

Содержание

- 1 Выбор и анализ основных параметров литейных цехов
 - 1.1 Основные принципы проектирования цехов
 - 1.2 Состав и основные параметры литейных цехов
 - 1.3 Расчет программы и фондов времени
- 2 Расчет количества оборудования производственных отделений
 - 2.1 Расчет оборудования плавильных отделений
 - 2.2 Расчет оборудования смесеприготовительных отделений
 - 2.3 Расчет оборудования формовочных отделений
 - 2.4 Расчет оборудования стержневых отделений
 - 2.5 Расчет оборудования термообрубных отделений
- 3 Проектирование литейных систем
 - 3.1 Моделирование и анализ систем
 - 3.2 Построение высоконадежных систем
- 4 Транспортная, энергетическая, строительная и санитарно-техническая части цеха
 - 4.1 Транспорт литейных цехов
 - 4.2 Энергетические затраты
 - 4.3 Строительная и санитарно-техническая части проекта
- 5 Планировки литейных цехов
 - 5.1 Компонентные решения
 - 5.2 Нормы расположения проездов и оборудования
- 6 Показатели работы цеха
 - Литература
 - Приложение А

1 ВЫБОР И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ

1.1 Основные принципы проектирования цехов

Анализ и оптимизация проектных решений должны производиться на основе общих принципов развития металлургии и машиностроения. Основное внимание должно быть уделено экономному расходованию сырья, материалов, энергии и внедрения в производство малоотходных технологических процессов и нового высокоэффективного оборудования, экономно использовать материальные, топливно-энергетические и трудовые ресурсы. Создание технологических процессов и оборудования, обеспечивающих получение точных отливок, близких по форме и размерам к готовым деталям, является основной задачей литейного производства. Для ее решения необходимо совершенствовать методы проектирования современных литейных цехов, технического перевооружения и реконструкции действующих предприятий.

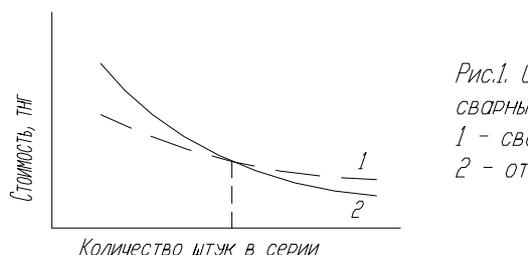
Основным критерием при выборе способа изготовления заготовок (отливка, сварная заготовка, заготовка из проката, поковка, штамповка и т.п.) являются технико-экономические характеристики процессов. При сравнении показателей производства заготовок разными способами следует учитывать особенности технологии: стоимость подготовки производства, металлоемкость, трудоемкость процесса изготовления заготовок, трудоемкость процессов обработки заготовок. Эти показатели изменяются в зависимости от серийности производства (рисунок 1). Например, учитывая особенности производства сварных заготовок и отливок, можно определить серийность N , при которой предпочтение следует отдавать отливкам

$$N \geq \frac{P_o - P_c}{C_c - C_o}, \quad (1)$$

где P_o и P_c – стоимость подготовки производства отливок и сварных заготовок;

C_o и C_c – себестоимость отливки и сварной заготовки.

Способ изготовления отливок выбирают с учетом не только себестоимости самой отливки, но и себестоимости изделия.



- 1 – сварные заготовки;
2 – отливки

Рисунок 1 – Сравнительная стоимость сварных заготовок и отливок

Известно, что объем механической обработки и ее стоимость в значительной мере определяются точностью размеров и конфигурацией отливок (рисунок 2). На основании технико-экономического анализа выбирают технологический процесс, который закладывается в проект цеха, разрабатываемый на заданную мощность (т/год). Выбор оптимального технологического процесса изготовления отливок может быть произведен по сумме приведенных затрат на изготовление деталей, которые могут быть рассчитаны по формуле

$$\Pi = (C_{л} + C_{м}) + E \cdot (K_{л} + K_{м}), \quad (2)$$

где Π – сумма приведенных затрат на изготовление деталей;

$C_{л}$ и $C_{м}$ – себестоимость отливок и механической обработки, тнг/т или тнг/шт;

$E \in [0,12]$ – коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K_{л}$ и $K_{м}$ – капитальные вложения в литейном и механическом цехах по принятым вариантам технологии производства отливок и их механической обработки, тнг.



- 1 – себестоимость отливок;
- 2 – себестоимость механической обработки;
- 3 – себестоимость деталей;
- 4 – оптимальный процесс

Рисунок 2 – Соотношение себестоимости отливок себестоимости механической обработки отливок, себестоимости деталей в зависимости от точности отливок

При разработке проекта особое внимание должно быть уделено возможности применения комплексно-типового проектирования.

Литейное производство является весьма сложным комплексом разнообразных технологических операций, складывающихся из двух циклов: “металлургического” (плавка, заливка, первичная обработка отливок) и “формовочного” (приготовление смесей, изготовление форм и стержней, сборка и выбивка форм). Многовариантность этих операций, наличие большого количества независимых переменных, влияющих на качество литья, дискретность технологических процессов создают значительные трудности при автоматизации. В настоящее время удается автоматизировать лишь отдельные операции, хотя их круг неуклонно расширяется. Комплексная автоматизация, предусматривающая превращение литейного цеха из объединения отдельных участков в интегрированное целое, части которого закономерно взаимодействуют в условиях выполнения определенной производственной программы, пока остается задачей будущего.

Проектирование цеха должно осуществляться на основе системного подхода с учетом достижений теории построения производственных систем.

Перспективными являются разработки высокопроизводительных автоматов, основанных на эффективных технологических процессах; автоматических комплексов и агрегатов непрерывного действия,

использующих ЭВМ для оптимизации параметров технологии; автоматизированных систем управления технологическими процессами в литейном производстве. Важнейшим мероприятием повышения уровня автоматизации является создание автоматических промышленных роботов с программным управлением для выполнения монотонных, физически тяжелых работ. Наряду с непосредственным созданием автоматического оборудования получают все большее развитие работы по автоматизации технологической подготовки производственных отливок и созданию систем автоматизированного проектирования технологии и конструирования оснастки и оборудования.

Для решения указанных проблем целесообразно широко использовать современные достижения в области системотехники, исследования операций, математической логики, теории оптимального управления, теории надежности, электронно-вычислительной техники.

Проект цеха должен включать в себя следующие основные элементы:

- программу цеха;
- режим работы с указанием фондов времени по отделениям;
- технологические процессы изготовления различных групп отливок;
- расчеты оборудования, площадей и транспортных средств всех производственных и вспомогательных отделений цеха;
- расчет по укрупненным показателям потребного количества основных и вспомогательных материалов;
- расчет потребности в электроэнергии, сжатом воздухе, воде (для технологических, производственных и бытовых нужд);
- анализ грузопотоков в основных и вспомогательных отделениях цеха;
- компоновку (размещение) основного и вспомогательного оборудования;
- выбор основных элементов конструкции здания цеха;
- расчет технико-экономических показателей.

Последовательность и методика выполнения проекта цеха изложена в работах [1-3].

1.2 Состав и основные параметры литейных цехов

Литейные цехи состоят из производственных и вспомогательных отделений, размещенных в различных пролетах и объединенных транспортными средствами таким образом, чтобы маршруты грузопотоков исходных материалов, формовочных и стержневых смесей, форм, стержней, готовых отливок и отходов не пересекались. Ниже

приведена номенклатура производственных, вспомогательных отделений и складов. Производственные отделения:

- плавильное с участком навески шихты;
- формовочное (с установками для сушки форм);
- заливочно-выбивное;
- стержневое (со складом стержней и сушилами);
- смесеприготовительное;
- термообрубное (с участками исправления дефектных отливок, гидроиспытания, грунтовки и т.п.).

Вспомогательные отделения и участки:

- подготовки шихтовых материалов;
- подготовки формовочных материалов;
- ремонта ковшей и плавильных печей;
- регенерации формовочных песков;
- приготовления литейной окраски;
- трансформаторный;
- насосная станция и компрессорная;
- ремонтные службы;
- вентиляционные и пылеочистные установки;
- инструментальная кладовая;
- цеховые лаборатории.

Склады:

- шихты и флюсов;
- топлива;
- формовочных материалов;
- огнеупоров;
- вспомогательных материалов;
- моделей и стержневых ящиков;
- опок;
- готовых отливок.

Выбор основных параметров литейных цехов и оптимизацию проектных решений следует проводить на основе классификации, включающей следующие признаки: вид литейных сплавов, массу выпускаемых отливок, серийность производства отливок, отраслевое назначение отливок, технологический процесс получения отливок, сложность и назначение отливок, степень механизации и автоматизации производственных процессов, режим работы, объем производства (мощность).

По виду литейных сплавов принята следующая индексация цехов: серого чугуна СЧ; ковкого чугуна КЧ; высокопрочного чугуна ВЧ; сталелитейные из углеродистой стали УС; легированной стали ЛС;

марганцовистой стали ГЛ; цветных сплавов тяжелых – бронзолатунных БрЛ, цинковых ЦС и легких алюминиевых АЛС, магниевых МГС, титановых ТС и т.п.

Вид сплава определяет в первую очередь тип и конструкцию плавильных агрегатов, основное оборудование и транспортные средства шихтового, плавильного и заливочного отделений, а также способ изготовления отливок.

Классификация литейных цехов по массе отливок тесно связана с видом сплава и серийностью производства отливок (таблица 1).

В зависимости от количества отливок по годовой программе различают цехи единичного, мелкосерийного, серийного, крупносерийного и массового производства (таблица 2).

Таблица 1 – Классификация литейных цехов по максимальной массе отливок, кг

Характеристика цеха Класс цеха	Отливки из черных и тяжелых цветных сплавов при производстве	Отливки из легких цветных сплавов		в кокили	под давлением
		массовом и крупносерийном	единичном, мелкосерийном, серийном		
I	Мелких отливок	до 10	до 100	до 1,0	до 0,2
II	Средних отливок	до 50	до 1000	до 6,0	до 1,0
III	Крупных отливок	до 500	до 5000	до 25,0	до 6,0
IV	Тяжелых отливок	более 500	до 20000	более 25,0	более 6,0
V	Особо тяжелых отливок	-	более 200000	-	-

Серийность производства определяет способ изготовления отливок, уровень механизации и автоматизации литейных цехов. Применение автоматических линий и использование современных средств технической кибернетики наиболее эффективно в цехах крупносерийного и массового производства.

По отраслевому назначению отливок литейные цехи условно можно подразделить на производящие отливки для:

- общего машиностроения, электромашиностроения, арматуростроения и т.п.; масса отливок не превышает 100 кг, производство серийное, крупносерийное и массовое;

- среднего машиностроения, типа текстильного, автомобильного, тракторного и сельскохозяйственного; масса отливок преимущественно до 100 кг, максимальная 1000 кг, производство серийное или мелкосерийное, в автомобилестроении массовое;

- крупного машиностроения типа дизелестроения, компрессоростроения, судостроения, среднего станкостроения; масса отливок преимущественно до 500 кг, максимальная до 5000 кг, производство серийное или мелкосерийное;

- тяжелого машиностроения (турбостроение, крупное станкостроение, горно-обогатительное оборудование и т.п.); масса отливок преимущественно до 2000 кг, максимальная до 15000 кг, производство мелкосерийное или индивидуальное;

- особо тяжелого машиностроения (изготовление прокатных станов, блюмингов, тяжелых станков, атомно-энергетических установок и т.п.); масса отливок преимущественно от 2000 до 10000 кг, максимальная до 60000...80000 кг.

Таблица 2 – Классификация литейных цехов по серийности производства отливок из черных сплавов

Масса отливки, кг	Число отливок одного наименования по годовой программе, шт				
	единичное, менее	Мелкосерийное	серийное	крупносерийное	массовое, более
≤8	500	501...6000	6001...30000	30001...200000	200000
8...20	300	301...3000	3001...15000	15001...100000	100000
20...50	200	201...2500	2501...10000	10001...60000	60000
50...100	150 151 ... 2000	2001...8700	8701...53000	53000	
100...250	95	96...1400	1401...7000	7001...37500	37500
250...500	75	76...1000	1001...4500	4501...25000	25000

500...1000	50	51...600	601...3000	3001...20000	20000
1000...2000	40	41...400	401...2000	2001...13500	13500
2000...5000	20	21...150	151...550	551...4500	4500
5000...10000	10	11...50	51...100	101...1000	1000
10000...20000	7	8...25	26...50	51	-
□20000	5	6...12	13...30	-	-

Отраслевая принадлежность литейных цехов определяет серийность, выбор технологического процесса получения отливок в ряде случаев предметную специализацию, что определяет организацию производства.

По технологическому процессу получения отливок литейные цехи делят на две группы: цехи, в которых отливки изготавливают в объемных разовых или полупостоянных песчаных формах; цехи, в которых применяют специальные способы литья (по выплавляемым моделям, в металлические, оболочковые формы и т.д.). Классификация по технологическому процессу тесно связана с серийностью производства, видом литейных сплавов и массой отливок. Она определяет вид оборудования, применяемого для основных отделений проектируемого цеха, выбор транспортных средств, уровень механизации и автоматизации и организацию работы.

По сложности и назначению отливок литейные цехи подразделяют на следующие категории.

Цехи, производящие простые по конфигурации малоответственные отливки с толщиной стенок не менее 6 мм, из серого чугуна марок СЧ10 и СЧ15 (ГОСТ 1412-85) или из углеродистой стали (ГОСТ 977-75) с толщиной стенок не менее 12 мм. Количество стержней в форме не более четырех, расход стержневой смеси на 1 т годных отливок не более 0,3 м³. Примеры отливок: печная арматура, фундаментные плиты, маховики, строительные детали, ручки и т.п. Механической обработке подвергается одна - две поверхности отливок.

Цехи, производящие отливки средней сложности. В этом случае на моделях имеются отъемные части, количество стержней сложной конфигурации в форме достигает 5 шт, а расход стержневой смеси достигает 0,5 м³ на 1 т годных отливок. В таких цехах до 50% отливок изготавливают "по сухому" или в формах из жидкостекольных смесей, отверждаемых углекислым газом, либо в формах из холоднотвердеющих смесей. Механической обработке подвергаются наружные и внутренние поверхности отливок, толщина стенок их не менее 6...8 мм.

Примеры отливок: шестерни, шкивы, крышки редукторов, рамы дизелей и компрессоров и т.п.

Цехи, производящие сложные отливки ответственного назначения из литейных сплавов высоких марок (чугуны марок СЧ25 и выше, ВЧ38-17 по ГОСТ 7293-85 и др., легированных и углеродистых сталей повышенного качества, сплавов цветных металлов). Модели отливок имеют два и более разъемов, отъемные части, количество стержней в форме может достигать нескольких десятков, расход стержневой смеси 1,5 м³ и более на 1 т. Отливки подвергаются всесторонней механической обработке и испытаниям на герметичность, ультразвуковому или иному контролю с целью обнаружения скрытых дефектов. Примеры отливок: ответственные детали дизелей, компрессоров, станков и т.п.

Классификация цехов по сложности и назначению отливок определяет выбор технологического процесса (способ формообразования, конструкцию модельной оснастки и др.), тип оборудования в формовочных и стержневых отделениях, соотношение площадей этих отделений, объем и способы осуществления финишных операций, съем с 1 м² площади (таблица 3) и другие технико-экономические характеристики.

Таблица 3 – Зависимость съема с общей площади цеха от степени сложности отливок

Группа сложности	Съем, т/м ² *год	
	чугунные отливки	стальные отливки
1	1,8...2,0	1,5...1,7
2	1,3...1,5	0,9...1,1
3	1,0...1,2	0,8...1,0

По степени механизации производственных процессов литейные цехи подразделяются на:

- маломеханизированные, где изготовление форм и стержней, сборка, заливка и другие операции выполняются с помощью периодически действующих механизмов или вручную;

- среднемеханизированные, где механизированы основные процессы (изготовление форм и стержней, приготовление формовочных и стержневых смесей и т.п.) и транспортные операции (с помощью транспортеров и элеваторов для формовочных материалов и смесей и мостовых кранов и тельферов для форм и стержней, шихты, жидкого металла и готовых отливок);

- комплексномеханизированные, где все производственные процессы механизированы; транспортные операции выполняются с помощью конвейеров или рольгангов;

- автоматизированные, где применяются автоматические линии для приготовления и транспортировки форм и стержней, транспортировки шихтовых материалов и готовых отливок, манипуляторы (роботы) для сборки и заливки форм и выполнения других операций.

По режиму работы литейные цехи подразделяются на два основных вида:

- со ступенчатым режимом при разделении производственных процессов по времени и их выполнении последовательно на одних и тех же площадях, в этом случае изготовление форм, например, производят в первую смену, заливку их металлом – во вторую, выбивку – в третью;

- с параллельным режимом при одновременном выполнении производственных процессов во всех отделениях цеха; вредные операции обязательно локализуются с помощью герметизированных устройств с местными отсосами; параллельный режим может быть односменным, двухсменным и трехсменным, наиболее распространен двухсменный, так как при односменном недостаточно полно используется оборудование цеха, а при трехсменном трудно обеспечить исправное состояние основного оборудования и транспортных средств.

В зависимости от массы отливок и характера их производства в различных отделениях цехов возможно применение комбинированного режима работы. Например, производство крупных отливок в кессонах осуществляют по ступенчатому режиму, а мелких и средних на конвейерах – по параллельному режиму. Режим работы выбирается в зависимости от серийности и объема производства, преимущественной и максимальной массы отливок, рода металла и типа плавильных печей, способа формообразования, уровня механизации и автоматизации. Мощность цеха (годовой объем производства отливок в тоннах) определяется в зависимости от массы отливок (таблица 4).

Таблица 4 – Классификация литейных цехов по объему производства (мощности)

Класс цеха	Масса отливок, кг	Мощность цеха, т/год		
		малая, до	средняя	большая, более
1	до 100	2000	2000...6000	6000
2	100...1000	3000	3000...9000	9000
3	100...5000	4000	4000...10000	10000
4	5000...20000	6000	6000...12000	12000
5	более 20000	8000	8000...15000	15000

Оптимальная мощность выбирается по критериям интенсивного использования высокопроизводительного оборудования, эффективности капитальных вложений, создания надлежащих санитарно-технических условий производства и т.д. Приведенная классификация (таблица 4) не учитывает специализацию цехов, существенно влияющую на выбор оптимальной мощности.

Специализация цехов может осуществляться по технологическому или предметному (детальному) признаку. С точки зрения специализации отливки можно разделить на следующие виды:

- производимые в массовом количестве в объемных песчаных формах, например радиаторы отопительные, ванны купальные, котлы отопительные, изложницы, трубы, кольца поршневые, маслоты, фитинги и т.д.;

- производимые специальными методами литья, например трубы канализационные, напорные и фасонные части к ним, детали приборов, двигателей внутреннего сгорания, лопатки турбинные, инструмент и т.д.;

- получаемые в машино - и станкостроении мелкими сериями или единичными, например в станкостроении, компрессоростроении, дизелестроении, турбостроении и т.д.

Оптимальные мощности специализированных литейных цехов устанавливаются в зависимости от способа формообразования, массы отливок и вида сплава (таблица 5).

Таблица 5 – Оптимальный объем производства (мощность) специализированных литейных цехов

Сплав	Назначение отливок и признаки специализации	Масса отливок, кг	Объем производства, т/год
1	2	3	4
Производство отливок в объемных песчаных формах			
1 Специализация по отливкам			
Серый чугун	Радиаторы отопительные	10	35000...70000
	Ванны купальные	120	15000...25000
	Котлы отопительные	150	20000...30000
	Кольца поршневые	0,05...10	5000...10000
2 Специализация технологическая			
Массовое и крупносерийное производство			

Серый чугун Ковкий чугун	Отливки автотракторные	100...300	5000...125000
	То же	400...500	15000...300000
Сталь	То же	25...60	30000...80000
	Отливки вагонные и др.	100...200	50000...100000
	То же	200...500	10000...125000
3 Специализация технологическая Серийное и мелкосерийное производство			
Серый чугун	Отливки станкостроительные, строительные и др.	100...1000	40000...60000
	То же	1000...5000	30000...40000

Продолжение таблицы 5

Сплав	Назначение отливок и признаки специализации	Масса отливок, кг	Объем производства, т/год
1	2	3	4
Сталь	Отливки компрессорные, отливки для прессов и т.п.	100...1000	40000...50000
	То же	1000...5000	30000...40000
4 Специализация технологическая Мелкосерийное и единичное производство			
Серый чугун	Отливки станкостроительные и строительные	1000...50000	25000...35000
	Отливки машиностроительные (базовые цехи)	500...1000	40000...60000
Сталь	То же	1000...5000	30000...40000
	Отливки для экскаваторов, прессов и т.п.	1000...50000	30000...60000
Производство отливок специальными способами 1 Специализация по отливкам			
Серый чугун	Трубы канализационные, центробежное литье	□(50...150)	45000...70000
	Трубы напорные, центробежное литье	□(200...300)	100000
	То же	□(350...1000)	160000
2 Специализация технологическая			

Серый чугун	Фасонные отливки в металлических формах	10...500	20000...35000
Сталь	То же	50...100	40000...80000
	То же	10...30	60000...80000
Алюминиевые сплавы	То же	5...20	5000..12000
Бронза	То же	1...2	10000...15000
3 Литье под давлением			
Бронза	Отливки фасонные	0,2...1	2000...3000
Цинковые сплавы	То же	1...5	5000...6000
Алюминиевые сплавы	То же	1...5	1000...6000

1.3 Расчет программы и фондов времени

Годовая программа производства отливок различного назначения является основной исходной характеристикой для проектирования цеха. В зависимости от характера производства программа может быть точной (поддетальной), приведенной или условной. По точной программе проектируют цехи крупносерийного и массового производства на основе технологических карт на все отливки, по приведенной программе – цехи серийного производства на основе технологических карт для типовых отливок (представителей разных групп по массе), а по условной программе – цехи мелкосерийного и единичного производства на основе технологических процессов, принятых для отливок разного назначения и массы.

Форма расчета приведенной программы представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Программа серийного и мелкосерийного производства отливок

Изделия и группы отливок по массе	Число изделий на годовую программу	Масса обработанных деталей, т		Выпуск отливок, т	
		на изделие	на годовую программу	на изделие	на годовую программу
Перечень изделий Запасные части Поставки по кооперации Отливки для собственных нужд					
Итого					

Различают календарный, номинальный и фактический фонды времени.

Календарный фонд для оборудования и рабочих составляет

$$\Phi_k = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ ч/год}$$

Время, в течение которого по принятому режиму должны работать оборудование и рабочие без учета потерь, составляет номинальный фонд Φ_n . При 41-часовой рабочей неделе для оборудования:

$$\Phi_n = 2070 \text{ ч/год при односменном режиме;}$$

$$\Phi_n = 4140 \text{ ч/год при двухсменном режиме;}$$

$$\Phi_n = 6210 \text{ ч/год при трехсменном режиме работы цеха.}$$

В реальных условиях потери не избежны. Простои оборудования возникают вследствие необходимого ремонта, а для рабочих следует учесть отпуск, возможные невыходы на работу по болезни и другим уважительным причинам. Поэтому номинальное время не может быть положено в основу расчета оборудования и штата. Этот расчет производится по действительному фонду времени Φ_d , определяемому как разность номинального фонда и суммарных потерь времени. Для рабочих, пользующихся отпуском 15 дней, 18 дней или 24 дня с учетом 8-ми праздничных дней в году и потерь времени по болезни и другим уважительным причинам, фонды времени составляют соответственно: $\Phi_{d1} = 1860$ ч/год, $\Phi_{d2} = 1840$ ч/год, $\Phi_{d3} = 1820$ ч/год, а при 6-часовом рабочем дне – $\Phi_d = 1610$ ч/год.

Действительный фонд времени работы оборудования определяется с учетом потерь времени на ремонт, вызывающий простои. Частота простоев и величина потерь времени определяется видом оборудования и режимом работы цеха (таблица 7).

Расчеты оборудования производят по действительному фонду времени. Необходимо учитывать возможные отклонения от среднечасовых данных, производительности агрегатов или поточных линий, связанные с неравномерностью производственного цикла.

Таблица 7 – Действительный (расчетный) фонд времени работы оборудования (рабочая неделя 41 ч, 8 праздничных дней в году) в зависимости от числа рабочих смен

Оборудование	Одна смена		Две смены		Три смены	
	потери, от Φ_n , %	Φ_d , ч/год	потери, от Φ_n , %	Φ_d , ч/год	потери, от Φ_n , %	Φ_d , ч/год
Литейное оборудование:						

Цехов мелкосерийного и серийного производства 2	2030	4	3975	5	5900	
Цехов крупносерийного и массового производства	-	-	5	3975	7	5775
Особо крупное и сложное (пескогидрокамеры, дробетные камеры, большие встряхивающие столы)	-	-	9	3770	11	5525
Вагранки закрытые, с подогревом дутья (блок из 2-х штук при одном рекуператоре)	2	2030	6	3890	10	5840
Вагранки на холодном дутье (блок из 2-х штук)	-	2070	-	4140	-	6210
Индукционные печи, типа ИЧТ	3	2010	6	3890	40	5840

Продолжение таблицы 7

Оборудование	Одна смена		Две смены		Три смены	
	потери, от Φ_n , %	Φ_d , ч/год	потери, от Φ_n , %	Φ_d , ч/год	потери, от Φ_n , %	Φ_d , ч/год
Дуговые печи, емкостью: - 6 т; - более 25 т	- -	- -	6 -	3890 -	10 -	5840 7620
Печи плавильные для алюминиевых сплавов	3	2010	4	3975	6	5840
Печи плавильные для медных сплавов	3	1775	-	3510	-	5160
Печи термические элеваторные	-	-	5	3935	8	5715
Печи сушильные конвейерные	-	-	5	3935	7	5775
Сварочное оборудование	3	2010	5	3935	7	5775
Автоматизированные формовочные и стержневые линии	-	-	12	3645	14	5340

2 РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТДЕЛЕНИЙ

2.1 Расчет оборудования плавильных отделений

Перечень операций, выполняемых в плавильных отделениях, приведен в таблице 8.

При проектировании плавильных отделений необходимо решить следующие вопросы:

- выбрать типы плавильных агрегатов, раздаточных и заливочных ковшей;
- определить производительность одной плавильной печи и емкость ковшей;
- рассчитать количество плавильных агрегатов и ковшей;
- выбрать способ транспортировки шихты и ее загрузки в плавильные печи и рассчитать транспортные средства;
- выбрать способ транспортировки жидкого металла к заливочному участку и рассчитать транспортные средства.

Таблица 8 – Основные технологические операции, выполняемые в плавильных отделениях

Основные технологические Операции	Вспомогательные технологические операции
Получение шихтовых материалов и загрузка их в закрома Заполнение шихтовыми материалами суточных бункеров, оснащенных дозирующими устройствами Набор составляющих шихты в загрузочные устройства Загрузка шихты в плавильные печи Плавка, термовременная и внепечная обработка (рафинирование, модифицирование и т.п.) Передача жидкого металла на заливку форм Подготовка печей для следующей плавки	Получение огнеупорного кирпича и материалов для футеровки печей и ковшей Ремонт (текущий и капитальный) футеровки печей и ковшей Сушка и подогрев ковшей Уборка и переработка шлаков и отходов Очистка отходящих газов и отработанной воды

Расчет плавильных отделений следует начинать с расчета баланса металла – необходимого количества жидкого металла и шихты для обеспечения годового производства отливок. Пример такого расчета приведен в таблице 9 для цеха, производящего в год 40 тыс. отливок.

На годовую программу потребность составляет:

жидкого металла: $29240+15950+17020=62210$ т;

металлозавалки (шихты): $30800+17000+18000=65800$ т.

Таблица 9 – Баланс металла в цехе мощностью 40000 т/год

Статьи баланса	Участки цеха (№ конвейеров)					
	тяжелое литье		конвейер №1		конвейер №2	
	т/год	%	т/год	%	т/год	%
Годные отливки	20000	65	10000	60	10000	56
Литники, прибыли	7084	23	4420	26	5220	29
Сливы и сплески	1540	5	1020	6	1080	6
Брак (общий)	616	2	510	3	720	4
1001700010018000100Итого жидкого металла	29240	95	15950	95	17020	95
Угар (невозвратные потери)	1540	5	850	5	900	5
30800						
Всего металлозавалка (округленно)						

Плавильные отделения в чугунолитейных цехах. Типы плавильных печей в чугунолитейных цехах выбираются в зависимости от вида чугуна. Так, в цехах серого чугуна могут применяться вагранки коксовые, газовые или коксогазовые (с холодным или горячим дутьем), электрические индукционные, тигельные и дуговые печи. Возможно также применение дуплекс-процесса, например коксовая (газовая) вагранка – индукционная тигельная или канальная электрическая печь, дуговая печь – индукционная печь, индукционная тигельная печь – индукционная канальная печь и т.д.

Современные ваграночные установки должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) Плавка должна вестись с минимальным расходом кокса, не превышающим 12% от металлозавалки;
- 2) В отходящих газах содержание пыли не должно превышать 0,15 г/м³, окиси углерода 0,1%;
- 3) Температура выплавленного чугуна должна быть не ниже 1400...1420°С;
- 4) Трудоемкие операции по взвешиванию, транспортировке и загрузке шихты должны быть автоматизированы;
- 5) Тепло отходящих газов (физическое и химическое) следует использовать для подогрева дутья и бытовых нужд в цехе.

Производительность одновременно работающих вагранок определяется количеством необходимого металла для годовой производительности цеха. В цехах крупного, тяжелого и особого тяжелого литья при определении производительности вагранок учитывается также наибольшая масса отливок. Требуемое количество металла должно на-

капливаться не более 2 ч в цехах особо тяжелого и уникального литья, не более 1 ч в цехах среднего и крупного литья.

Производительность вагранок определяется диаметром шахты в плавильном поясе:

Производительность, т/ч	5	7	10	15	20
Диаметр шахты, мм	900	1100	1300	1600	1900

Удельная производительность (на 1 м² сечения шахты) колеблется от 8 до 12 т/ч·м².

Необходимое количество вагранок рассчитывается по следующим формулам

$$n = \frac{Q \cdot K_H}{\Phi_d \cdot q},$$

$$N_B = 2n, \quad (3)$$

где q – производительность вагранки, т/ч;

Q – годовое количество жидкого металла, т;

Φ_d – годовой действительный фонд времени работы вагранки, ч;

n – количество одновременно работающих вагранок;

N_B – количество вагранок, которое необходимо установить в цехе;

K_H – коэффициент неравномерности потребления металла (обычно $K_H=1,2$).

Количество электрических печей, которое необходимо установить в цехе, может быть рассчитано по формуле

$$N_{эп} = \frac{Q_G \cdot \tau \cdot K_H}{E_{п} \cdot \Phi_d}, \quad (4)$$

где Q_G – годовое количество шихты по балансу металла, т;

$E_{п}$ – емкость печи, т;

τ – продолжительность одной плавки, ч;

K_H – коэффициент неравномерности (обычно $K_H=1,2$).

Характеристики индукционных электрических печей для плавки чугуна приведены в таблице 10.

Плавильные отделения в сталелитейных цехах. В сталелитейных цехах, кроме плавильных агрегатов, предусматривают установки для специальной обработки жидкого металла, например для вакуумирования, рафинирования, дегазации и т.п. Для выплавки стали обычно устанавливают электрические дуговые или индукционные печи. Их параметры представлены в таблице 11. В цехах, производящих отлив-

ки ответственного назначения или с особыми свойствами, применяют дуплекс-процесс: шихту расплавляют в основной дуговой печи, где производят обессеривание и дефосфорацию, затем жидкий металл доводят по составу и температуре в кислой индукционной или дуговой печи.

Таблица 10 – Основные характеристики индукционных электрических печей для плавки чугуна

Тип печи	Производительность, т/ч	Установленная мощность, кВт (кВ*А)	Расход электроэнергии, кВт*ч/т	Показатели
ИЧТ-1/04	0,4	400	650...700	Температура металла 1400°С, угар и потери 2...4%. При перегреве до 1550°С производительность снижается на 10%
ИЧТ-2,5/1	1,25	1000	650...700	
ИЧТ-6/1,6	1,9	1600	600...650	
ИЧТ-10/2,5	3,1	2500	600...650	
ИЧТ-16/2,5	3,5	2500	600...650	

Продолжение таблицы 10

Тип печи	Производительность, т/ч	Установленная мощность, кВт (кВ*А)	Расход электроэнергии, кВт*ч/т	Показатели
ИЧТ-1/0,18	2,0	180	60...80	Производительность и расход электроэнергии указаны при перегреве на 100°С. Применяются как миксеры
ИЧТ-2,5/0,63	9,5	630		
ИЧТ-6/1	18,0	1000		
ИЧТ-10/1,6	27,0	1600		
ИЧКМ-2,5	5,9	630	30...40	Температура металла менее 1550°С. Производительность и расход электроэнергии указаны при перегреве на 100°С. применяются как миксеры
ИЧКМ-4	11,9	630		
ИЧКМ-6	11,9	630		
ИЧКМ-10	24,6/10,4	1260/630		
ИЧКМ-16	24,6/10,4	1260/630		
ИЧКМ-25	46,8/20,4	2520/1260		

Таблица 11 – Основные характеристики дуговых и индукционных сталеплавильных печей

Тип печи	Емкость, т	Производительность, т/ч	Установленная мощность, кВт (кВ*А)	Расход электроэнергии, кВт*ч/т	Примечания
Индукционные тигельные повышенной частоты					

ИСТ-0,06	0,06	0,05	80	1000...	Температура металла менее 1700°С. Производительность указана для кислого процесса, при основном процессе снижается на 15...20%
ИСТ-0,16	0,16	0,10	140	1150	
ИСТ-0,25	0,25	0,25	250	1000...	
ИСТ-0,4	0,40	0,26	350	1150	
ИСТ-1	1,00	0,57	800	850...900	
ИСТ-2,5	2,50	1,75	2000	850...900	
ИСТ-6	6,00	3,00	2500	775	
ИСТ-10	10,00	3,50	4000	775	
Дуговые прямого действия					
ДСП 0,5	0,5	0,33	630	650...700	Производительность указана для кислого процесса. Применение кислорода увеличивает ее на 10...20%. При основном процессе она меньше в 1,2-1.3 раза
ДСП 1,5	1,5	0,94	1250	650...700	
ДСП 3	3,0	1,56	2000	650...700	
ДСП 6	6,0	2,70	4000	700...750	
ДСП 12	12,0	4,20	8000	700...750	
ДСП 25	25,0	6,60	12500	700...750	
ДСП 50	50,0	11,40	20000	700...750	

При проектировании плавильных отделений сталелитейных цехов необходимо учитывать круглосуточную работу плавильных агрегатов, вследствие чего действительный фонд времени их работы превышает действительный фонд времени работы формовочных отделений, как правило, работающих по двухсменному режиму.

Разница действительных фондов времени работы плавильного и формовочного отделений составляют около 4000 ч.

Для использования жидкого металла следует предусмотреть одно из мероприятий: трехсменный параллельный режим при соответствующем ремонте оборудования (применяется в цехах мелкого литья), дополнительную площадь в заливочном отделении для установки и сборки форм в третью смену (применяется в цехах серийного и индивидуального производства) или производство слитков для кузнечно-го производства.

Емкость и количество плавильных печей рассчитывают по общему количеству стали на годовую программу. Используются формулы, аналогичные (4), при этом учитывается количество стали, необходимое для производства фасонных отливок, и количество стали, необходимое для производства слитков.

Плавильные отделения в цехах цветного литья. Для плавки цветных сплавов применяют электрические и топливные печи, выбор их определяется температурой плавления и плотностью сплава. В настоящее время наибольшее применение находят индукционные тигельные или каналные и дуговые печи, характеристики которых приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Основные характеристики печей для плавки цветных сплавов

Назначение и характеристика	Тип печи	Производительность, т/ч	Установленная мощность, кВт (кВ*А)	Расход электроэнергии, кВт*ч/т
Для сплавов на медной основе: Индукционные промышленной частоты: т – тигельные к – канальные	ИЛТ-1М	0,6	400	Для латуни и бронзы 200...300, для медно-никелевых сплавов 300...400, для никелевых сплавов 600
	ИЛТ-2,5	1,4	1000	
	ИЛТ-10	2,1	1600	
	ИЛТ-25	6,6	5600	
	ИЛК-1,0	0,9	400	
	ИЛК-1,6	2,7	1000	
	ИЛК-2,5	2,7	1000	
	ИЛК-6,0	3,3	1600	
	ИЛК-16,0	4,0	2400	
	Дуговые	ДМБ-0,25	0,35	
ДМБ-0,5		0,50	400	200...350
ДМБ-1,0		0,70	400	200...300

Продолжение таблицы 12

Назначение и характеристика	Тип печи	Производительность, т/ч	Установленная мощность, кВт (кВ*А)	Расход электроэнергии, кВт*ч/т
Для алюминиевых сплавов: Индукционные промышленной частоты	ИАТ-0,4	0,16	80	900
	ИАТ-1,0	0,40	400	800
	ИАТ-2,5	0,90	1000	750
	ИАТ-6М	1,40	1600	725
Для магниевых сплавов: Индукционные тигельные	ИГТ-0,25	0,10	200	450...550
	ИГТ-0,6	0,30	250	
	ИГТ-1,6	1,00	1000	
	ИГТ-4	1,75	1600	

Количество печей определяется в зависимости от их производительности и количества металла, необходимого на годовую программу, определяемому по балансу металла с учетом коэффициента неравномерности. Используется формула, аналогичная (3).

Площадь и габариты плавильных отделений рассчитываются в зависимости от габаритных размеров плавильных агрегатов, необходимых проходов и проездов для транспортных средств, доставляющих шихту к плавильным печам и передачи жидкого металла в заливочное отделение, норм техники безопасности и т.п. Размеры пролетов плавильных отделений приведены в таблице 13. Размеры проходов, проез-

дов и площади, необходимые для выполнения ремонтных работ (ремонт ковшей, сводов дуговых электрических печей и т.п.), определяется при разработке плана размещения оборудования.

2.2 Расчет оборудования смесеприготовительных отделений

В состав смесеприготовительных отделений входят участки подготовки компонентов смесей (песков, глины, отработанной смеси, связующих, противопригарных и других добавок), приготовления формовочных и стержневых смесей и лаборатория для контроля качества смесей.

Подготовка компонентов смесей должна быть изолирована, поэтому оборудование для сушки песка, размола глины, регенерации отработанных смесей располагают в отдельных помещениях; операции, включая транспортировку, механизировать или автоматизировать.

Таблица 13 – Размеры пролетов плавильных отделений

Типы печей	Емкость печей, т. Производительность вагранок, т/ч	Расстояние между осями печей и вагранок, м*	Размеры пролетов, м			Грузоподъемность крана для загрузки шихты, т
			ширина	высота до низа несущей конструкции	высота до головки подкранового рельса	
Вагранки с подогревом дутья и очисткой газов	5	8	18	16,8	-	1,5
	7	10	24	16,8	-	1,5
	10	10	24	16,8	-	2,5
	15	12	30	21,6	-	4,5
	20	12	36	21,6	-	4,5
Индукционные: ИСТ-1; ИЧТ-1; ИЛТ-1	1,0	5,0	24	10,8	8,15	5
ИЧТ-2,5; ИСТ-2,5; ИЛТ-2,5	6,0	24	10,8	8,15	5	
ИСТ-6; ИЧТ-6	6,0	6,0	24;30	12,6	8,15	10
ИСТ-10; ИЧТ-10	10,0	6,5	24;30	12,6	9,65	15
ИЧТ-16	16,0	7,0	24;30	16,2	9,65	20
Дуговые:	3,0	9,5/14,5	18;24	10,8	8,15	10

ДСП-3	6,0	12/18	24;30	12,6	9,65	20/5
ДСП-6	12,0	14/18	24;30	14,4	11,45	30/5
ДСП-12	25,0	12/34	24;30	23,4	18,05	50/10
ДСП-25	50,0	14/38	24;30	27,0	21,65	20/20
ДСП-50						80/20

*Расстояние между осями печей: в числителе – расположенных друг к другу сливными желобами, в знаменателе – загрузочными окнами.

Приготовление смесей, их доставка к формовочным машинам, уборка просыпи и отработанной смеси должны быть объединены в одну транспортную автоматизированную систему, оборудованную необходимыми элементами сигнализации и блокировки. Участие рабочих должно быть сведено к наблюдению за работой агрегатов, исправлению неполадок в системе и контролю качества смесей.

Различают централизованные смесеприготовительные отделения, в которых изготавливается несколько типов смесей, и локальные отделения, в которых изготавливается смесь для одной формовочной или стержневой линии. В современных цехах реализуется тенденция децентрализации смесеприготовительных отделений.

Расчет оборудования для смесеприготовительных отделений производится на основе баланса формовочных и стержневых смесей для обеспечения годового производства отливок. Потребное количество смесей может быть определено тремя методами:

- на основе карт или ведомостей технологического процесса изготовления всех отливок или отливок-представителей, применяется при проектировании цехов массового или крупносерийного производства;
- на основании удельных норм расхода смесей на 1 т годных отливок, применяется при мелкосерийном производстве отливок;
- на основании статистических данных расхода смесей в различных отраслях машиностроения.

Примеры приведены в таблицах 14 и 15.

При расчете баланса принимают следующие значения плотностей смесей: формовочной и стержневой в разрыхленном состоянии 1,2 т/м³, уплотненной формовочной 1,6 т/м³, уплотненной стержневой 1,8 т/м³. Баланс формовочных и стержневых смесей и расход основных формовочных материалов на годовую программу рассчитывают по таблице 16. Количество смеси на просыпку принимается 10...12%.

Таблица 14 – Расход формовочной и стержневой смеси на 1 т годных отливок

		Расход по видам смесей, м ³ /т

Масса отливок, кг	Общий рас- ход смесей, м ³ /т	наполнительная	облицовочная	стержневая
менее 10	5,5...6,0	4,7...5,2	0,4	0,4
10...50	5,5...4,5	3,8...4,2	0,5	0,5
50...100	4,0...4,5	3,5...3,8	0,5	0,5
100...500	3,8...4,0	3,0...3,2	0,5	0,5
500...1000	3,6...3,8	2,8...3,0	0,5	0,6
1000...5000	3,5...3,7	2,5...2,8	0,6	0,6
5000...10000	3,3...3,5	2,2...2,5	0,6	0,6
10000...25000	3,2...3,3	2,0...2,2	0,6	0,7
более 25000	3,0...3,2	1,8...2,0	0,6	0,7

Для приготовления песчано-глинистых и песчано-бентонитовых смесей применяют бегуны с вертикально и горизонтально расположенными катками периодического и непрерывного действия. Бегуны с вертикальными катками имеют примерный диапазон производительности от 5 до 70 м³ в час смеси; производительность бегунов периодического действия с горизонтально расположенными катками (центробежных смесителей) обычно не превышает 100 м³/ч. Для обеспечения большей производительности (до 240 м³/ч и более) применяют бегуны смешивающие, непрерывного действия, сдвоенные с вертикальными катками. Параметры некоторых моделей бегунов представлены в таблице 17. Производительность смесителей зависит от прочности изготавливаемой смеси.

Таблица 15 – Расход формовочных и стержневых смесей и свежих материалов

Отрасли машино- строения	Расход смесей на 1 т год- ных отливок в разрыхлен- ном состоянии, м ³			Итого сме- сей, м ³ /т	Расход свежих материалов, м ³ /т
	напол- нитель- ной	об- лицо- воч- ной	стержне- вой		
Отливки из серого чугуна					
Автомобилестроение	3,9	0,4	0,7	5	0,9
Тракторостроение	4,0	0,4	0,6	5	0,9
Турбостроение	4,0	0,8	0,7	5,5	1,1
Дизелестроение	4,0	0,8	0,6	5,4	1,1
Станкостроение	3,0	0,5	0,5	4,0	0,7
Химическое машино- строение	4,6	1,0	0,6	6,2	1,2
Кузнечно-прессовое оборудование	3,0	0,6	0,4	4,0	0,6

	Стальные отливки				
Станкостроение (крупное)	3,2	0,5	0,3	4,0	0,9
	4,7	1,0	0,8	6,5	1,7
Турбостроение					
Кузнечно-прессовое оборудование	3,0	0,6	0,4	4,0	0,8
	Отливки из медных сплавов				
Автомобилестроение	4,6	1,0	0,4	6	1,0
Тракторостроение	4,6	1,0	0,4	6	1,0
Станкостроение	4,0	0,5	0,5	5	0,8
	Отливки из алюминиевых сплавов				
Автомобилестроение	9	2	1	12	2
Тракторостроение	9	2	1	12	2

Таблица 16 – Потребность формовочных и стержневых смесей и свежих материалов на годовую программу

Участки, конвейеры, линии	Наименования смесей	Потребность, т/год			Составы смесей и расход компонентов										
		по расчету	на просыпку	всего	оборотная смесь		песок		связующее		добавка 1		добавка 2		
					%	т/год	%	т/год	%	т/год	%	т/год	%	т/год	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

Таблица 17 – Смесители для формовочных и стержневых смесей

Модель	Замес		Время замеса, мин	Производительность, т/ч	Диаметр чаши, мм	Характеристика
	объем, м ³	масса, т				

15102	0,45	0,56	3...4	11...8	1615	Периодического действия с вертикально расположенными катками
15104	1,0	1,25	3...4	25...19	2020	
15107	2,0	2,5	3...4	50...38	2540	
15328	1,6	2,0	1,2...2	100...60	2500	Периодического действия с горизонтально расположенными катками
1524	1,25□2	3,1		75...60	2020	Непрерывного действия сдвоенный с вертикально расположенными катками

На основе бегунов созданы смесеприготовительные комплексы производительностью до 400 м³/ч. В их состав входят бегуны, сита, охладители, аэраторы и т.д. Приготовление формовочной смеси осуществляется автоматически на основе электронной системы управления.

Для приготовления жидких самотвердеющих смесей (ЖСС) применяют установки периодического действия производительностью до 8 т/ч и установки непрерывного действия производительностью до 30 т/ч.

Для приготовления пластических самотвердеющих смесей (ПСС) предусмотрена установка непрерывного действия производительностью 20 т/ч.

Для приготовления холоднотвердеющих смесей (ХТС) предусмотрены смесители непрерывного действия с производительностью от 1 до 40 т/ч.

Для приготовления плакированных смесей “горячим” способом предусмотрены установки периодического и непрерывного действия производительностью от 1 до 5 т/ч.

Для расчета количества смесителей заполняется ведомость расхода смесей, номенклатуры и количества смесителей (таблица 18).

Площади смесеприготовительных отделений рассчитывают по фактическому расположению технологического оборудования и транспорта.

Таблица 18 – Ведомость расхода смесей и расчета количества смесителей

Вид смеси	Расход смеси, м ³	Смесители
-----------	------------------------------	-----------

	на про- грамму	в 1 ч	тип	производи- тельность, т/ч	расчетное количество	принятое количество
Формовочные смеси						
Итого						
Стержневые смеси						
Итого						
Всего						

2.3 Расчет оборудования формовочных отделений

Для изготовления разовых песчано-глинистых форм применяются формовочные машины, использующие различные процессы уплотнения: прессование, встряхивание с одновременным и последующим прессованием, пескодувно-прессовый, пескометный и т.д.

В конвейерных литейных цехах формовочные машины могут устанавливаться внутри конвейера, если размеры опок не превышают 800×700×350 мм, или снаружи при больших размерах опок. В первом случае сборку форм производят на конвейерных тележках, во втором на специальных столах (рольгангах), с которых собранные формы крапом переносятся на конвейер.

Основные характеристики некоторых формовочных машин приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Основные технические характеристики формовочных машин

Мо- дель	Тип	Размер опок, мм	Прои- зво- дите ль- ност ь, опок/ ч или м ³ /ч	Дав- ле- ние прес- со- вани я, 10 ⁵ Н/м ²	Рас- ход воз- духа, м ³ /оп оку	Габарит- ные раз- меры, м	Мас- са, т	При- меча- ние
Встряхивающие машины								
91271	Д	500×400×200	100	3,1	0,5	1,7×1,1×	1,3	Д – с
БМ	Д	500×400×200	145	2,1	0,5	1,6	1,4	
22111	ДК	500×400×200	130	2,1	0,5	1,2×0,9×	2,1	прес- сов- кой
22211	К	800×700×450	40	-	1,0	1,7	4,0	
232М	ДКН	800×700×300	45	2,3	2,3	1,8×0,8×	4,0	К – с
254М	Д	800×700×350	60	-	0,6	1,8	4,5	
265М3	ДВ	1000×600×25	40	-	1,0	2,5×2,0×	3,0	кан-
703М2	ДКН	0	45	2,1	2,3	2,4	6,5	

255М	ДВ	1000×800×35	45	3,7	1,0	2,4×1,2×	7,0	това- нием
267М	К	0	20	-	1,5	2,9	7,0	
233М	КН	1000×800×35	25	-	1,0	2,1×2,1×	10,7	опок
ВПФ- 2,5	В К	0 1000×800×40	25 17	-	1,0 4,5	2,5 2,0×1,7×	8,8 13,3	Н – для
ВВФ- 2,5	К	0	10	-	18,0	1,9	39,0	
234М	К	00	5	-	-	3,4	55,0	ниж- них
235С1	пресс	1200×1000×4	240	-	-	2,6×2,6×	38,0	полу- форм
235М		00				2,9		
236		1600×1200×5				3,7×2,1×		
В- 440М		00				3,2		
		2500×1600×7				3,8×2,8×		
		00				2,2		
		2000×1600×7				1,3×2,8×		
		00				1,8		
		2500×2500×8				4,4×3,2×		
		00				4,2		
	900×600×125 /250				5,0×4,5×			
					4,8			
					5,2×3,5×			
					3,7			
					5,6×5,2×			
					5,8			
					4,9×4,6×			
					6,7			

Продолжение таблицы 19

Мо- дель	Тип	Размер опок, мм	Прои- зво- дите ль- ност ь, опок/ ч или м ³ /ч	Дав- ле- ние прес- со- вани я, 10 ⁵ Н/м ²	Рас- ход воз- духа, м ³ /оп- оку	Габарит- ные раз- меры, м	Мас- са, т	При- меча- ние
Пескометы формовочные								
2Б93М	Стаци- онар- ный Пере- движ- ной Мосто- вой	4,6 м	12,5			6,0		
296М2		7,5 м	25		5,6×1	13,2		
Н2933		-	50		,2×2, 9 10,8× 4,3×4 ,9 7,7×3 ,9×5,	16,0		

					8			
--	--	--	--	--	---	--	--	--

Количество формовочных машин $N_{\text{ФМ}}$, необходимое для оснащения конвейера, можно рассчитать по формуле

$$N_{\text{ФМ}} = \frac{n_{\text{Ф}}}{(\Phi_{\text{Д}} - t_{\text{М}}) \cdot q_{\text{ФМ}}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{Ф}}$ – количество форм, необходимое на годовую программу, с учетом брака в литейном цехе (определяется по ведомости технологических процессов);

$\Phi_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд времени работы машин, ч;

$t_{\text{М}}$ – годовое время, необходимое для смены модельной оснастки ($t_{\text{М}} = n \cdot r \cdot b$), ч;

$q_{\text{ФМ}}$ – фактическая часовая производительность машин, форм/ч;

n – число наименований отливок на годовую программу;

r – число партий отливок по каждому наименованию;

b – время, затрачиваемое на замену модельной плиты, ч.

В таблице 20 приведены характеристики автоматических формовочных линий. В настоящее время на формовочных агрегатах линий применяются все прогрессивные процессы уплотнения смесей; в последние годы созданы линии на основе принципиально новых процессов: вакуумно-пленочной и импульсной формовки, формовки взрывом и т.д. При оценке производительности линии следует иметь в виду, что рабочая площадь формы на современных линиях возрастает до 1,2...1,5 м² при производительности линии до 200...250 форм/ч.

Необходимое количество автоматических линий $N_{\text{ФЛ}}$ для производства данного размерного ряда отливок можно рассчитать по формуле

$$N_{\text{ФЛ}} = \frac{Q \cdot 1000}{q_{\text{фа}} \cdot m_{\text{отл}} \cdot \Phi_{\text{Д}} \cdot \eta}, \quad (6)$$

где Q – проектная мощность размерного ряда, т/год;

$q_{\text{фа}}$ – производительность формовочного автомата, форм/ч;

$m_{\text{отл}}$ – средняя масса отливки в форме, кг;

$\Phi_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд работы линии, ч;

η – коэффициент загрузки оборудования ($\eta = 0,85 \dots 0,9$).

Для расчета количества формовочных машин, конвейеров, точных и автоматических линий заполняются специальные ведомости. В таблице 21 приведена ведомость расчета по укрупненным данным.

Площади формовочных отделений рассчитывают по фактическому расположению оборудования. Разработана система укрупненных показателей (гл.6), характеризующих съём с 1 м² площади формовочных отделений отливок различной номенклатуры при различных условиях производства. Площадь формовочного отделения в цехах индивидуального и мелкосерийного производства при ступенчатом режиме работы F_{ϕ} определяется по формуле

$$F_{\phi} = (\Sigma F_{\phi\Pi} + \Sigma F_3) \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma, \quad (7)$$

где $\Sigma F_{\phi\Pi}$ – площадь отдельных участков формовки, м²;

ΣF_3 – площадь, занятая формами, подготовленными для заливки, м²;

α – коэффициент, учитывающий продолжительность охлаждения отливок в форме ($\alpha=1,0\dots3,6$);

β – коэффициент, учитывающий площадь занятую, пустыми опоками;

γ – коэффициент, учитывающий потери площади у колонн, торцов стен, на проходы и т.д.

Значения коэффициентов β и γ для различных групп отливок составляют 2-3.

Таблица 20 – Характеристики автоматических формовочных линий

Модель	Характеристика	Размер опок, мм	Производительность, форм/ч
АЛ-2002	Безопочная с вертикальным разъемом,	600×450×180...300	360...480
22821	шестипозиционный	500×400×150	300
8Л91265СМ	автомат	800×700×300	120
5840	Автомат встряхивающий с допрессовкой	900×600×250	180...240
КВ-301	Автомат встряхивающий с допрессовкой	1100×750×300	240
	Прессовая линия		
	Линия встряхивающая с прессованием		

Таблица 21 – Расчетная ведомость формовочного отделения

Тип машины,	Размер опок в	Средняя металл-	Количество форм, шт	Производительность формовочно-	Количество агрегатов	Коэффициент загрузки

конвейера, линии	свету, мм	емкость форм, кг	в год	в 1 ч	го агрегата, форм/ч	по расчету	принятое	

2.4 Расчет оборудования стержневых отделений

Расчет количества оборудования для стержневых отделений включает расчет числа агрегатов для изготовления стержней и сушил для их сушки и подсушки после окраски.

Расчет количества оборудования базируется на предварительном расчете объема производства стержневого отделения, который выполняются по таблице 22.

При массовом производстве отливок для изготовления стержней широко применяются высокопроизводительные автоматические машины и линии. В цехах единичного, мелкосерийного и серийного производства применяется универсальное оборудование, пригодное для широкой номенклатуры стержней. Характеристики некоторых стержневых машин приведены в таблице 23.

Таблица 22 – Объем производства стержневого отделения

№ отливок	Число отливок, шт/год	Стержни			Потребность стержней, шт			Масса стержней на год с учетом брака, кг
		№ стержня	габаритные размеры, мм	масса, кг	на отливку	на годовой выпуск к отливкам	на год с учетом брака отливок и стержней	

Таблица 23 – Характеристики стержневых машин

Модель	Характеристика	Наибольшая масса стержней, кг	Производительность, цикл/ч
4509А	Автомат для изготовления стержней в горячих ящиках с вертикальным разъемом Пескодувный стержневой полуав-	5	150

9128Б5	томат для изготовления песчаных стержней	16	200
9128Б9	То же	100	120
233М	Встряхивающая машина	250	20
4554А	Однопозиционный автомат для пустотелых стержней	10	60

Для изготовления стержней широко применяются жидкие самоотвердеющие смеси (ЖСС) и холоднотвердеющие смеси (ХТС). Ниже приведены примеры типовых линий изготовления стержней на основе этих процессов.

Линия изготовления стержней из ЖСС модели 86500 имеет следующие характеристики: наибольшая масса стержня 1500 кг, производительность 3 цикла/ч, размер стержневого ящика 2000×1500×1000 мм, площадь 190 м².

Линия изготовления стержней массой 40...100 кг из ХТС имеет следующие характеристики: производительность 60 циклов/ч, годовой выпуск стержней 127000 шт., размеры стержневого ящика 1000×800×560 мм, площадь 300 м², численность работающих в смену 5 чел.

Количество стержневых машин, необходимое для выполнения программ, рассчитывается по формуле и расчетной ведомости, аналогичным формуле (5) и таблице 21 для формовочного отделения. Для проектирования стержневых отделений составлены таблицы технологических групп стержней для различных видов производства (группа – масса стержня – габариты стержневых ящиков) и таблицы размерных рядов стержневых участков для цехов различных отраслей промышленности, в которых указываются типы машин, сушил, коэффициенты загрузки и т.д.

Для сушки стержней применяют камерные, этажерочные и тележечные сушила периодического действия и конвейерные сушила непрерывного действия.

Расчет числа сушил выполняют с учетом цикла сушки стержней и принятого типоразмера печей. Загрузку сушильных печей рассчитывают по форме, представленной в таблице 24.

Таблица 24 – Расчетная ведомость количества сушил

№ стержней	Вид смеси и температура сушки (подсушки)	Годовая потребность стержней, шт	Размеры сушильных плит, мм	Число стержней на плите, шт	Число плит на годовую программу, шт	Продолжительность сушки (подсушки), ч

Необходимое для выполнения программы число конвейерных $N_{кc}$ и камерных сушил $N_{кмс}$ определяются по формулам

$$N_{кc} = \frac{S * t_c * l * K_{нст}}{S_{\text{э}} * n_{\text{э}} * \Phi_{дс} * L * \eta_c}, \quad (8)$$

$$N_{кмс} = \frac{V_{ст} * t_c * K_{нст}}{V_c * \Phi_{дс} * \eta_c}, \quad (9)$$

где $S, S_{\text{э}}$ – площади сушильных плит на годовую программу и одной полки этажерки, м^2 ;

t_c – продолжительность цикла сушки, ч;

$l, n_{\text{э}}$ – расстояние между этажерками в сушиле и число полок на этажерке;

$\Phi_{дс}$ – действительный годовой фонд работы сушил;

L – длина конвейера в зоне сушила, м;

η_c – коэффициент заполнения объема сушил;

$V_{ст}$ – объем стержней с учетом брака отливок и стержней на годовую программу, м^3 ;

V_c – объем сушил, м^3 ;

$K_{нст}$ – коэффициент неравномерности потребления стержней.

Площади стержневых отделений рассчитываются по фактическому расположению оборудования. При расчете по укрупненным показателям площадь отделения принимается по количеству рабочих мест.

На одно место площадь составляет 6 м^2 для мелких стержней, 8 м^2 для средних стержней и 12 м^2 для крупных стержней. В литейных цехах автомобильной и тракторной промышленности площадь стержневого отделения составляет 70...90%, а в цехах транспортного машиностроения 25...50% площади формовочного отделения.

2.5 Расчет оборудования термообрубных отделений

В термообрубных отделениях осуществляются следующие операции: удаление стержней из отливок, отделение литниковых систем и прибылей, очистка, обрубка, зачистка, термическая обработка, исправление дефектов и грунтовка отливок, контроль их качества.

Технологический процесс обработки отливок определяется видом производства, видом сплава, массой, габаритными размерами и конфигурацией. Классификация методов выбивки стержней и очистки поверхностей, обрубки и зачистки отливок, области их применения и оборудование для реализации представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Классификация и оборудование процессов очистки

Отливок

Операция	Технологический процесс	Оборудование	Область применения
1	2	3	4
Выбивка стержней	<p>Ручная обработка</p> <p>Воздействие струи воды высокого давления</p> <p>Выбивка при взаимных соударениях отливок</p> <p>Электрогидроудар</p>	<p>Пневмомолоток</p> <p>Гидрокамеры</p> <p>Галтовочный барабан</p> <p>ЭГ-установки</p>	<p>Без ограничения</p> <p>Отливки массой от 10 кг до 200 т с остаточной прочностью стержней не более $15 \cdot 10^5$ Па в различных условиях производства</p> <p>Толстостенные отливки массой до 100...150 кг; стержни с низкой остаточной прочностью (менее $15 \cdot 10^5$ Па)</p> <p>Отливки массой до 10 т; стержни с высокой остаточной прочностью (более $15 \cdot 10^5$ Па)</p>

Продолжение таблицы 5

Операция	Технологический процесс	Оборудование	Область применения
1	2	3	4
Очистка поверхностей	<p>Ручная обработка</p> <p>Очистка дробью</p> <p>Очистка трением</p> <p>Очистка трением при вибрации</p> <p>Электрохимическая очистка</p>	<p>Пневмомолоток, шлифовальные машины</p> <p>Дробеметные барабаны и столы, дробеструйные и дробеметные камеры</p> <p>Галтовочный барабан</p> <p>Вибрационные установки</p> <p>Специальные установки</p>	<p>Без ограничения</p> <p>Отливки различной массы, не подверженные бою и деформации</p> <p>Толстостенные отливки массой до 100...150 кг</p> <p>Отливки массой до 20...25 кг</p> <p>Отливки различной массы со сложными внутренними полостями</p>
Обрубка и зачистка	Ручная обработка	Пневмозубила и молотки, шлифовальные ма-	Без ограничений

	Абразивная обработка	шины Обдирочно-шлифовальные станки	Отливки различных размеров
	Обработка трением	Станки с металлическими кругами	Отливки различных размеров
	Огневая обработка	Установка воздушно-дуговой резки	Отливки различных размеров

Характеристики некоторых видов оборудования для очистки приводятся в таблице 26.

Расчет необходимого количества оборудования производят исходя из его производительности. Например, производительность $q_{п}^{период}$ печей периодического действия определяется по следующим формулам

$$q_{п}^{период} = \frac{m}{t}, \quad m = F * q_{уд}, \quad (10)$$

где m – садка печи, т;

t – цикл обработки отливок, ч;

F – площадь пода печи, м²;

$q_{уд}$ – удельная нагрузка на 1 м² пода печи, т.

Площади термообрубных отделений определяют по фактическому расположению оборудования.

В таблице 27 приведены примеры типовых решений линий обрубки, очистки и грунтовки отливок цехов с различным характером производства.

Таблица 26 – Характеристики оборудования для очистки отливок

Оборудование	Модель	Расчетная производительность, т/ч	
		чугунные отливки	стальные отливки
Барабаны очистные: - галтовочные периодического действия - галтовочные непрерывного действия - дробеметный непрерывного действия	ОБ900	1,5...2,0	0,7...1,0
Стол дробеметный	314	4...5	2,0...2,5
Камеры дробеметные непрерывного действия	42322	4...5	2,0...2,5
Камеры гидравлические проходные	353	2,8...3,2	1,4...1,5
	376В9	19...23	9,5...11,5

Установки электрогидравлические	377	30...100	16...55
	ЛН408	2...4	1,5...3,0
	ЛН415	3...6	2...4
	36121А	2...3	1,5...2,5
	36131А	3...4,5	2,5...4,0
	36141А	4...6,5	3,0...5,5

Таблица 27 – Характеристики линий для финишных операций обработки отливок

Масса отливки, кг	Вид отливок, характер производства	Мощность линии, т/год	Применяемое оборудование
До 25	Чугунные отливки, массовое и крупносерийное производство	До 20000	Галтовочный и дробеметный барабаны непрерывного действия, зачистные станки, проходные камеры: обдувочная, грунтовочная, сушильная
20...100	Чугунные отливки, серийное, мелкосерийное и единичное производство	12000	Галтовочный барабан непрерывного действия; проходные камеры: гидроочистная, дробеметная, моечно-сушильная, грунтовочная, сушильная

Продолжение таблицы 27

Масса отливки, кг	Вид отливок, характер производства	Мощность линии, т/год	Применяемое оборудование
Более 100	Стальные отливки, массовое и крупносерийное производство	До 25000 и более	Проходные электрогидравлические и дробеметные камеры, зачистные станки, подвесные наждачные круги, проходная термическая печь, проходные камеры: гидроочистная, обдувочная, грунтовочная сушильная
500...5000	Чугунные отливки, серийное, мелкосерийное и единичное производство	24000	Стенд обрубки и зачистки, проходные камеры: гидроочистная, для подсушки, дробеметная, обдувочная, грунтовочная, сушильная

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ СИСТЕМ

3.1 Моделирование и анализ систем

Теоретической основой изучения и моделирования систем и их структур являются методы системотехники – теоретико-множественные методы, графы, линейная алгебра, комбинаторные методы, методы оптимизации и т.д. Элементы теории множеств и теории графов применительно к литейным системам изложены в работах [4,5]. Литейные системы рассмотрены как сложные системы. Структурой системы называется множество всевозможных отношений, характеризующих связи между подсистемами и элементами внутри системы.

Теорию множеств используют для выражения единой формализованной концепции теории сложных систем. Графы используют как способ описания структуры сложной системы. В теории множеств и графов рассмотрены формы представления и записи, классификации и свойства множеств и графов, теоретико-множественные операции и т.д. Рассмотрим лишь некоторые элементы теории, необходимые для решения ряда задач по моделированию литейных систем.

Наиболее простым способом построения теоретико-множественных объектов является перечисление. Символическая запись

$$A = \{a_1, a_2 \dots a_n\} \quad (11)$$

означает, что множество A состоит из n элементов a_i , где $i=1,2,\dots,n$. Запись $a_1 \in A$ утверждает, что элемент a_1 принадлежит множеству A . Если элемент d не принадлежит множеству A , то записывают $d \notin A$.

Множество (11) является конечным, так как оно состоит из конечного числа элементов. Вводятся также понятия пустых и бесконечных множеств.

Кроме метода перечисления, используют также метод описания характерных свойств элементов множеств. Множество (11) можно записать в виде:

$$A = \{a_i \mid i \in I\}, \quad (12)$$

где I – множество индексов i .

Пересечение и объединение множеств M и N записываются соответственно символами $M \cap N$; $M \cup N$. Операции пересечения и объединения можно выполнять с любым числом множеств. Операции пересечения и объединения множеств широко используются при описании синтеза многокомпонентных систем, например сплавов. Операцию разбиения множеств можно использовать, например, для класси-

фикации различных процессов. Реализации этих операций описаны в работе [4].

Разбиение представляется в виде

$$M = \{M_i | i \in I\}, \quad (13)$$

где I – множество индексов i ;

M_i – подмножества, полученные разбиением множества M (классы разбиения).

Необходимо выполнять условия: $M_i \subset M$ (каждый элемент множества M_i является одновременно элементом множества M); $M_i \neq \Phi$ (непустое множество) при всех $i \in I$, $M_i \cap M_j = \Phi$ (непересекающиеся множества) при $i \neq j$ и $\bigcup_{i \in I} M_i = M$. Примером разбиения множеств может служить разбиение процессов уплотнения формовочных смесей на статические, динамические и комбинированные.

Важнейшее значение в теории множеств имеют понятия отношения и отображения, или преобразования. Понятие отношения на множествах определяют исходя из представления о множествах упорядоченных пар, троек и большого числа элементов.

Бинарное отношение – отношение между двумя объектами. Бинарным отношением R между множествами X и Y называется любое подмножество множества упорядоченных пар (x, y) элементов, образованных декартовым произведением X и Y . При этом X и Y являются множествами точек на отрезках осей декартовой системы координат.

Бинарные отношения символически представляют в виде

$$(x, y) \in R \text{ или } xRy, \quad x \in X, \quad y \in Y. \quad (14)$$

Если множества X и Y пронумерованы, то есть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ и $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, то таблица из нулей и единиц, задающая любое отношение R , представляет собой $m \times n$ - матрицу $A = \|a_{ij}\|$, в которой $a_{ij} = 1$, если $x_i R y_j$ и $a_{ij} = 0$ в противном случае. Матрицу A называют матрицей отношения.

Понятия отношения или преобразования из множества X в множество Y связывают с понятием функции $y = f(x)$. Если X и Y – два произвольных множества, то говорят, что на X определена функция f , принимающая значение из Y , если каждому элементу $x \in X$ поставлен в соответствие один и только один элемент из Y . Для множеств произвольной формы вместо термина “функция” пользуются термином “отображение”. Символически представление функции f как отображения или преобразования из множества X в множество Y записывают в виде

$$f : X \rightarrow Y. \quad (15)$$

Образ отображения $f: X \rightarrow Y$ есть множество $f(X)$ всех значений $f(x)$ которое оно принимает при всевозможных $x \in X$ ($f(X) \subset Y$). Образ отображения $f: X \rightarrow Y$ обозначают

$$I_{mf} = f(X). \quad (16)$$

Отображение $f: X \rightarrow Y$ определяет бинарное отношение R_f между X и Y : $xR_f y$ означает, что $y = f(x)$.

Теория графов служит математической моделью для любой системы, содержащей бинарные отношения между ее элементами.

Граф G состоит из конечного и непустого множества $V = \{v_i | i \in I\}$, содержащего p вершин ($I = \{1, 2, \dots, i, \dots, p\}$) и заданного множества $E = \{e_s | s \in S\}$, содержащего m ребер ($S = \{1, 2, \dots, s, \dots, m\}$) в виде неупорядоченных пар (v_i, v_j) различных вершин. Если ребро e_s содержит вершины v_i и v_j , то эти вершины называются смежными; вершину v_i и ребро e_s так же, как и вершину v_j и ребро e_s , называют инцидентными. Если два ребра e_s и e_k инцидентны одной вершине, их называют смежными. Степень вершины обозначается d , она равна числу ребер, инцидентных вершине. Правило, ставящее в соответствие каждому ребру $e_s \in E$ неупорядоченную пару вершин $(v_i, v_j) = (v_j, v_i)$, определяется отображением $\theta: E \rightarrow V$. Таким образом, графом называется тройка

$$G = \{V, E, \theta\}. \quad (17)$$

Выражение (17) определяет неориентированный граф, его графическое изображение представляется диаграммой, в которой вершины соединены отрезками прямых или кривых. При моделировании литейных систем чаще всего используют ориентированные графы (орграфы), представляемые диаграммами, в которых узлы (вершины) соединяют отрезками прямых или кривых со стрелками, указывающими порядок концов дуг (ориентированных ребер). Представление орграфа также осуществляется в виде тройки, построенной по принципу, аналогичному (17).

Задание графа может быть осуществлено рядом отношений, например любой орграф можно задать матрицей инциденций для дуг $p \times m$

$$B_0 = \|b_{is}\|, \quad (18)$$

где $b_{is} = +1$, если дуга a_s исходит из n_i ;

$b_{is} = -1$, если дуга a_k заходит в n_i ;

$b_{is} = 0$ в противном случае. Для графа, представленного на рисунке 3, матрица инциденций записывается в виде

$$B_0 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

С графами можно выполнять теоретико-множественные операции – соединение графов, удаление вершины, удаление ребра, стягивание и т.д. На основе этих операций можно проводить теоретико-графовый анализ маршрутов технологии. Поясним это на примере представления процессов формовки [4].



Рисунок 3 – Ориентированный граф

На рисунке 4 представлены орграфы технологических маршрутов изготовления форм. Пусть n_1 – подготовка оборудования, оснастки и материалов; n_2 – заполнение опоки смесью; n_3 – уплотнение смеси; n_4 – упрочнение тепловое (сушка) или химическое; n_5 – извлечение модели; n_6 – установка стержней и сборка полуформ; n_7 – готовая форма (закрепление полуформ или укладывание груза). Граф “а” можно рассматривать как технологический маршрут изготовления песчаной формы, например из жидкостекольной смеси с упрочнением формы продувной углекислым газом. При переходе к графу δ осуществлена операция стягивания дуги a_3 , то есть отождествлены операции n_3 и n_4 . Граф δ можно рассматривать как технологический маршрут изготовления сырых форм на автоматах прессования, вибропрессования, встряхивания с одновременным прессованием и т.д. Стягивание дуги означает сокращение маршрута, например во времени. При переходе от графа a к графу δ осуществлена операция стягивания дуги a_2 , отождествлены операции n_2 и n_3 . Граф δ можно рассматривать как технологический маршрут изготовления сырых форм на пескострельно-прессовых автоматах, а также на пескострельных автоматах при использовании термического или химического отверждения песчано-смоляных смесей до извлечения моделей. При стягивании дуг a_2 и a_3 получим граф z , который можно рассматривать как реальный маршрут изготовления сырых форм на пескометах. Если к графу z добавить дугу a_7 , соединив узлы $n_2=n_3=n_4$ и удалив узлы n_5 и n_6 , то получим орграф δ , ко-

торый можно рассматривать как изготовление форм из сухого песка с газифицируемыми моделями.

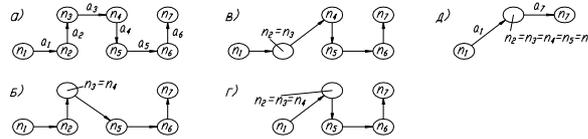


Рис.4. Ориентированные графы технологических маршрутов изготовления форм

Рисунок 4 – Ориентированные графы технологических маршрутов изготовления форм

При решении транспортных задач и анализе грузопотоков литейная система представляется [5] комплексом технологического оборудования, связанного между собой транспортной системой. Транспортной сетью (рисунок 5) называется сеть, к каждой дуге U которой отнесено некоторое целое число $c(U) \geq 0$, называемое пропускной способностью дуги, у которой только один вход x_0 и только один выход x_n . С транспортной сетью тесно связано понятие потока, под которым понимается некоторая функция $\varphi(U) \geq 0$. Поток по дуге U не превышает пропускной способности этой дуги. Для каждой вершины x_i , отличной от x_0 и x_n , сумма входящих потоков равна сумме исходящих, то есть

$$\sum_{u \in U_{x_i}^-} \varphi(u) - \sum_{u \in U_{x_i}^+} \varphi(u) = 0 \quad (x_i \neq x_0; x_i \neq x_n) \quad (19)$$

где $U_{x_i}^-$ - множество дуг, входящих в x_i ; $U_{x_i}^+$ - множество дуг, исходящих из x_i .

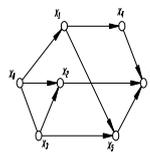


Рис.5. Транспортная сеть

Рисунок 5 – Транспортная сеть

Из (19) следует

$$\sum_{u \in U_{x_n}^-, u \in U_{x_0}^+} \varphi(U) = \sum \varphi(U) = \Phi. \quad (20)$$

Число Φ называется величиной потока, его можно рассматривать как количество вещества, притекающего в x_n .

Множество вершин X транспортной сети можно разбить на два подмножества A и B , соблюдая следующие условия:

$$x_0 \in A; x_n \notin A; x_0 \notin B; x_n \in B.$$

Множество дуг U_B^- , входящих в B (исходящих из A), называется разрезом сети. Пропускной способностью разреза называется число

$$C(U_B^-) = \sum_{u \in U_B^-} c(u). \quad (21)$$

В любой транспортной сети можно выделить несколько разрезов. Для рассматриваемой сети выделим два разреза

$$\begin{aligned} A &= \{x_0, x_1, x_2, x_3\}; B = \{x_4, x_5, x_n\} \\ U_B^- &= \{(x_1, x_4), (x_1, x_5), (x_2, x_n), (x_3, x_5)\} \\ C(U_B^-) &= c(x_1, x_4) + c(x_1, x_5) + c(x_2, x_n) + c(x_3, x_5) \\ A &= \{x_0, x_1, x_3, x_4\}; B = \{x_2, x_5, x_n\} \\ U_B^- &= \{(x_0, x_2), (x_1, x_5), (x_3, x_2), (x_3, x_5), (x_4, x_n)\} \\ C(U_B^-) &= c(x_0, x_2) + c(x_1, x_5) + c(x_3, x_2) + c(x_3, x_5) + c(x_4, x_n). \end{aligned} \quad (22)$$

Из всех разрезов транспортной сети можно выделить разрез с наименьшей пропускной способностью $C(U_B^-)_{\min}$. Для заданной транспортной сети максимальная величина потока равна минимальной пропускной способности разреза (теорема Форда-Фалкерсона), то есть:

$$\Phi_{\max} = C(U_B^-)_{\min}. \quad (23)$$

Выражение (23) является основополагающим для анализа потоков материалов. Общие принципы оптимизации потоков изложены в фундаментальных работах по прикладной комбинаторике [6 и др.].

Построение моделей реальных литейных систем осуществляется в два этапа. На первом этапе строится операционно-технологический граф (ОТ-граф), описывающий технологическую часть системы. Вершинами ОТ-графа являются технологические операции, а дугами транспортные. На втором этапе производится количественная оценка

ОТ-графа. Расчеты потоков материалов и количества оборудования осуществляются с помощью матрицы потребности и ведомости оборудования. Отсутствие или наличие узких мест определяется по матрице соответствия. Методика проведения расчетов для различных литейных систем изложена в работе [5]. В результате расчетов строится агрегатно-технологический граф – АТ-граф. На рисунке 6 представлен АТ-граф системы смесеприготовления. Шифры и индексы операций и материалов приведены в таблице 28. Операции 06, 11-12, 14-18 на графе не показаны.

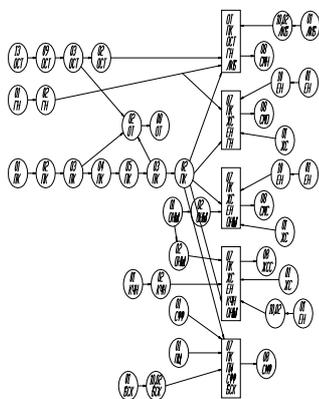


Рис.6. Агрегатно-технологический граф системы смесеприготовления

Рисунок 6 – Агрегатно – технологический граф системы смесеприготовления

Таблица 28 – Система подготовки исходных материалов и смесеприготовления

Операция	Шифр	Материалы, полуфабрикаты	Индекс
1	2	3	4
Разгрузка	00	Песок: - кварцевый	ПК
Хранение	01	- цирконовый	ПЦ
Аккумуляция	02	Глина	ГН
Просев	03	Жидкое стекло	ЖС
Сушка	04	Едкий натр	ЕН
Охлаждение	05	Связующее КДЖ	ЛКБ
Размол, дробление	06	Отвердитель бензолсульфо-	
Дозировка	07	кислота	БСК
Смешение	08	Связующее ФФ-1Ф	СФФ
Магнитная сепарация	09	Отвердитель нефелиновый	
Растворение	10	шлам	ОНШ
Осушение	11	Пенообразователь	КЧН

Промывка	12	Смеси:	
Выбивка смеси	13	- облицовочная	СМО
Пневморегенерация	14	- наполнительная	СМН
Хранение в контейнерах	15	- отработанная	ОСТ
Аэрация	16	- самотвердеющая	СМС
Потребление смеси	17	- фурановая	СМФ
Отстой	18	- жидкая самотвердеющая	ЖСС
		Отвал	ОТ

С помощью графов строится полная модель системы, позволяющая выполнить количественный анализ отдельных элементов подсистем и системы в целом по нескольким направлениям в зависимости от целей исследования, а также регулирование или управление системой.

3.2 Построение высоконадежных систем

Для решения задач, связанных с расчетами параметров надежности, необходимо использовать основные положения математической теории надежности [7,8]. Ее основной задачей является создание математических моделей, адекватных вероятностным процессам функционирования исследуемых реальных технических систем. Возможные состояния системы показаны на рисунке 7. Переход из одного состояния в другое определяется функцией $x(t)$.



Рисунок 7 – Состояние системы

Проанализируем некоторые термины и определения. Пусть x – определенное состояние системы, X – множество возможных состояний (фазовое пространство), A – подмножество, попадание в которое считается недопустимым. Опыт дает достаточные основания считать функцию $x(t)$ случайным процессом.

В теории надежности рассматриваются понятия безотказности, долговечности, ремонтпригодности. Безотказность – способность изделия сохранять работоспособность в течение определенного промежутка времени при заданных условиях эксплуатации. Безотказность

измеряется вероятностью того, что траектория $x(t)$ за этот промежуток времени не попадет в область A . Долговечность – способность изделия к длительной эксплуатации при условии правильного технического обслуживания, включающего текущие и капитальные ремонты. Ремонтпригодность – приспособленность к предупреждению, исправлению и обнаружению неисправностей.

В теории надежности используют три главных количественных критерия: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, среднее время между отказами. Для описания вероятностных процессов функционирования систем применяют различные функции распределения: экспоненциальные, нормальные, Вейбулла и т.д. Тип распределения определяет соответствующую модель интенсивности отказов.

Вероятность отказа как функция времени определяется следующим образом

$$P(\bar{t} \leq t) = F(t), t \geq 0, \quad (24)$$

где \bar{t} - случайная величина, обозначающая наработку до отказа;

$F(t)$ – функция распределения наработки до отказа
(она показывает вероятность того, что система выйдет из строя к моменту времени t).

Вероятность безотказной работы определяется следующим образом

$$R(t) = 1 - F(t) = P(\bar{t} > t). \quad (25)$$

Функцию распределения $F(t)$ можно выразить через плотность распределения $f(t)$ наработки до отказа. Для экспоненциального распределения получим следующие формулы

$$f(t) = \frac{1}{\theta} e^{-\frac{t}{\theta}},$$

$$R(t) = e^{-\frac{t}{\theta}}, t > 0, \theta > 0. \quad (26)$$

Для распределения Вейбулла

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right],$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}, t > 0, \theta > 0, \beta > 0. \quad (27)$$

В формулах (26) и (27) величины θ и β являются постоянными. На рисунке 8 представлены плотности наработки до отказа для экспоненциального распределения (рисунок 8,а) и распределения Вейбулла (рисунок 8,б).

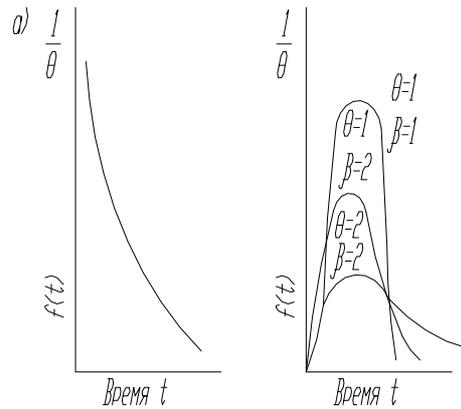


Рис.8. Плотности наработки до отказа для экспоненциального
 а) б)

Рисунок 8 – Плотности наработки до отказа для экспоненциального распределения (а) и распределения Вейбулла (б)

Интенсивность отказов $h(t)$ характеризуется числом появления отказов в некотором промежутке времени $[t_1, t_2]$. Вероятность отказа в промежутке времени $[t_1, t_2]$ определяется из выражения

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t)dt = \int_{t_1}^{\infty} f(t)dt - \int_{t_2}^{\infty} f(t)dt = R(t_1) - R(t_2). \quad (28)$$

Интенсивность отказов имеет вид

$$\frac{R(t_1) - R(t_2)}{(t_2 - t_1)R(t_1)}; \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t R(t)}. \quad (29)$$

Переходя к пределу, получим

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t R(t)} = \frac{1}{R(t)} \left[- \frac{d}{dt} R(t) \right] = \frac{f(t)}{R(t)}. \quad (30)$$

Интенсивность отказов является функцией времени. Мгновенное значение интенсивности отказов показывает изменение интенсивности отказов на протяжении срока службы некоторой совокупности изделий. Для экспоненциального распределения выражение для определения интенсивности отказов имеет вид:

$$h(t) = \frac{1}{\theta}. \quad (31)$$

Для распределения Вейбулла можно вывести следующее выражение для определения $h(t)$

$$h(t) = \frac{\beta(t - \delta)^{\beta-1}}{(\theta - \delta)^\beta}, \quad (32)$$

$$\beta > 0, \theta - \delta > 0, t \geq \delta \geq 0.$$

Величина β также является постоянной. На рисунке 9 показано $h(t)$ при различных β . При $\beta = 1$ имеем экспоненциальное распределение, для которого интенсивность отказов является величиной постоянной. В реальных же системах в различные промежутки времени $h(t)$ изменяется по закону, приведенному на рисунке 10. На рисунке 10 t_1 – время заводских испытаний, t_2 – время нормальной эксплуатации, t_3 – время естественного старения.

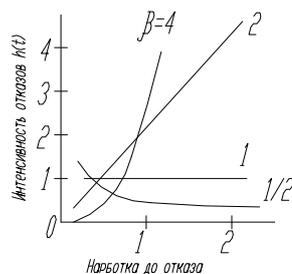


Рисунок 9 – Изменение интенсивности отказов во времени

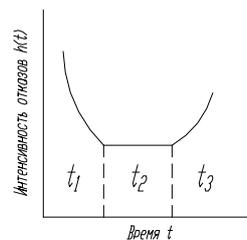


Рис. 10. Изменение интенсивности

Рисунок 10 – Изменение интенсивности отказов во времени в реальных системах для экспоненциального распределения

Модель экспоненциального распределения можно применять только для периода t_2 . Для экспоненциального распределения величина θ в формуле (31) имеет смысл среднего времени между отказами. Среднее время между отказами есть среднее арифметическое время нормальной работы при заданных условиях. В общем виде среднее время безотказной работы определяют по выражению:

$$E(\bar{t}) = \int_0^{\infty} R(t) dt. \quad (33)$$

Приведенную последовательность вычислений критериев надежности можно использовать и для других типов распределений. Поясним это на простейшем примере [8]. Элемент имеет нормальное распределение наработки до отказа с параметрами $\mu = 20000$ циклов (математическое ожидание) и $\sigma = 2000$ циклов (среднее квадратическое отклонение). Найти надежность элемента и интенсивность отказов при

наработке, равной 19000 циклов. При анализе распределения следует использовать табулированную функцию Лапласа $\Phi(z)$

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

$$P(x_1 < x < x_2) = \Phi\left[\frac{x_2 - \bar{x}}{\sigma}\right] - \Phi\left[\frac{x_1 - \bar{x}}{\sigma}\right]. \quad (34)$$

Вычисляем критерии надежности

$$R(t) = P\left[z > \frac{t - \mu}{\sigma}\right],$$

$$R(19000) = P(z > -0,5) = \Phi(0,5) = 0,69146,$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\varphi(z = \frac{t - \mu}{\sigma})}{\sigma R(t)}, \quad (35)$$

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right], -\infty < z < +\infty,$$

$$h(19000) = \frac{\varphi(-0,5)}{\sigma R(t)} = \frac{0,3521}{2000 * 0,6915} = 0,000254 \text{ отказ/цикл.}$$

Разработаны [7,8] методы расчета параметров надежности для различных выборок по эмпирическим данным. Ниже приведен пример для малой выборки, в таблице 29 – данные о наработке до отказа восьми механизмов.

Таблица 29 – Данные об отказах восьми механизмов

Порядковый номер отказа	1	2	3	4	5	6	7	8
Наработано до отказа, тыс.циклов	190	245	265	300	320	325	370	400

Для определения функции распределения наработки до отказа в i -й по порядку момент появления отказа t_i используется следующая зависимость

$$F(t_i) = (i - 0,3) / (n + 0,4), \quad (36)$$

где n – объем выборки.

Оценка вероятности безопасной работы находится в виде

$$R(t_i) = 1 - F(t_i) = (n - i + 0,7) / (n + 0,4). \quad (37)$$

С помощью выражений (36) и (37) определяется интенсивность отказов

$$h(t_i) = \frac{R(t_i) - R(t_{i+1})}{(t_{i+1} - t_i)R(t_i)}. \quad (38)$$

С учетом (37) имеем

$$h(t_i) = 1 / [(t_{i+1} - t_i)(n - i + 0,7)]. \quad (39)$$

Значение ординат плотности распределения в момент t_i могут быть вычислены с учетом выражения

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\bar{N}(t) - \bar{N}(t + \Delta t)}{N\Delta t}, \quad (40)$$

где N – объем совокупности;

$\bar{N}(t)$ - число изделий, безотказно работающих в момент времени t .

Учитывая выражение (40), имеем

$$f(t_i) = \frac{R(t_i) - R(t_{i+1})}{t_{i+1} - t_i}. \quad (41)$$

После упрощений

$$f(t_i) = 1 / (n + 0,4)(t_{i+1} - t_i). \quad (42)$$

Результаты вычислений приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Вычисление показателей надежности

Порядковый номер отказа	t	$F(t)$	$R(t)$	$t_{i+1}-t_i$	$F(t)$	$h(t)$
1	190	0,083	0,917	55	0,0022	0,0024
2	245	0,202	0,798	20	0,0060	0,0075
3	265	0,321	0,679Д	35	0,0034	0,0050
4	300	0,440	0,560	20	0,0059	0,0171
5	320	0,560	0,440	5	0,0248	
6	325	0,679	0,321	45	0,0025	0,0082
7	370	0,798	0,202	30	0,0040	0,0198
8	400	0,917	0,083	-	-	-

Четвертый и пятый интервалы объединены в один продолжительностью: $20+5=25$ тыс. циклов (для сглаживания “выпада” по $h(t)$).

Оценки вероятности безотказной работы и интенсивности отказов приведены на рисунке 11 и 12. Характер изменения интенсивности отказов $h(t)$ в первом приближении указывает на возможность использования распределения Вейбулла.

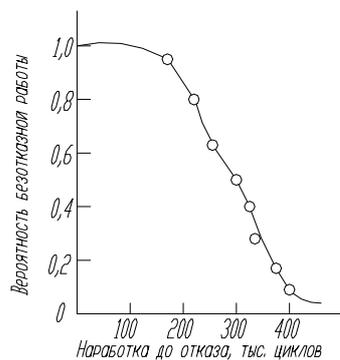


Рис.11. Оценка вероятности

Рисунок 11 – Оценка вероятности безотказной работы

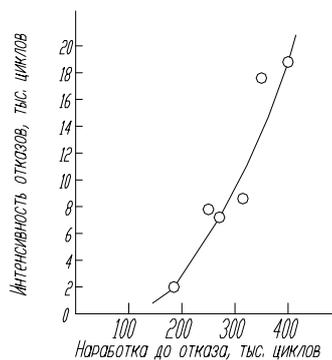


Рис.12. Изменение интенсивности

Рисунок 12 – Изменение интенсивности отказов во времени

Расчеты надежности проводят на всех трех основных стадиях: предварительного проектирования (анализируются возможные варианты построения системы), технического проектирования (проверка правильности выбранных решений, нахождения слабых мест, разработка рекомендаций по повышению надежности и эффективности функционирования), испытания, контроля, обслуживания. Основные пути повышения надежности: повышение надежности комплектующих элементов; введение различного рода избыточности (дополнительных резервных элементов, облегченных режимов работы и т.д.); коренное изменение структуры и принципов функционирования отдельных частей системы и системы в целом.

Важнейшими задачами в теории систем является симметризация структуры, построение грубых моделей для оценки сверху и снизу, оптимизация структур и т.д. Ниже рассмотрены некоторые вопросы построения и анализа функционирования систем.

Различают системы с последовательным и параллельным соединением элементов (рисунок 13). Вероятности безотказной работы систем с последовательным и параллельным соединением элементов определяются по следующим выражениям:

$$R_S^{носл} = \prod_{i=1}^n R_i$$

$$R_S^{парал} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$
(43)

где R_i – вероятность безотказной работы i -й подсистемы (элемента).

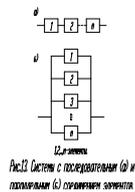
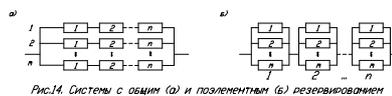


Рисунок 13 – Системы с последовательным (а) и параллельным (б) соединением элементов

Для повышения надежности применяют системы с общим и раздельным (поэлементным) резервированием (рисунок 14, а и б).



а)

б)

Рисунок 14 – Системы с общим (а) и поэлементным (б) резервированием

Вероятности безотказной работы для общего и раздельного резервирования определяются по следующим зависимостям

$$\begin{aligned}
 R_S^{общ} &= 1 - (1 - R^n)^m \\
 R_S^{разд} &= [1 - (1 - R)^m]^n
 \end{aligned}
 \tag{44}$$

Во всех случаях раздельное резервирование обеспечивает более высокую надежность.

Рассмотрение сложных систем проведем при построении грубой модели для оценки сверху и снизу (на примере метода минимальных путей и минимальных сечений). Для анализа систем широко используют методы абстрактной алгебры [9]. Основные этапы решения разработаны И.А.Ушаковым. Рассмотрим сеть, обеспечивающую обмен информацией между рядом пунктов (рисунок 15).

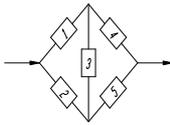


Рис.15. Сложная сеть обмена информацией

Рисунок 15 – Сложная сеть обмена информации

Будем считать, что возможны любые транзиты информации. Анализ такой “идеализации” показывает, что “длинные” пути слабо влияют на основные показатели надежности. Простой метод перебора при анализе сложных систем приводит к необходимости перебора миллионов состояний.

Оценивается важнейшая характеристика – вероятность связи двух фиксированных пунктов. Введем в рассмотрение структурную функцию

$$\varphi(X) = \begin{cases} 1, & \text{если выбранные пункты связаны} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (45)$$

где $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор, компонентами которого являются индикаторы работоспособности отдельных каналов связи.

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й канал работоспособен} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (46)$$

Любая структурная функция для сети выражается эквивалентным образом через так называемые минимальные пути и минимальные сечения. Путем в сети называется последовательность каналов связи, которые позволяют передать некоторую информацию из начального пути в конечный, а сечением – совокупность каналов связи, удаление которых из сети приводит к нарушению передачи информации.

Минимальным путем будет называться такой, исключение из которого любого канала связи приводит к отказу сети. С каждым минимальным путем A сети свяжем логическую функцию

$$\alpha_i(X) = \overline{\bigcap_{i \in A_j} x_i} \quad (47)$$

Данная функция принимает значение 1, если все элементы (каналы связи) минимального пути нормально функционируют, то есть для всех $i \in A_j$ одновременно выполняется $x_i = 1$.

Минимальным сечением назовем такое, в котором восстановление работоспособности хотя бы одного любого элемента приводит к восстановлению работоспособности всей сети. Каждому минимальному сечению B_k также поставим в соответствие логическую функцию

$$\beta_k(X) = \overline{\bigcap_{i \in B_k} x_k} \quad (48)$$

Данная функция принимает значение 0, если все элементы, принадлежащие минимальному сечению, не исправны, и 1 в противном случае, то есть если хотя бы один из этих элементов функционирует нормально.

Сеть может иметь несколько минимальных путей. Для сети (рис. 15) минимальными путями будут следующие подмножества элементов: (1,4), (1,3,5), (4,3,2). Последовательная система имеет единственный минимальный путь, параллельная система имеет n минимальных путей, каждый из которых состоит всего из одного элемента.

Структурная функция $\varphi(x)$ произвольной сети может быть выражена либо через структурные функции всех r своих минимальных путей, либо через структурные функции всех S своих минимальных сечений

$$\begin{aligned} \varphi(X) &= \overline{\bigcap_{1 \leq j \leq r} \overline{\alpha_j(X)}} = \overline{\bigcap_{1 \leq j \leq r} \bigcap_{i \in A_j} x_i} = 1 - \bigcap_{1 \leq j \leq r} (1 - \bigcap_{i \in A_j} x_i), \\ \varphi(X) &= \overline{\bigcap_{1 \leq k \leq S} \overline{\beta_k(X)}} = \bigcap_{1 \leq k \leq S} \left[1 - \bigcap_{i \in B_k} (1 - x_i) \right]. \end{aligned} \quad (49)$$

Первое из выражений (49) означает, что в сети для связи входа с выходом должен существовать хотя бы один из путей, а второе выражение означает, что для связи входа с выходом в сети каждое из минимальных сечений должно содержать хотя бы один работоспособный элемент, то есть в сети не должно существовать ни одного размыкающего ее сечения. Иными словами, любую структуру можно представить в виде параллельного соединения минимальных путей либо в виде последовательного соединения минимальных сечений. Для рассматриваемой схемы

$$\varphi(X) = 1 - (1 - x_1 x_4)(1 - x_2 x_5)(1 - x_1 x_3 x_5)(1 - x_2 x_3 x_4)$$

или

$$\varphi(X) = (1 - (1 - x_1)(1 - x_2))(1 - (1 - x_4)(1 - x_5))(1 - (1 - x_1)(1 - x_3)(1 - x_5)) \times (50) \\ \times (1 - (1 - x_2)(1 - x_3)(1 - x_4))$$

Представление произвольной структуры в виде параллельного или последовательного соединения некоторых цепочек является в большей степени условным. В произвольной структуре одни и те же элементы могут входить в различные минимальные пути и сечения. Некоторые из параллельно соединенных минимальных путей (или некоторые последовательно соединенные сечения) оказываются зависимыми, что не позволяет использовать хорошо разработанный математический аппарат для оценки надежности таких соединений, построенный в предположении независимости отдельных элементов системы. Введя ряд допущений, можно получить верхнюю и нижнюю оценку для вероятности безотказной работы системы с произвольной структурой

$$1 - \prod_{j=1}^r (1 - \prod_{i \in A_j} R_i) \leq P(\varphi(X) = 1) \leq \prod_{K=1}^S (1 - \prod_{i \in B_K} R_i) \quad (51)$$

Таким образом, для приближенной оценки надежности системы со сложной структурой достаточно выявить минимальные пути и минимальные сечения. Практически оказывается необходимым находить из минимальных путей лишь самые “короткие”, а из минимальных сечений лишь самые “тонкие”, так как именно они оказывают наиболее существенное влияние на окончательный результат.

Итак, на ранней стадии проектирования сложной системы можно с успехом применить метод построения граничных моделей, оценки для которых являются гарантийными относительно трудно исследуемой реальной системы.

4 ТРАНСПОРТНАЯ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ И САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТИ ЦЕХА

4.1 Транспорт литейных цехов

В современных литейных цехах применяют следующие виды механического транспорта:

а) транспорт периодического действия: мостовые и консольные краны, краны с магнитной шайбой и грейферами, кранбалки, электро-тельферы, пневматические и скиповые подъемники и т.д.;

б) транспорт непрерывного действия, основными видами механизированного конвейерного транспорта являются ленточные, пластинчатые, винтовые и подвесные конвейеры, ковшовые ленточные элеваторы, конвейеры для транспортирования литейных форм.

Ленточные конвейеры применяют для транспортировки грузов в смесеприготовительных, формовочных, стержневых, обрубных отделениях. Обычно применяют конвейеры с шириной ленты следующего размерного ряда: 500, 650, 800, 1000 мм. Сечение конвейера выполняется с плоской или желобчатой рабочей ветвью ленты. Скорости конвейеров для транспортировки сыпучих грузов принимаются в пределах 0,8...1,25 м/с, а конвейеров, устанавливаемых на линиях обработки стержней и отливок, в пределах 2...8 м/мин. Допустимые углы наклона конвейеров к горизонту определяются типом транспортируемого материала. Ленточные конвейеры в зависимости от типа и ширины ленты и скорости транспортирования имеют широкий предел производительности от 30 до 380 м³/ч.

Пластинчатые конвейеры применяют для транспортирования отливок, литников, известняка, пустых опок и т.д. Применяются конвейеры с шириной настила следующего размерного ряда: 400, 500, 650, 800, 1000, 1200 мм. Их длина достигает 200 м и более. Предельные скорости конвейеров составляют 0,5...3,5 м/мин (охлаждение мелких и средних отливок), 3,5...12 м/мин (транспортирование отливок в очистных отделениях), 10...15 м/мин (транспортирование кокса и известняка).

Винтовые конвейеры (шнеки) применяют главным образом для транспортирования молотых глины и угля. Применяются конвейеры с диаметром винта 200, 320, 400 мм. Диапазон производительности конвейеров в зависимости от диаметра винта и скорости его вращения в пределах от 23,6 до 60 об/мин составляет 1,4...29,0 м³/ч (при коэффициенте заполнения желоба 0,2).

Подвесные конвейеры применяют двух видов: грузонесущие и толкающие. Подвесные грузонесущие конвейеры обеспечивают транспортирование отливок, стержней, мелких форм, литников, брака отливок и т.д. В состав конвейера входят цепь, каретка, звездочки и блоки, роликовые поворотные устройства, ходовой путь. Скорости данных конвейеров (м/мин) в зависимости от производительности назначают в следующих пределах:

- горячие отливки при охлаждении на конвейере 0,5...4,0

- сырые и готовые стержни 2,0...8,0
- отливки в очистных отделениях 4,0...8,0
- межцеховые конвейеры 6,0...12,0

Конвейеры применяются для транспортирования грузов различной массы (до 150...200 кг и более).

Подвесные толкающие конвейеры имеют тележки, перемещение которых осуществляется по отдельным путям с помощью толкающих кулаков на тяговой цепи. Такие устройства обеспечивают гибкость систем транспортирования: отключение тележек от цепи, перевод их на новую ветвь, накопления грузов в соответствующих местах трассы и т.д.

Имеется возможность создания систем с автоматическим управлением движения в заданных режимах и по требуемым адресам. Эти конвейерные системы применяют с стержневых, очистных и других отделениях. Диапазон скоростей составляет обычно 6...12 м/мин.

Ковшовые элеваторы применяют для вертикального перемещения песка, глины, свежей и отработанной смесей и т.д. Наибольшая производительность различных типоразмеров элеваторов при изменении емкости ковша от 0,35 до 18 л составляет от 4 до 180 м³/ч. Скорость ленты выбирается обычно в пределах 1,10...1,50 м/с; наибольшая высота подъема обычно составляет 35...40 м.

Литейные конвейеры применяют для транспортирования литейных форм.

Применяются горизонтально - и вертикально-замкнутые тележечные конвейеры. Предусмотрены размеры платформ от 500×650 мм до 1250×3260 мм. Диапазон развернутых длин конвейеров составляет от 130 до 255 м, а диапазон скоростей движения платформ от 1,2 до 9,5 м/мин.

Пневмотранспорт применяют для транспортирования сухого песка и пылевидных материалов (глины, бентонита, угля и т.д.).

Системами пневмотранспорта оборудуют установки для размолы глины и угля. Для транспортирования материалов в смесеприготовительные отделения широко используют высоконапорные нагнетательные установки с камерными насосами. Некоторые параметры этих установок приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Параметры установок пневмотранспорта

Параметры	Диаметр насоса, мм	
	1200	1400
Полезная вместимость резервуара насоса, м ³	1,0	2,5
Внутренний диаметр транспортного трубопровода, мм	75...100	125

Дальность транспортирования, м	400	400
Производительность, м ³ /ч	6...10	12...25
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	10...12	15...18
Рабочее давление воздуха, Н/м ²	(3...5)×10 ⁵	(3...5)×10 ⁵

4.2 Энергетические затраты

Составляются сводные ведомости по расходу электроэнергии, сжатого воздуха, производственной воды, кислорода и ацетилена, различных видов топлива и т.д. Составляют также ведомости установленной мощности токоприемников технологического и транспортного оборудования цеха. Расход определяют на основании ведомостей оборудования и технологических расчетов по основным и вспомогательным отделениям. Ниже приведены некоторые укрупненные данные, демонстрирующие расход по основным энергетическим позициям.

Общий расход электроэнергии складывается из расхода на технологические нужды и на электропривод силовых установок. Расчет электроэнергии на освещение производят отдельно. Главная доля электроэнергии на технологические нужды расходуется на плавку металла и термообработку отливок. Данные по расходу электроэнергии на плавку были приведены в главе второй. В таблице 32 приведены данные по расходу электроэнергии на термообработку.

Таблица 32 – Расход электроэнергии на термообработку отливок

Цехи, плавильные агрегаты	Удельный расход, кВт*ч/т
Серый чугун. Старение. Электродвигатели сопротивления толкательные.	230...250
Ковкий чугун. Отжиг. Электродвигатели сопротивления толкательные.	450...500
<i>Силумины</i>	
Закалка. Электродвигатели сопротивления толкательные.	300...360
Старение. Электродвигатели сопротивления вертикальные конвейеры	135...150

В таблице 33 приведены данные по установленной мощности электродвигателей технологического и транспортного оборудования для различных цехов.

Таблица 33 – Установленная мощность электродвигателей

Цехи	Сменность работы цехов	Установленная мощность кВт на 1 т годных отливок в год
Серого чугуна	2	0,09...0,10

Ковкого чугуна	2	0,08...0,09
Сталелитейные	3	0,07...0,08
Сталелитейные	2	0,10...0,12
Алюминиевого литья	2	0,13...0,15

Годовой расход осветительной энергии определяется следующим образом

$$W_0 = 0,001 \rho F T_{\partial}, \quad (52)$$

где ρ - средний расход электроэнергии за 1 ч на 1 м² площади (для производственных помещений $\rho = 15 \dots 18$ Вт, складских $\rho = 8 \dots 10$ Вт, бытовых $\rho = 8$ Вт);

F – освещаемая площадь, м²;

T_{∂} – годовое количество часов осветительной нагрузки ($T_{\partial} = 650 - 800$ при односменной работе, $T_{\partial} = 2300 - 2500$ при двухсменной и $T_{\partial} = 4600 - 4800$ при трехсменной).

Сжатый воздух используется в формовочных и стержневых машинах, дробеструйных камерах, пневматических подъемниках и т.д. Укрупненный расход сжатого воздуха в м³ на 1 т выпускаемых отливок составляет:

цехи серого чугуна	1000...1300,
цехи ковкого чугуна	1200...1500,
цехи стального литья	1400...1800.

Вода в литейных цехах используется для увлажнения формовочных смесей (ее количество определяется по годовому грузообороту смеси), для охлаждения рабочих узлов плавильных печей, на грануляцию шлака, гидроочистку отливок, мойку сушильных плит, хозяйственные нужды и т.д. В таблице 34 приведены данные по расходу воды на технологические нужды.

Таблица 34 – Расход воды на технологические нужды

Цехи	Расход производственной воды на 1 т годных отливок, м ³	Характеристика плавильных агрегатов
Серого чугуна	8...10	Вагранка с охлаждением плавильного пояса
Ковкого чугуна	14...15	Дуплекс-процесс вагранка + дуговая электрическая печь
Сталелитейные	13...14	Дуговые электропечи

Алюминиевого литья	35...40	Индукционные печи промышленной частоты
--------------------	---------	--

Топливо (газ, мазут, кокс, уголь и т.д.) и пар используют для плавки металла, отопления сушильных и термических печей, подогрева и сушки ковшей и других целей. Расходы определяют исходя из часового расхода конкретных установок. Укрупненные расчеты ведутся по удельным нормам расхода на 1 т жидкого металла, 1 т годных отливок, 1 т сухого продукта и т.д. В таблице 35 приведены некоторые укрупненные данные.

Таблица 35 – Нормы расхода топлива

Вид операций и расходов	Расход	
Плавка на холодном дутье Плавка на горячем дутье	Расход кокса (110...160) кг То же (90...130) кг	на 1 т переплавляемого металла
Сушка песка Сушка глины Подсушка стержней	Расход топлива (25...40) МДж То же (50...80) МДж То же (10...15) МДж	на 1 т сухого продукта
Сушка и подогрев ковшей	Расход топлива (5...20) МДж	на 1 т жидкого металла

Укрупненные данные по расходу топлива на технологические нужды приведены в таблице 36.

Таблица 36 – Расход топлива на технологические нужды

Цехи	Расход топлива на 1 т годных отливок, МДж
серого чугуна	100...125
ковкого чугуна	75...90
сталелитейные	75...90
стального литья по выплавленным деталям	1250...1400

Данные о расходе кислорода и ацетилена приведены в таблице 37.

Таблица 37 – Расход кислорода и ацетилена

Цехи	Назначение	Расход на 1 т годных отливок, м ³	
		кислорода	ацетилена
Серого чугуна Ковкого чугуна	Заварка дефектов	0,6...0,8	0,5...0,6
		0,4...0,5	0,3...0,4

Сталелитейные	Резка прибылей, заварка дефектов	3,0...4,0	1,5...2,0
---------------	-------------------------------------	-----------	-----------

4.3 Строительная и санитарно-техническая части проекта

При проектировании определяют тип задания, его этажность, ширину и высоту пролетов, расположение колонн. Следует применять универсальные типовые решения, обеспечивающие взаимозаменяемость строительных элементов, создающие условия для индустриализации и механизации строительства. В основу типизации положена каркасная схема здания. Размеры строительных параметров зданий, строительных изделий и оборудования устанавливают на основе единой модульной системы, определяющей шаг колонн, пролеты, высоту помещения, расстояния между несущими конструкциями и т.д. Разработаны универсальные типовые секции для одно- и двухэтажных зданий. Форма зданий литейных цехов должна обеспечивать получение наиболее рациональных технологических потоков, эффективную вентиляцию, аэрацию и освещение. Во всех литейных цехах следует предусматривать мощную искусственную вентиляцию.

Ширина пролетов цехов чаще всего составляет 24 и 30 м, в отдельных случаях 18 м.

Разработаны унифицированные ряды высот пролетов для цехов с различными подъемно-транспортными средствами.

Литейные цехи строят по индивидуальным проектам. Цехи крупносерийного и массового производства размещают в зданиях, имеющих форму прямоугольника с отношением сторон от 1:1 до 1:3; для цехов мелкосерийного и единичного производства крупных и тяжелых отливок, а также для цехов стального литья целесообразны здания вытянутой формы с отношением сторон более 1:3, а также Г- и Т-образных форм.

В санитарно-технической части проекта следует учитывать нормы по отоплению и вентиляции, освещению, шумам, нормы проектирования административно-конторских помещений, культурно-бытовых и т.д.

5 ПЛАНИРОВКИ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ

5.1 Компонировочные решения

На первом этапе проектирования решаются общие вопросы объемно-планировочных и компоновочных решений. Важнейшее место занимает вопрос уровней – рациональное расположение оборудования и транспортных средств в подвальных и основных помещениях

одноэтажных цехов, на первом и втором этажах двухэтажных цехов и т.д.

Сооружение подвалов, антресолей, туннелей и различных площадок в ряде случаев вызывает значительные трудности. Площадь подвальных помещений одноэтажных цехов составляет примерно 50...70% от площади застройки цеха. Стоимость сооружения 1 м³ подвальных помещений производственного назначения составляет 20...25 тнг., что примерно в два раза превышает стоимость сооружения 1 м³ двухэтажного здания. Сооружение подвалов практически невозможно при высоком уровне грунтовых вод. В этой связи для большинства литейных цехов с массой отливок до 1000 кг и даже более предусматриваются в качестве типовых проектов двухэтажные здания. Двухэтажные здания рациональны с точки зрения строительных решений: сокращается территория завода, уменьшается протяженность коммуникаций, сокращается площадь кровли и расход на ее эксплуатацию, обеспечивается возможность строительства завода на площадке с высоким уровнем грунтовых вод, строительства индустриальными методами и т.д.

На первом этаже следует располагать склады и вспомогательные службы, на втором – основные производственные отделения. На первом этаже располагается следующее оборудование: вентиляционное, сантехническое, трансформаторы, печные и силовые подстанции, тепловые воды, оборудование непрерывного транспорта, технологическое оборудование с вредными выделениями и подлежащее локализации (выбивные установки, охлаждающие ветви конвейеров, галтовочные барабаны и т.д.), пульта управления, склады оснастки, отливок и пр.

На втором этаже располагают основные производственные отделения: плавильное, формовочное, стержневое, смесеприготовительное, очистное.

Стержневые и термообрубные отделения могут располагаться в одноэтажном здании. Смесеприготовительное отделение, как правило, занимает всю высоту двухэтажного здания; при этом междуэтажные перекрытия отсутствуют. Эти отделения могут располагаться и в отдельных зданиях.

Литейные цехи для производства крупных и тяжелых отливок проектируются в одноэтажных зданиях. Вспомогательное оборудование и склады при этом располагаются частично на производственной площади, антресолях, в подвалах.

Компоновочные схемы чугуно- и сталелитейных цехов различного назначения представлены на рисунке 16. Характеристики компоновочных решений представлены в таблице 38. В большинстве схем

предусматривается двухэтажное решение, однако почти всегда возможно размещение стержневых отделений и отделений обработки в одноэтажных частях зданий или в отдельных одноэтажных зданиях. Для одноэтажных цехов производства крупных и тяжелых отливок наиболее рационально применение компоновки №9.

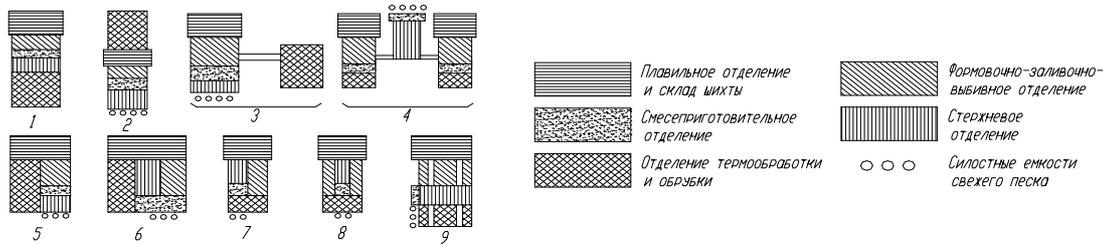


Рис.16. Компоновочные схемы литейных цехов

Рисунок 16 – Компоновочные схемы литейных цехов

Таблица 38 – Компоновочные решения цехов

№ комп. оно-вок	Характеристика	Область применения	Преимущества и недостатки
1	2	3	4
1	Цех располагается в одном здании шириной до 96 м	Стале- и чугунолитейные цехи любого назначения	Недостаток: большая длина здания
2	Отделение термообработки и обрубки располагается за складом шихты	Стале- и чугунолитейные цехи любого назначения	Преимущества: короткий грузопоток возврата литников в шихтовый пролет, открытое стержневое отделение (удобное расположение силосных емкостей)

Продолжение таблицы 38

№ ком. по-но-вок	Характеристика	Область применения	Преимущества и недостатки
1	2	3	4
3	Расположение отделения термообработки и обруб-	Цехи с большим объемом производства	Преимущество: меньшая длина корпуса

	ки в отдельном здании	или с большим объемом термических и обрубных работ (сталелитейные, ковкого чугуна)	
4	Расположение стержневого отделения в отдельном здании	Обслуживание стержневым отделением двух цехов с однотипной программой (например, цехов мелкого серого и ковкого чугунного литья)	Преимущества: рациональное использование стержневого отделения, упрощение грузопотока песка, сокращение длины корпусов. Недостаток: длинные грузопотоки стержней
5	Расположение всех отделений под одной крышей	Цехи массового производства большой мощности	Недостатки: большая ширина здания, повышенные требования к искусственному отоплению и вентиляции
6	Расположение всех отделений под одной крышей при минимальной длине и большой ширине цеха	Цехи малой и средней мощности. Компоновка наиболее удобна для цехов мелкосерийного и единичного производства	Преимущество: удобное транспортирование стержней к месту сборки. Недостаток: повышенные требования к искусственному отоплению и вентиляции
7	Малая ширина здания	Цехи малой мощности, чаще с мелкосерийным производством	Преимущества: хорошее естественное освещение и вентиляция, удобное транспортирование стержней на сборку

Продолжение таблицы 38

№ ком-по-но-вок	Характеристика	Область применения	Преимущества и недостатки
1	2	3	4
8	Расположение стержневого отделения между	Цехи мелкосерийного производства и круп-	Преимущество: возможность выпуска от-

	двумя формовочными	ных отливок	ливок широкой номенклатуры
9	Аналогична предыдущей. Расположение смесеприготовительного отделения в специальной пристройке	Цехи с широкой номенклатурой средних и крупных отливок, в основном мелкосерийного производства	Преимущества: лучшие условия работы в цехе, просторное размещение смесеприготовительного оборудования; удобство для одноэтажных цехов двух вставок для размещения транспортного и вспомогательного оборудования

5.2 Нормы расположения проездов и оборудования

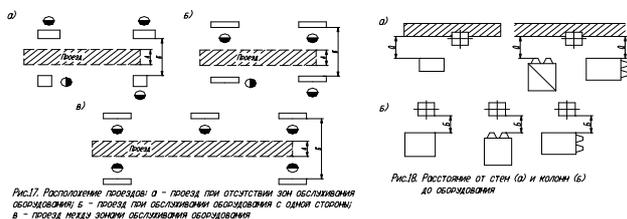
Оборудование следует располагать с учетом его габаритов и норм размеров пролетов и грузоподъемности транспортных средств различных отделений цеха. Условные обозначения элементов оборудования приведены в приложении. Расположение и нормы цеховых проездов представлены соответственно на рисунке 17 и в таблице 39. Высоту проемов для проездов устанавливают с учетом максимальных габаритных размеров транспортируемых грузов и стандартного ряда высот 3000, 4200, 5600 м и выше. Нормы расстояний от стационарного оборудования до стен и колонн представлены на рисунке 18 и в таблице 40.

Таблица 39 – Нормы размеров цеховых проездов

Направление движения	Минимальная высота	Обозначение размера	Размеры проездов и расстояний между оборудованием при различных средствах транспорта, мм												
			электрокары грузоподъемностью, т			электропогрузчики грузоподъемностью, т			краны и краны-балки		электротележки по рельсовому пути шириной, мм			грузовые автомашины, т	
			до 1	до 3	до 5	до 0,5	до 1	до 3			1000	1524	1524	до 1	до 5
			размеры транспортируемых грузов или тары с грузом, мм												
			до 800	до 1500	до 2000	до 800	до 1500	до 2000	до 1500	до 3000	до 1500	до 2200	до 2600	-	-
Одностороннее	3000	А	2000	2500	3000	2500	3000	4000	2500	4000	2500	3500	4000	-	-
		Б	2500	3000	3500	3000	3500	4500	3000	4500	3000	4000	47000	-	-
Двустороннее	3000	А	3000	3500	4000	3500	4000	5000	-	-	-	-	-	-	-
		Б	3500	4000	4500	4000	4500	5500	-	-	-	-	-	-	-
Одностороннее	3000	А	2000	2500	3000	2500	3000	4000	2500	4000	-	-	-	-	-
		Б	3300	3800	4300	3800	4300	5300	3800	5300	-	-	-	-	-
Одностороннее	3000	А	2000	2500	3000	2500	3000	4000	2500	4000	-	-	-	-	-
		Б	4000	4500	5000	4500	5000	6000	4500	6000	-	-	-	-	-
Магистральный проезд.		А	3000	3500	4000	3500	4000	5000	-	-	-	-	-	4500	5500
		Б	3500	4000	4500	4000	4500	5500	-	-	-	-	-	5000	6000
Двустороннее движение															

Таблица 40 – Нормы расстояний от стационарного оборудования до стен и колонн

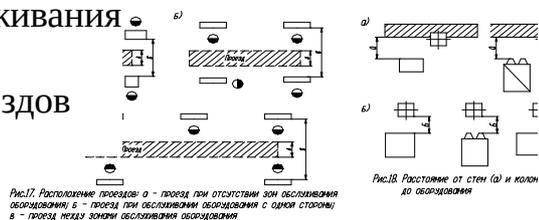
Расстояния	Расстояние, мм				
	мелкое оборудование габаритом до 1500×1500 мм	среднее оборудование габаритом до 4000×3500 мм	крупное оборудование		печи сушильные и термические
			габаритом до 8000×6000 мм	габаритом более 8000×6000 мм	
От стены до тыльной или боковой стороны оборудования – “а”	800	1000	1100	1200	1200
От колонны до тыльной или боковой стороны оборудования – “б”	800	1000	1100	1200	1000



- а- проезд при отсутствии зон обслуживания оборудования;
- б- проезд при обслуживании оборудования с одной стороны;
- в – проезд между зонами обслуживания оборудования

Рисунок 17 – Расположение проездов

Рисунок 18 – Расстояние от стен (а) и колонн (б) до оборудования



6 ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЦЕХА

Номенклатура основных технико-экономических показателей цеха представлены в таблице 41.

Таблица 41 – Техничко-экономические показатели

Показатели	Значение
Годовой выпуск отливок, т Количество работающих в цехе, всего, чел. в том числе производственных рабочих ИТР (инженерно-технических работников) СКП (счетно-конторского персонала) МОП (младшего обслуживающего персонала) Фонд заработной платы, тыс.тнг. в том числе производственных рабочих ИТР СКП Себестоимость 1 т жидкого металла, тнг Себестоимость 1 т годных отливок, тнг Общая площадь цеха, м ² Производственная площадь цеха, м ² Выпуск отливок на одного работающего, т Трудоемкость 1 т годных отливок, н*ч Съем с 1 м ² общей площади, т Съем с 1 м ² производственной площади, т Экономический эффект, тыс.тнг Срок окупаемости капитальных вложений, год	

Примерное соотношение отдельных категорий работающих в цехе характеризуется данными таблице 42.

Таблица 42 – Соотношение категорий работающих в литейных цехах (в % к производственным рабочим)

Категории работающих	Вид производства		
	массовое	серийное	индивидуальное
Производственные рабочие	100	100	
Вспомогательные рабочие	70-85	65-75	
ИТР	12-16	10-12	
СКП	5-6	4-5	
МОП	6-7	5-6	
		100	
		45-55	
		10-12	
		4-5	
		5-6	

Показатели выпуска отливок различных цехов, соответствующие современному уровню технологических и проектных решений, представлены в таблице 43. По этим данным можно провести ориентировочные расчеты площадей цеха и количества рабочих, в зависимости от масштабов и характера производства отливок той или иной номенклатуры.

Таблица 43 – Показатели выпуска отливок различных цехов

Отрасль машиностроения	Масштаб производства, тыс.т	Выпуск отливок с 1 м ² , т/год			Выпуск годных отливок, т/год	
		общей площади цеха	формовочно-заливочно-выбивного отделения	термо-обрубного отделения	на одного рабочего	на одного работающего

Серый чугун						
Автомобилестроение						
Автомобили грузовые	60...100	1,8...2,3	10...13	8...11	80...100	70...100
Автомобили легковые	60...100	1,4...1,7	7...9	6...8	60...80	50...70
Тракторостроение	60...100	1,9...2,4	11...13	10...12	90...110	80...100
Тракторостроение	100	2,1...2,7	12...15	11...13	100...130	90...120
Станкостроение						
Мелкие отливки	15...30	1,7...2,1	8,0...10	7,0...9,0	65...85	60...80
Средние отливки	30...35	1,2...1,6	4,5...5,6	5,0...7,0	70...90	65...85
Крупные отливки	20...25	1,1...1,5	3,5...4,5	4,0...6,0	55...75	50...70
Тяжелое машиностроение						
Металлургическое машиностроение	25...30	1,0...1,2	4,5...5,5	2,8...3,3	56...64	44...48
Тепловозостроение	15...20	0,8...1,1	3,5...4,5	2,5...3,4	36...44	30...34
Электротехническое машиностроение	60...100	2,0...2,8	-	-	80...120	70...105

Продолжение таблицы 43

Отрасль машиностроения	Масштаб производства, тыс.т	Выпуск отливок с 1 м ² , т/год			Выпуск годных отливок, т/год	
		общей площади цеха	формовочно-заливочно-выбивного отделения	термообрубного отделения	на одного спичного рабочего	на одного работающего
Санитарно-техническое оборудование						
Радиаторы	100...150	3,0...4,0	-	-	200...250	180...220
Ванны	40...60	2,5...2,5	-	-	110...140	100...120
Ковкий чугун						
Автомобилестроение						

строение						
Автомобили грузовые	30...60	1,3...1,6	8...11	5,5...7,0	50...75	45...65
Автомобили легковые	30...50	1,3...1,6	6...8	4,0...5,5	50...60	45...55
Тракторостроение	40...60	1,4...1,7	8...11	5,5...7,0	55...80	50...70
Санитарно-техническое оборудование	20...30	1,6...1,8	-	-	80...110	70...100
Сталь						
Автомобилестроение						
Автомобили грузовые	30...50	1,4...1,8	9...11	6,0...8,0	60...80	50...70
Тракторостроение	50...100	1,7...2,2	11...13	7,0...9,0	85...100	75...85
Углеродистая сталь	100...150	2,0...2,4	12...15	8,0...10,0	90...110	80...100
	50...100	1,9...2,3	10...12	9,0...11,0	90...110	80...100
Марганцовистая сталь	100...150	2,2...2,7	11...13	10,0...12,0	100...120	90...110
	30...35	1,0...1,2	4,0...5,0	3,5...4,5	55...75	50...70
Станкостроение						
Металлургическое машиностроение	20...25	0,8...1,0	4,0...5,0	2,0...2,5	42...45	36...40
Экскаваторостроение	30...50	1,5...1,9	-	-	60...80	50...70

ЛИТЕРАТУРА

1 Основы проектирования литейных цехов и заводов. Авт.: Л.И.-Фанталов, Б.В.Кнорре, С.И.Четвертухин и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 376 с.

2 Логинов И.З. Проектирование литейных цехов. – Минск: Высшая школа, 1975. – 320 с.

3 Проектирование машиностроительных цехов и заводов (справочник в 6 т.). Проектирование литейных цехов и заводов, т. 2. Редактор – В.М.Шестопап. – М.: Машиностроение, 1974. – 294 с.

4 Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки. Ч.П. – М.: Машиностроение, 1979. – 335 с.

5 Литейные системы и их моделирование / Авт.: А.А.Бречко, Л.Г.Атливаник, Ю.Г.Поляков, А.И.Щаников, Н.Г.Бречко. – Л.: Машиностроение, 1975. – 248 с.

6 Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику. – М.: Наука, 1975. – 478 с.

7 Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 220 с.

8 Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. – 604 с.

9 Фрид Э. Введение в абстрактную алгебру. – М.: Мир, 1979. – 259 с.

