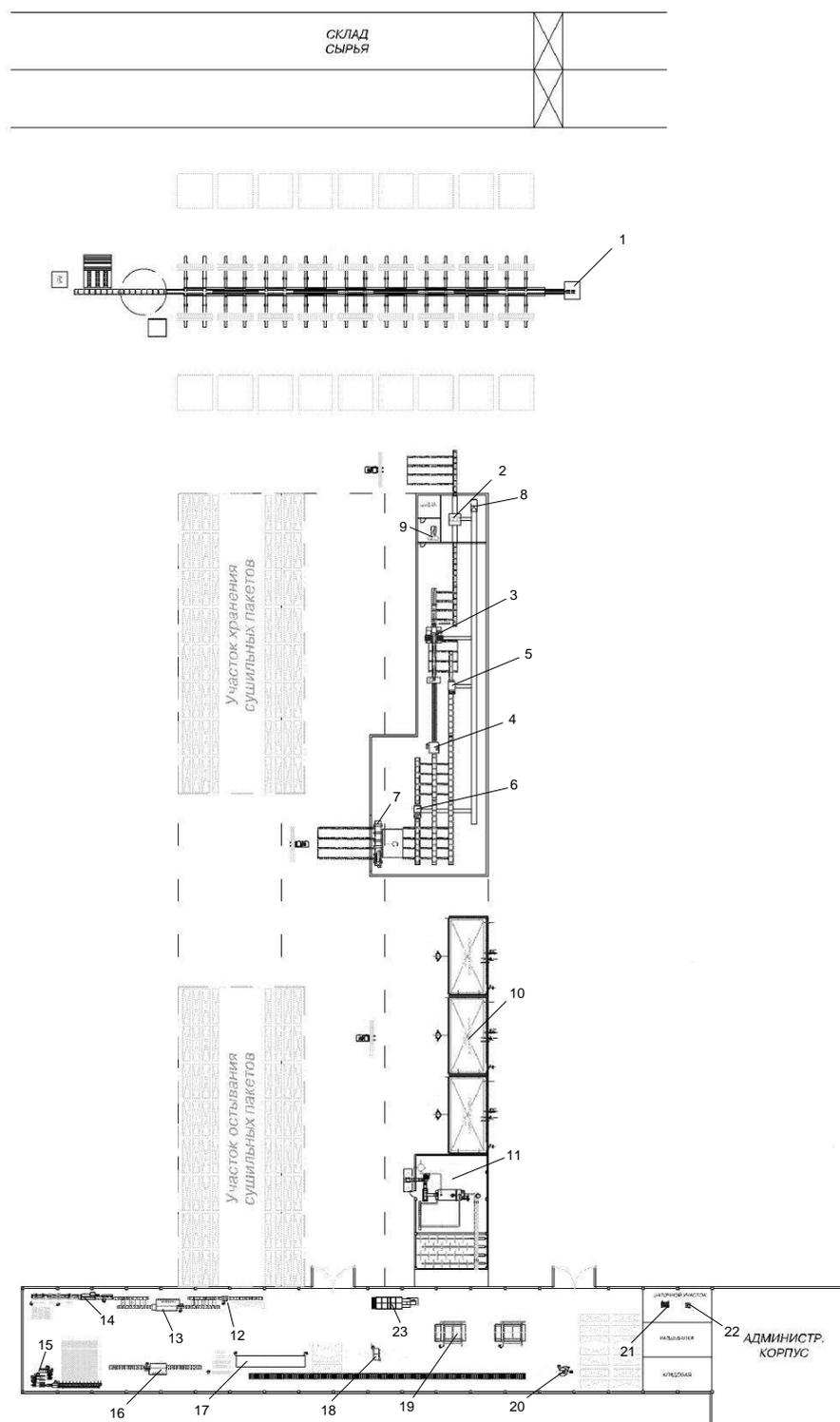


Рис. 10 Ситуационный план участка лесопиления и изготовления мебельного щита:
 1 – линия сортировки бревен, 2 – окорочный станок, 3, 4 - многопильный станок, 5 – об-
 резной станок, 6 – горбыльный станок, 7 – торцовочный станок, 8 – рубительная машина,
 9 – заточной станок, 10 – сушильные камеры, 11 – котельная, 12 - торцовочный станок,
 13,16 – 4-х сторонний фрезерный станок, 14 – линия оптимизации, 15 – линия сращива-
 ния, 17 – пресс, 18 – шлифовальный станок, 19 – форматно-раскроечный станок, 20 – уча-
 сток упаковки, 21,22 – заточной станок, 23 – система аспирации.

Разрабатывают схемы организации рабочих мест в определенном масштабе 1:50, 1:100, 1:200, соответствующем масштабу построения плана цеха с расположением оборудования (раздел 4), соблюдая требования, регламентированные строительными нормами и правилами (рис. 11):

- место рабочего располагается у станка на площадке шириной 750 ÷ 1000 мм в полуметре от станка и должно иметь площадь не менее 0,5 м²;
- расстояние между станками, подступными местами и элементами зданий регламентированы и составляют не менее:
 - от тыльной или боковой стороны станка до стены – 0,6 м;
 - от продольной стороны подступного места до стены – 1,0 м;
 - между тыльной стороной станка и продольной стороной подступного места соседнего станка – 1,0 м;
 - между лицевой частью станка и подступным местом не менее 0,5 м;
 - между тыльными сторонами станков – 0,7 м;
 - между тыльной стороной подступного места и станка 0,75-1 м;
 - между тыльными сторонами подступных мест не менее 0,5 м;
 - между поперечными сторонами подступных мест при транспортировке деталей безрельсовыми тележками: при длине деталей до 2 м – 1 м; при длине деталей более 2 м – 1,5 м.

Производственная площадь цеха рассчитывается по формуле:

$$F_{ц} = 1,4 \left(\sum_{i=1}^n F_{pmi} + \sum_{j=1}^m F_{mej} + \sum_{l=1}^l F_{вцл} \right) + \sum_{\alpha=1}^b F_{во\alpha}$$

где F_{pmi} – площадь i -го рабочего места, м²; F_{mej} – площадь j -го места для технологической выдержки, м²; $F_{вцл}$ – площадь l -го места для внутрицеховых складов, м². Организация технологического процесса должна быть такой, чтобы $F_{вцл}$ стремилось к 0; $F_{во\alpha}$ – площадь α -го вспомогательного отделения цеха, м².

Расчеты могут быть сведены в таблицу (табл. 38).

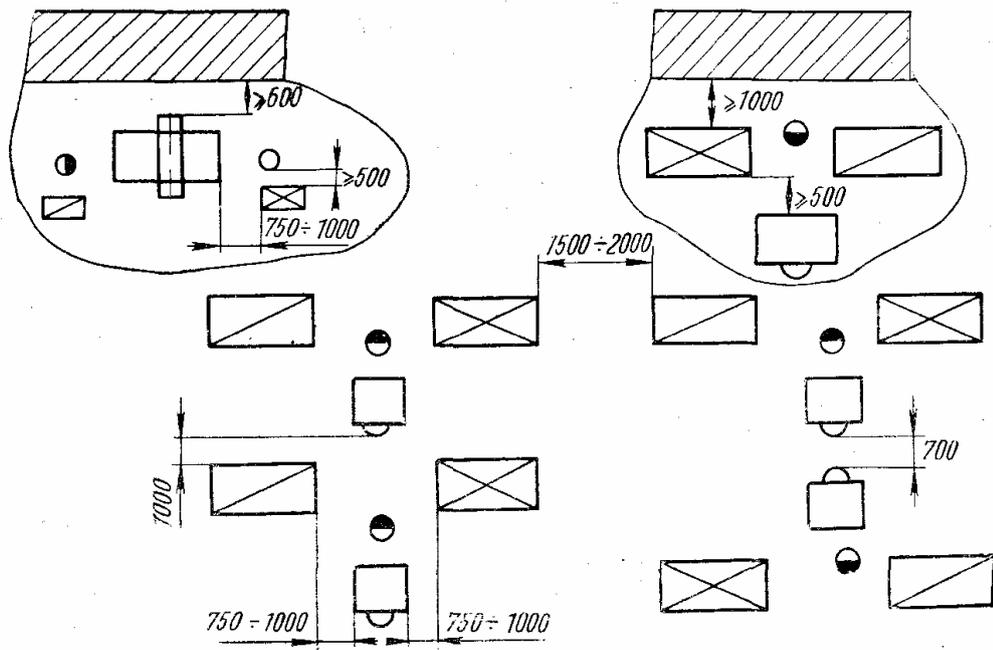


Рис. 11. Схемы расположения оборудования

Таблица 38

Расчет площади цеха

№ п/п	Наименование	Обозначение	Общая площадь, м ²
1	2	3	4
1	Площадь рабочих мест	F_{pmi}	
2	Площадь мест технологической выдержки	$F_{теj}$	
3	Площадь мест внутрицеховых складов	$F_{вцл}$	
4	Площадь вспомогательных отделений цеха	$F_{во\alpha}$	
5	Расчетная площадь цеха	$F_{цр}$	

В лесопилении и фанерном производстве важным является расчет площадей под складирование поступающего и рассортированного сырья, а в лесопилении также участка его сортировки. Эти расчеты могут быть выполнены по специальным методикам /10/, с учетом типа головного оборудования,

количества сортировочных групп бревен и объемов оперативных запасов пиловочных бревен в зависимости от производственной мощности.

Практическая работа № 3

Разработка схем организации рабочих мест. Расчет производственных площадей.

Содержание работы.

1. Разработать схемы организации рабочих мест 1 – 4 единиц оборудования с учетом требований строительных норм и правил.
2. Определить площади рабочих мест.
3. Рассчитать площадь цеха.

4 Разработка плана цеха с расположением оборудования

Прежде, чем приступить к построению плана цеха с размещением оборудования разрабатывают структурную схему технологического процесса. В качестве примера на рис. 12 приведена структурная схема лесопильного потока.

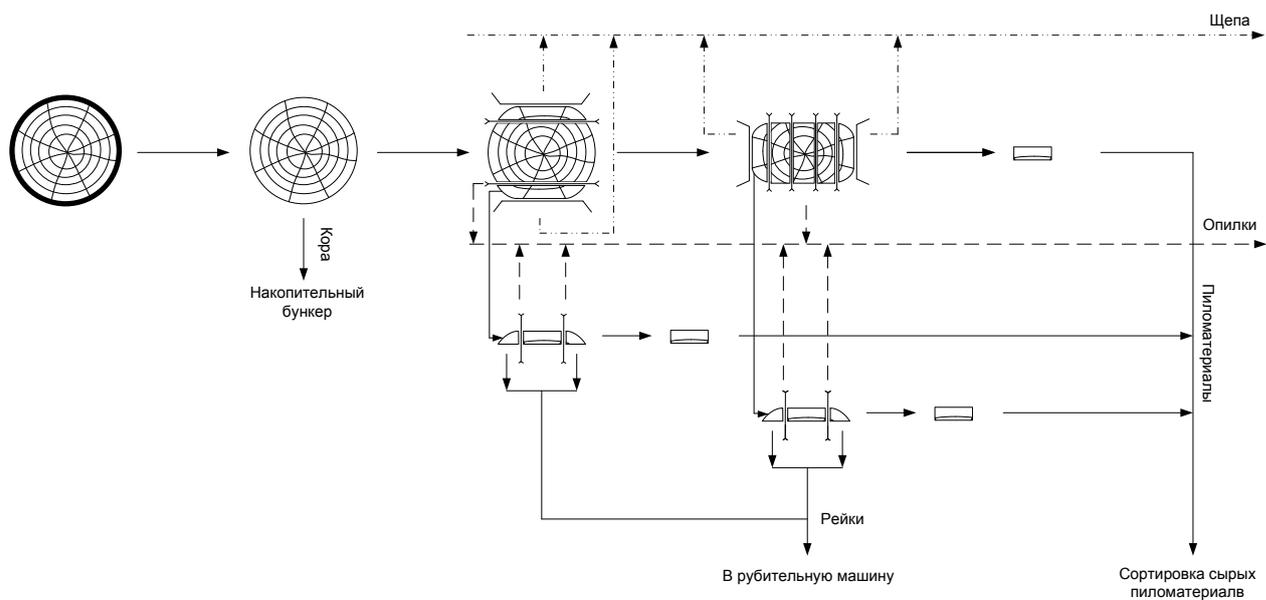


Рис. 12. Пример структурной схемы лесопильного цеха с головным фрезерно-пильным оборудованием

Уяснив последовательность технологических и транспортных операций, приступают к разработке плана цеха и размещению на его площади оборудования. Работу выполняют по этапам:

1. Устанавливают длину цеха исходя из его расчетной площади и принятой ширины пролета. Рекомендуемая ширина пролета (цеха) 12, 18, 24, 30 и 36 м. С учетом требований технологии ширина может быть больше 36 м, но всегда кратной 6 м. Длину здания рассчитывают путем деления площади на ширину и округляют до ближайшего большего значения кратного 6 м.
2. Наносят сетку колонн с шагом вдоль наружных стен равным 6м, шаг колонн внутри цеха может быть различным (6 x 6, 6 x 12, 12 x 12 и др.), но кратным 6 м.

3. Обозначают главный и второстепенный проезды (проходы) шириной $2 \div 3$ м (ширина может быть и больше при транспортировании крупногабаритных предметов труда). Через каждые 50 м длины цеха предусматривают поперечные проезды (проходы) шириной $3 \div 4$ м. Вдоль всех наружных стен предусматриваются проходы шириной не менее 1 м.
4. Оборудование в цехе располагают в соответствии с технологическим процессом преимущественно цепным или смешанным способом, рис. 13.

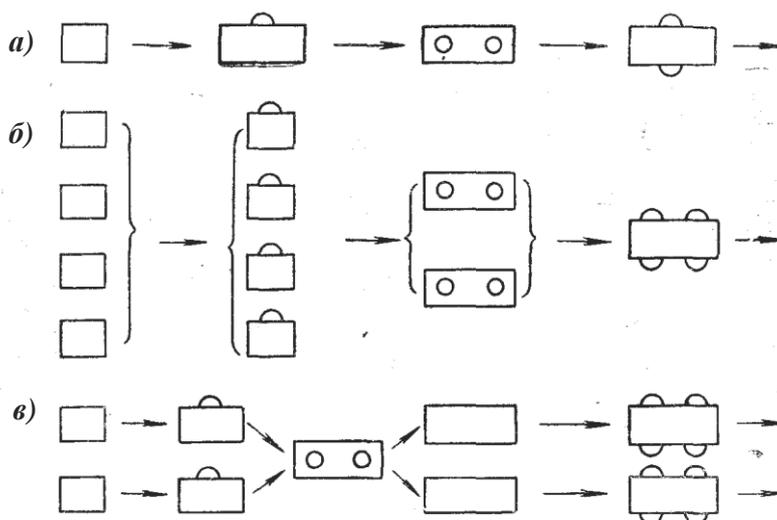


Рис. 13. Способы расстановки оборудования: а – цепной, б – групповой, в – смешанный

5. Оборудование располагают, обеспечивая прямоточность производства с кратчайшими путями движения заготовок в процессе обработки без возвратных или петлеобразных движений. Станки и агрегаты располагают в местах с преимущественно естественным освещением, затемненные места используются для организации мест технологической выдержки и внутрицеховых складов.
6. У каждого станка располагаются основные и вспомогательные рабочие в соответствии с нормой обслуживания станка. Для каждого рабочего предусматривается рабочее место, общей площадью не менее $0,5 \text{ м}^2$. Подступные места не обработанных предметов труда располагают справа от рабочего, а обработанные – слева.
7. Расстояния между станками, подступными местами и элементами зданий регламентированы и приведены в разделе 3 (рис. 11).

В том случае, когда в одном здании располагаются цехи различной категории взрывопожарной и пожарной опасности, то цехи повышенной категории отделяют от других брандмауэром с организацией движения между цехами через переходные тамбуры, имеющие асинхронное закрытие дверей.

Практическая работа № 4

Разработка плана цеха с расположением оборудования.

1. Установить длину и ширину, изобразить периметр цеха.
2. Расставить колонны, изобразить главный и поперечные проходы (проезды), проходы вдоль наружных стен.
3. Разместить оборудование в соответствии с требованиями.
4. Проставить размеры.

5 Классификация производственных зданий и сооружений. Требования к ним. Генеральный и ситуационные планы.

Здания и сооружения промышленных предприятий классифицируют по многим признакам, в том числе по назначению, капитальности, степени огнестойкости, по взрывопожарной и пожарной опасности, по архитектурно-конструктивным признакам и т.д.

По назначению, рис. 14, здания подразделяют на производственные, подсобно-производственные, энергетические, транспортные, складские, санитарно-технические, вспомогательные, общезаводские. По капитальности здания делят на четыре класса в зависимости от срока эксплуатации: I, II, III, IV. По степени огнестойкости – семь групп: I, II, III, III а, III б, IV а, V. Степень огнестойкости здания принимается в проекте в зависимости от их назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности, площади этажа в пределах пожарного отсека.



Рис. 14. Классификация зданий и сооружений по назначению, капитальности, конструкции и этажности.

Последнее особо важно для многих деревообрабатывающих предприятий, помещения которых могут являться взрыво- и пожароопасными (рис.

15). Большая часть производственных помещений относится к категории В1 – В4 – пожароопасные производства в зависимости от удельной пожарной нагрузки на участке.

Для строительства производственных зданий используют различные несущие и ограждающие конструкции. Классификация конструктивных элементов промышленных зданий представлена на рис. 16 – 21, а систем инженерно-технического обеспечения – на рис. 22. Выбор конструкции здания, его этажности, конструктивных элементов зависит как от вида обрабатываемых сырья и материалов, так и технологии и оборудования.

На одном из последних этапов проектирования разрабатывается генеральный план предприятия, который представляет собой план расположения на участке всех зданий, сооружений, коммуникаций, устройств, ограждений и земельных насаждений с изображением рельефа горизонталями и указанием вертикальных отметок объектов. Генеральный план – трудно читаемый документ вследствие большого объема информации. В этой связи, информация, отмечаемая на генплане, может быть разнесена на несколько графических документов: ситуационный план (план расположения на участке зданий, сооружений и транспортных сетей), планы размещения инженерных коммуникаций и др.

Практическая работа № 5

Разработка ситуационного плана предприятия.

1. Определить состав зданий и сооружений на земельном участке (площадке для строительства).
2. Установить требования к помещениям, в которых будут расположены технологические цехи.
3. Разработать ситуационный план предприятия.
4. Определить коэффициент застройки.

Помещения производственных зданий

<p>- категория А: взрывоопасные производства, в процессах которых используются вещества в газообразной, жидкой фазах с температурой вспышки не более 28 °С, при воспламенении и взрыве которых развивается расчетное избыточное давление более 5 кПа, а также твердые вещества, способные взрываться и гореть, образуя расчетное избыточное давление более 5 кПа</p>	<p>- категория Б: взрывоопасные производства, в процессах которых используют горючие пыли и волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости, при горении и взрыве которых развивается расчетное избыточное давление более 5 кПа</p>	<p>- категория В1-В4: пожароопасные производства, в процессах которых используют твердые и жидкие горючие вещества, способные гореть при взаимодействии с кислородом воздуха, водой, друг с другом, но которые не отнесены к категориям А и Б</p>	<p>- категория Г: производства, в процессах которых используют вещества в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии</p>	<p>- категория Д: Производства, в процессах которых используют негорючие вещества в холодном состоянии</p>
---	---	--	---	---

Рис. 15. Классификация зданий и сооружений по взрывопожарной и пожарной опасности.

Конструктивные элементы производственных зданий



Рис. 16. Конструктивные элементы производственных зданий



Рис. 17. Каркасы

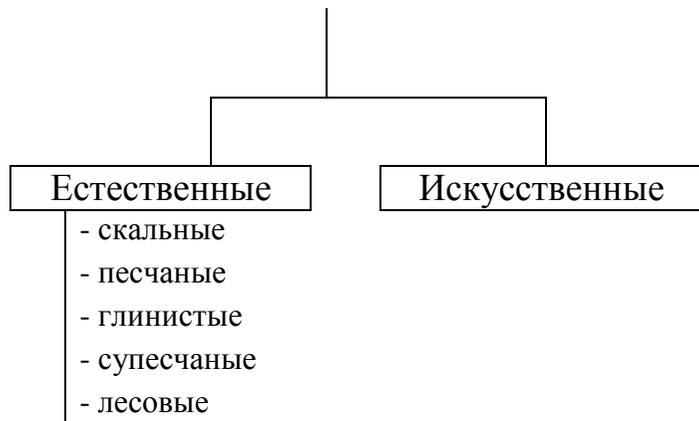


Рис. 18. Основания



Рис. 19. Фундаменты



Рис. 20. Стены



Рис. 21. Перегородки



Рис. 22. Системы инженерно-технического обеспечения

Библиографический список

1. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Шагалова Т.А. Основы проектирования предприятий. Технологическое проектирование деревообрабатывающих производств. СПб.: СПбГЛТА, 2011 – 168 с.
2. Чубинский А.Н., Штембах А.П., Варанкина Г.С., Тамби А.А., Чаузов К.В. Каталог оборудования деревообрабатывающих производств. СПб.: СПбГЛТА, 2011 – 152 с.
3. Волынский В.Н., Пластинин С.Н. Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях. М.: «Ризл-пресс», 2005 – 256 с.
4. Волынский В.Н. Технология клееных материалов. Архангельск: АГТУ, 2003 – 280 с.
5. Чубинский А.Н., Егоров В.А. Основы проектирования деревообрабатывающих предприятий. Л.: ЛТА, 1989 – 96 с.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972 – 550 с.
7. Кудрявцев Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. М.: Радио и связь, 1984 – 184 с.
8. Чубинский А.Н., Иванов Б.А. Выбор оборудования и организация рабочих мест. Л.: ЛТА, 1984 – 84 с.
9. Ясинский В.С., Щербаков А.С., Юрьев Ю.И. Основы проектирования деревообрабатывающих предприятий. М. – Экология, 1991 – 320 с.
10. Чубинский А.Н., Шагалова Т.А. Проектирование деревообрабатывающих производств. СПб.: Издательский дом Герда, 2007 – 128 с.

Анатолий Николаевич Чубинский
Александр Алексеевич Тамби
Артур Александрович Федяев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ И
ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Учебное пособие