

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Кафедра Технических дисциплин  
Направление подготовки 22.03.02 «Металлургия»  
направленность (профиль) «Металлургия черных металлов»

Допускается к защите  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_/Д.С. Балабанов/  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

на тему: «Разработка мероприятий по повышению качества  
заготовок для изготовления болтов».

Студент \_\_\_\_\_ / Красильникова Н.В. /

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на \_\_\_\_\_ стр.
2. Графическая часть на \_\_\_\_\_ листах.

Руководитель \_\_\_\_\_ / Белова С.А. /

## Содержание

Реферат	
Введение	
1 Анализ технологии производства заготовок для изготовления болтов	
1.1 Общие сведения	
1.2 Чугун пердедельный	
1.3 Выплавка стали	
1.4 Расчет химического состава стали 10	
1.4.1 Расчет материального баланса плавки	
1.4.2 Расчет количества раскислителей	
1.4.3 Расчет теплового баланса плавки	
1.4.4 Корректировка теплового баланса	
1.5 Внепечная обработка	
1.6 Волочение	
1.7 Термическая обработка после волочения	
2 Анализ причин появления дефектов	
3 Разработка мероприятий по повышению качества заготовок	
Заключение.....	
Список используемой литературы.....	

## Реферат

57 стр., 2 части, 26 рис., 12 табл., 1 прилож., библи. 23 ист.

«Разработка мероприятий по повышению качества заготовок для изготовления болтов».

Объектом исследования является: неравномерная твердость заготовок для болтов из стали 10 и дефекты, появляющиеся при их изготовлении.

Цель работы: изучение свойств стали 10, причин появления неравномерной твердости, разработка мероприятия по повышению качества заготовок для изготовления болтов.

В данной работе представлены: назначение, химический состав и область применения стали 10, проведен обзор существующих технологических процессов выплавки низкоуглеродистых сталей, проанализирована технология выплавки стали 10, показано влияние термообработки на твердость данной стали, проведен анализ существующих видов брака на предприятии, метод совершенствования технологии.

В процессе работы изучены: метод выплавки стали, способы внепечной обработки, методы изготовления заготовок, влияние термообработки на твердость стали.

									Лист
									3
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -			

## Введение

Болты и болтовые соединения в целом играют огромную роль в жизнедеятельности человека, как в производственной сфере, так и в обыденной жизни. Болты служат для того, чтобы скреплять между собой различные конструкции и детали. Они бывают разных размеров, производятся из разных материалов. Это в первую очередь зависит от назначения болта.

Детали получают из проката с применением различных технологических операций холодного деформирования: волочения, высадки, накатки резьбы.

Развитие производства крепежа в условиях рыночной экономики, требующего обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции, наряду с повышением конструкционной прочности и эксплуатационной надёжности, предполагает снижение затрат по всей производственной цепочке, начиная от получения стали, проката и заканчивая изготовлением готовых деталей требуемого качества. Особенное значение приобретает этот фактор в производстве крепежа, предназначенного для массового потребления. [1]

На предприятие ООО «ЛЗМИ» поступает заготовка для изготовления болтов в виде бунтов проволоки диаметром от 5 до 8,8 мм.

В плане минимизации стоимости данных изделий предпочтительней применять сталь 10. Данная марка стали стандартизована (ГОСТ 1050-88). Она традиционно имеет наибольшее распространение для крепёжных изделий и зарекомендовала себя легко осваиваемой метизным производством любой степени массовости. Преимущество данной стали – достаточно высокая технологичность в холодной объёмной штамповке благодаря пониженному содержанию углерода.

Эксплуатационные показатели проката, предназначенного для изготовления стержневых изделий, формируются на всех стадиях,

									Лист
									4
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -			



# 1 Анализ технологии производства заготовок для изготовления болтов

## 1.1. Общие сведения

ООО «Лысьвенский завод металлоизделий», организовано в 2014 году и базируется на выпуске товаров народного потребления, в том числе термосов бытовых вместимостью 36 литров (рис. 1.1)



Рисунок 1.1 Термос бытовой вместимостью 36 литров

Для обеспечения 100 %-ной герметичности, в соответствии с ТУ 1482-071-00186335-2008, применяются болтовые соединения для соединения крышки и корпуса [2].

Термоса предназначены для эксплуатации в условиях возможных агрессивных воздействий внешней среды и жесткой транспортировки. Внешний корпус термоса изготовлен из углеродистой стали и покрыт специальной краской защитного цвета, устойчивой к сколам и ударам.

Внутреннюю колбу изготавливают из нержавеющей стали. Колба сделана съемной, для облегчения очистки после использования. На стыке крышки с основной частью используется монолитное уплотнительное кольцо из пищевой резины для герметизации. Притягивание крышки для герметизации осуществляется с помощью болтового соединения, состоящего из болта откидного, основания, заклепки.

Болт откидной (ГОСТ 3033-79) – это металлическая деталь, крепящаяся к основе по принципу простого болта, самореза или винта. Такие метизы имеют довольно непривычную форму – головка у него нетипичная, внешне очень напоминающая петельку (рис 1.2) [3].



Рисунок 1.2 Болт откидной

Конструкция и размеры откидного болта, изготавливаемом на базе предприятия ООО «ЛЗМИ», должны соответствовать ГОСТу-3033-79 по размеру, форме и классу точности.

Размер диаметра откидных болтов 8 мм., длина общая 66 мм., длина болта без шапочки 46 мм.. Резьбовую насечку производят по всей длине.

Болты с головками сферической формы применяются для герметичного крепления корпуса термоса с крышкой. Для этого в отверстие верхушки вставляется металлический стержень, который выполняет функцию своеобразного рычага.

При смене поставщика и марки стали со стали 15 на сталь 10 производства ООО «Северсталь» появились проблемы с изготовлением болтов, связанные с неравномерной твердостью проволоки.

В соответствии с ГОСТ 7417-86 твердость заготовки для болта должна составлять 143НВ, а фактическая – 121НВ (Приложение 1) [4]. С учетом состояния поставки по ГОСТ 10702-2016 прокат стальной калиброванный круглый, диаметром 8,8 мм., для получения качественной заготовки при штамповке болта можно получить при твердости 120-150НВ., но при этом показания твердости должна быть одного значения.

При проведении испытаний на твердость выяснилось, что разница твердости по длине проволоки от 121НВ до 146НВ (Рис. 1.3). Из-за существенной разницы твердости по длине заготовки увеличивается количество брака при производстве болтов.

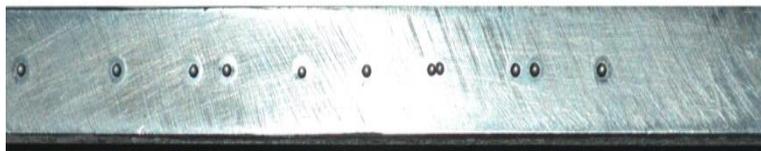


Рисунок 1.3 Образец для измерения твердости вырезанный из части проволоки

Испытания проводились в лаборатории ЛФ ПНИПУ на твердомере по Роквеллу и переведена в соответствии таблицей в твердость по Бринелю.

Метод Роквелла. Твердость определяется по глубине отпечатка. Производится вдавливанием в металл стального шарика на приборе Роквелла под действием 2-х последовательно приложенных нагрузок, шкала, по которой проводится испытание, зависит от твердости металла. Стальной шарик служит для определения твердости мягкого металла. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 9013-59[6].

При проведении выборки выявилось: из-за неравномерной твердости из 1000 шт. заготовок на 194 шт., уже после второй операции «Высадка», производимой на автомате холодновысадочный А-1235 появляется дефект «неполное формирование головки болта» (рис. 1.4).



Рисунок 1.4. Дефект "Неполное формирование головки болта"

Материалом для изготовления болтов является сталь 10, химический состав и свойства которой приведены в табл. 1.1. Степень раскисления стали – спокойная (обозначают без индекса) [7].

Таблица 1.1 Химический состав и свойства стали 10

Массовая доля основных химических элементов, %										
C - углерода			Si - кремния			Mn - марганца				
0,07-0,14			0,17-0,37			0,35-0,65				
Температура критических точек, °C										
Ac <sub>1</sub>		Ac <sub>3</sub>			Ar <sub>1</sub>		Ar <sub>3</sub>			
732		870			680		854			
Технологические свойства										
Ковка		Температура ковки, °C: начала 1300, конца 700. Охлаждение на воздухе.								
Свариваемость		Сваривается без ограничений, кроме деталей после химико-термической обработки. Способы сварки: ручная дуговая сварка, автоматическая дуговая сварка, контактная сварка.								
Обрабатываемость резанием		В горячекатаном состоянии при HB 99-107 и $\sigma_B = 450$ МПа: $K_v$ твердый сплав = 2,1 $K_v$ быстрорежущая сталь = 1,6								
Флокеночувств.		Не чувствительна								
Склонность к отпускной хрупкости		Не склонна								
Физические свойства				Температура испытаний, °C						
				20	100	200	300	400	500	600

Физические свойства	Температура испытаний, °С									
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Модуль нормальной упругости E, ГПа	206	199	195	186	178	169	157	-	-	-
Модуль упругости при сдвиге кручением G, ГПа	78	77	76	73	69	66	59	-	-	-
Плотность $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	7856	7832	7800	7765	7730	7692	7653	7613	7582	7594
Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м*К)	-	58	54	49	45	40	36	32	29	27
Удельное электросопротивление $\rho$ , Ом*м	-	190	263	352	458	584	734	905	1081	1130
	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ , К <sup>-1</sup>	12,4	13,2	13,9	14,5	14,9	15,1	15,3	12,1	14,8	12,6
Удельная теплоемкость c, Дж/(кг*К)	466	479	-	512	-	567	-	-	-	-

Для изготовления болтов материал должен обладать необходимыми механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами:

1. Пластичность – это позволяет применять его для производства деталей методом холодной штамповки. Для массового производства продукции часто применяется технология холодной штамповки.

2. Высокий предел выносливости дает возможность применять материал для изготовления ответственных деталей, которые предназначены для длительной работы в условиях переменных нагрузок [2].

На производственные линии предприятия сталь 10 поставляется в виде проката, листов, поковок. Технология изготовления болтов и применяемое оборудование представлены на рис. 1.5 и в табл. 1.2.

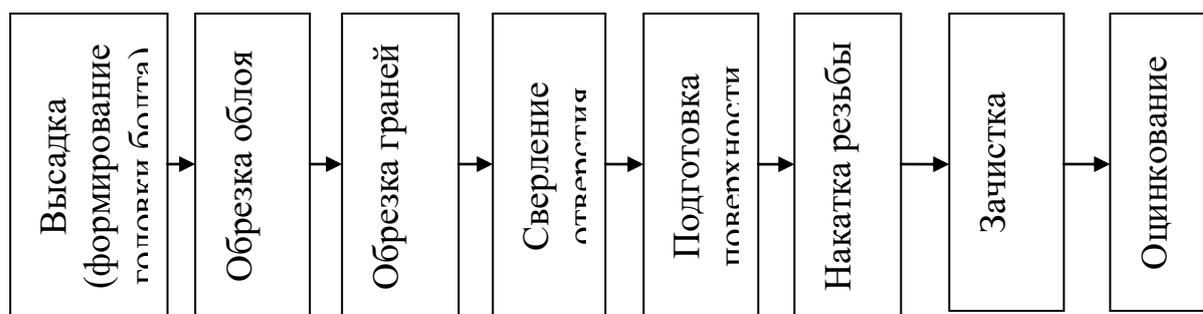


Рисунок 1.5. Схема изготовления болтов

Таблица 1.2 Оборудование, используемое при изготовлении болтов

Операция	Оборудование
Нарубка	Пресс эксцентриковый F- 100кН
Высадка	Автомат холодновысадочный А-1235
Обрезка облоя	Пресс эксцентриковый F- 100кН
Обрезка граней	Пресс эксцентриковый F- 100кН
Сверление отверстия	Станок настольный сверлильный 2А-112
Подготовка поверхности	Линия подготовки поверхности
Накатка резьбы	Полуавтомат резьбонарезной 5А-935
Зачистка	Станок вертикально-сверлильный «Баррикан»;
Оцинкование	Ванна б/н

### 1.2 Чугун передельный.

Один из первичных сплавов железа, выплавленный в доменной печи и идущий (в жидком или твёрдом виде) в переработку (передел) на сталь главным образом в кислородных конвертерах. Передельный чугун отличается низким содержанием Si и Mn (не более 1,75% каждого). Чугун передельный, предназначенный для кислородно-конвертерного передела, имеет более узкие пределы колебаний химического состава по Si, Mn и S.

### 1.3 Выбор плавильного агрегата. Выплавка стали.

Для производства стали используется несколько методов, обладающих своими определенными достоинствами и недостатками.

Все сплавы при получении проходят одинаковые технологические стадии, дополнительную обработку. Плавильная печь загружается сырьем, шихтой, нагревается до расплавления, удаляются лишние примеси.

Дополнительная обработка зависит от конкретного заданного состава продукта, нужных химических, физических свойств.

По технологии производства, сплавы получают:

- Кислородно-конвекторным способом выплавки;
- Мартеновским способом получения;
- Электротермическим способом производства.

Сталь 10 – это конструкторная качественная сталь с содержанием вредных примесей  $S \leq 0,06 \%$  и  $P \leq 0,07\%$ , поэтому для ее производства экономически целесообразно использовать кислородный конвертер.

Этот способ производства назван по двум составляющим технологии. Кислород, содержащийся в воздухе, окисляет избыток углерода и примесей в конверторной печи. Расплавленное сырье, шихта, продувается нагретым кислородом под давлением. Материал футеровки химически участвует в процессе выплавки, вступая в реакцию с расплавленным сырьем.

Кислородный конвертер – сосуд грушевидной формы с горловиной и боковыми отверстиями. Футеровка – основная (магнезит  $MgCO_3$  или хромомagneзит). Стойкость футеровки – до 2000 плавов. Конвертер поворачивается вокруг горизонтальной оси с помощью приводных механизмов. Рабочее положение конвертера – вертикальное. Емкость современных конвертеров 300...350 тонн (максимально – до 500 тонн). В горловину во время плавки опускается охлаждаемая водой фурма (труба), через которую под давлением 10 - 15 атмосфер (1–1,5 МПа) подается кислород.

									Лист
									12
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -			



доломита, магнезита, магнезитового кирпича или основного шлака, которые дают основную реакцию при рабочей температуре.

При применении основной футеровки успешно протекает удаление фосфора. Фосфор удаляют в начальный период плавки, создавая окислительные шлаки высокой основности шлака. Серу удаляют так же при высокой основности шлака. Эти реакции носят обратимый характер, и при наличии в шлаке повышенного количества FeO они идут в обратном направлении [8].

#### 1.4 Расчет химического состава стали 10

Необходимо рассчитать материальный и тепловой балансы кислородно–конвертерной плавки с применением металлического лома при выплавке стали 10.

В шихте использовать: чугуна – 78 %; металлического лома – 22 %.

Температура чугуна перед заливкой – 1320 °С.

Чугун	3,8	0,7	0,7	0,3	0,03
Металлический лом (скрап)	0,2	0,1	0,5	0,04	0,04

Исходные данные

Расчет материального баланса ведется на 100 кг металлической шихты (чугун + лом).

Составы применяемых шлакообразующих материалов представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 Состав шлакообразующих материалов

Наименование материала	Содержание составляющих шлака, %								
	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>
Известь	2,0	86,0	2,0	2,0	–	–	2,0	6,0	–
Плавиновый шпат	3,0	3,5	–	1,0	–	–	–	6,0	86,5
Футеровка	5,0	2,0	70,0	3,0	8,0	13,0			

В расчетах рекомендуется принять:

1. Химический состав стали после продувки перед раскислением:
    - содержание углерода – нижнее значение заданной марки стали, так как углерод дополнительно поступает с некоторыми ферросплавами;
    - содержание марганца – 25 % от исходной концентрации в чугуна;
    - содержание фосфора и серы по 0,025 каждого.
  2. Расход футеровки – 0,3 % от массы садки.
  3. Технический кислород содержит 99,5 %  $O_2$  и 0,5 %  $N_2$
  4. Расход плавикового шпата – 0,3 %.
  5. Потери металла: с корольками – 0,5 кг; с выбросами – 1,0 кг.
- Температура стали перед выпуском – 1620 °С.

Основность шлака – 3,0.

Химический состав чугуна и металлического лома приведен в таблице 1.4.

Таблица 1.4 Химический состав чугуна и металлического лома

Компоненты шихты	Содержание элементов, %				
	C	Si	Mn	P	S
Чугун	3,8	0,7	0,7	0,3	0,03
Металлический лом (скрап)	0,2	0,1	0,5	0,04	0,04

Химический состав стали 10 для расчета шихты приведен в таблице 1.5.

Таблица 1.5 Химический состав стали 10[7]

Содержание элементов							
C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	P	S
			не более				
0,07- 0,14	0,17 – 0,37	0,35 – 0,65	0,3	0,3	0,15	0,035	0,04

### 1.4.1 Расчет материального баланса плавки

Определяем средний состав шихты при условии передела заданного количества чугуна и скрапа в шихте и количество примесей, окислившихся к концу продувки металла (табл. 1.6).

Расчет среднего содержания элемента в шихте производим, используя данные таблицы 1, на примере углерода:

$$M_{\text{э}} = m_{\text{ч}} \cdot \frac{78\%}{100\%} + m_{\text{скр}} \cdot \frac{22\%}{100\%} = 3,8 \cdot \frac{78}{100} + 0,2 \cdot \frac{22}{100} = 2,964 + 0,044 = 3,008 \text{ кг} \quad (1.1)$$

где  $M_{\text{э}}$  – количество (масса) данного элемента в шихте;  $m_{\text{ч}}$  – количество (масса) элемента, вносимого в шихту чугуном;  $m_{\text{скр}}$  – количество (масса) элемента, вносимого в шихту из скрапа.

Аналогично производится расчет среднего содержания каждого элемента металлической части шихты.

Таблица 1.6 Средний состав шихты

	Содержание элементов, %				
	C	Si	Mn	P	S
Чугун вносит (78 %)	2,964	0,546	0,546	0,234	0,0234
Скрап вносит (22 %)	0,044	0,022	0,11	0,0088	0,0088
Средний состав ( $\Sigma$ )	3,008	0,568	0,656	0,2428	0,0322
Состав стали перед раскислением	0,07	–	0,175*	0,025**	0,025**

\* – 25 % от исходной нижней концентрации в чугуне

\*\* – рекомендуется

Рассчитываем количество удаляемых примесей из ванны на 100 кг шихты при продувке кислородом (табл. 5) на примере углерода:

$$M_{\text{э}_{\text{выгор}}} = M_{\text{э}} - M_{\text{д-р}} \cdot \frac{90\%}{100\%} = 3,008 - 0,07 \cdot 0,9 = 2,945 \text{ кг} \quad (1.2)$$

где  $M_{\text{э}_{\text{выгор}}}$  – количество (масса) элемента, удаляемого (выгораемого) в процессе продувки кислородом;  $M_{\text{э}}$  – количество (масса) данного элемента в

шихте и  $M_{0,p}$  – количество (масса) элемента в стали перед раскислением согласно таблице 1.6.

Таблица 1.7 Количество удаляемых примесей шихты

Элемент	Масса, кг
C	$3,008 - 0,07 \cdot 0,9 = 2,945$
Si	0,568
Mn	$0,656 - 0,175 \cdot 0,9 = 0,498$
P	$0,2428 - 0,025 \cdot 0,9 = 0,22$
S	$0,0322 - 0,025 \cdot 0,9 = 0,0097$
Fe (в дым)	1,5
Угар примесей $Y_{пр-ш}$	Всего: 5,7407

Примем, что при продувке ванны кислородом 10 % серы S выгорает до  $SO_2$ , т.е. окисляется 0,00097 кг серы.

В шлак переходит  $0,0097 - 0,00097 = 0,00873$  кг серы.

Рассчитываем расход кислорода на окисление примесей при окислении (табл. 1.6):

– 10 % углерода до  $CO_2 - 0,1 \cdot 2,882 = 0,2945$  кг;

– 90 % углерода до  $CO - 0,9 \cdot 2,882 = 2,6505$  кг.

Формулу для расчета расхода кислорода на окисление примесей (для таблицы 1.8) можно выразить, используя данные таблицы 5, следующим образом:

$$P_{O_2} = M_{э\_выгор} \cdot \frac{\sum O_{ам}}{\sum Э_{ам}} \quad (1.3)$$

где  $P_{O_2}$  – расход кислорода на окисление данного элемента;  $M_{э\_выгор}$  – количество (масса) элемента, удаляемого (выгораемого) в процессе продувки кислородом;  $\sum O_{ам}$  – суммарная атомарная масса кислорода в формуле оксида;

$\sum \varepsilon_{am}$  – суммарная атомарная масса окисляемой примеси (элемента) в формуле оксида.

Атомарные веса элементов в соответствии с таблицей Д.И. Менделеева составляют [5]: C = 12; O = 16; Si = 28; Mn = 55; P = 31; S = 32; Fe = 56.

Масса оксида каждого элемента определяется как сумма его удаляемой массы (табл. 1.5) и расхода кислорода на окисление указанного элемента.

Таблица 1.8 Расход кислорода на окисление примесей

Реакция	Расход кислорода, кг	Масса оксида, кг
$C \rightarrow CO_2$	$0,2945 \cdot 32 : 12 = 0,7853$	$0,2945 + 0,7853 = 1,0798$
$C \rightarrow CO$	$2,6505 \cdot 16 : 12 = 3,534$	$2,6505 + 3,534 = 6,1845$
$Si \rightarrow SiO_2$	$0,568 \cdot 32 : 28 = 0,649$	$0,568 + 0,649 = 1,217$
$Mn \rightarrow MnO$	$0,498 \cdot 16 : 55 = 0,145$	$0,498 + 0,145 = 0,643$
$P \rightarrow P_2O_5$	$0,22 \cdot 80 : 62 = 0,284$	$0,22 + 0,284 = 0,504$
$S \rightarrow SO_2$	$0,00097 \cdot 32 : 32 = 0,00097$	$0,00097 + 0,00097 = 0,0019$
$Fe \rightarrow Fe_2O_3$	$1,500 \cdot 48 : 112 = 0,643$	$1,500 + 0,643 = 2,143$
Всего $\sum P_{O_2}$ :	6,0413	11,7732

Расход кислорода составит: 6,0413 .

Расход извести определяем по балансу CaO и SiO<sub>2</sub> в шлаке для получения основности 3,0. Расход плавикового шпата принимаем 0,3 %. Расход футеровки – 0,3 % от массы садки.

Расход извести обозначим через  $\gamma$ , кг.

Определяем количество CaO (в соответствии с табл. 1.4) в конечном шлаке, кг, поступающего:

- из футеровки  $0,3 \% \cdot 2,0 = 0,006$
- из плавикового шпата  $0,3 \% \cdot 3,5 = 0,011$
- из извести  $86 \% \cdot \gamma$

Всего:  $0,017 + 0,86 \cdot \gamma$

Определяем количество  $\text{SiO}_2$  (в соответствии с табл. 1.4) в конечном шлаке, кг, поступающего:

- из металлической шихты 0,217
- из футеровки  $0,3 \% \cdot 5,0 = 0,015$
- из плавикового шпата  $0,3 \% \cdot 3,0 = 0,009$
- из извести  $2 \% \cdot \gamma$

Всего:  $1,247 + 0,02 \cdot \gamma$

Из формулы соотношения на основность шлака (1.4)

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = \frac{0,017 + 0,86 \cdot \gamma}{1,247 + 0,02 \cdot \gamma} = 3,0$$
 выразим величину расхода извести  $\gamma$ . При расчете

расход извести составил  $\gamma = 4,633$  кг.

Определяем количество  $\text{MgO}$  (в соответствии с табл. 1.4) в конечном шлаке, кг, поступающего:

- из футеровки  $0,3 \% \cdot 70,0 = 0,21$
- из извести  $2 \% \cdot 4,633 = 0,093$

Всего: 0,303

Определяем количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (в соответствии с табл. 1.4) в конечном шлаке, кг, поступающего:

- из футеровки  $0,3 \% \cdot 3,0 = 0,009$
- из плавикового шпата  $0,3 \% \cdot 1,0 = 0,003$
- из извести  $2 \% \cdot 4,633 = 0,093$

Всего: 0,105

Определяем количество  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (в соответствии с табл. 1.4) в конечном шлаке, кг, поступающего:

- из футеровки  $0,3 \% \cdot 13,0 = 0,039$

Всего: 0,039

Определяем количество  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (в соответствии с табл. 1.4) в конечном шлаке, кг, поступающего:

– из футеровки  $0,3 \% \cdot 8,0 = 0,024$

Всего: 0,024

В таблице 1.9 приведен предварительный состав шлака.

Таблица 1.9 Предварительный состав шлака

Источники	Масса, кг								
	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Металлошх та (из табл.6)	1,217	–	–	–	–	0,643	0,0087	0,504	–
Футеровка	0,015	0,006	0,21	0,009	0,039	–	–	–	0,024
Плавиновый шпат	0,009	0,010	–	0,003	–	–	–	–	–
Известь	0,093	3,984	0,093	0,093	–	–	–	–	–
ИТОГО:	1,334	4,0	0,303	0,105	0,039	0,643	0,0087	0,505	0,024
ВСЕГО	6,962								

Допускаем, что в шлаке содержание оксидов железа будет составлять: 13 % FeO и 4 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Масса оксидов шлака без FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составит  $100 - (13 + 4) = 83 \%$ , масса шлака без Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в соответствии с табл. 1.9) составит  $6,962 - 0,024 = 6,938$  кг.

Отсюда масса шлака  $6,938 : 83 \times 100 = 8,359$  кг (1.5)

Масса оксидов железа в шлаке составляет  $8,359 - 6,938 = 1,421$  кг, в том числе:

(13 %) FeO –  $8,359 \cdot 13/100 = 1,0866$  кг;

(4 %) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> –  $8,359 \cdot 4/100 = 0,3343$  кг.

В таблице 1.10 представлен окончательный состав шлака.

Таблица 1.10 Окончательный состав шлака

	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	сумм
				3	3				3		а
к	1,33	4,0	0,30	0,10	0,03	0,64	0,008	0,50	0,33	1,08	8,359
г	4		3	5	9	3	7	5	4	7	
%	15,9	47,8	3,62	1,25	0,46	7,69	0,104	6,03	4,0	13,0	100
	6	6			6	8		6			

В процессе плавки происходит окисление железа:

– до FeO –  $O_{Fe \rightarrow FeO} = 1,087$  кг

– до Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> –  $O_{Fe \rightarrow Fe_2O_3} = 0,334 - 0,024 = 0,310$  кг (табл. 1.9)

Рассчитаем количество (массу) железа  $Ш_{Fe}$ , которое переходит из металла в шлак:

$$\begin{aligned}
 Ш_{Fe} &= M_{FeO} + M_{Fe_2O_3} = \\
 &= O_{Fe \rightarrow FeO} \cdot \sum Fe_{am} : \sum (Fe - O)_{am} + O_{Fe \rightarrow Fe_2O_3} \cdot \sum Fe_{am} : \sum (Fe - O)_{am} = \\
 &= 1,087 \cdot 56 : 72 + 0,310 \cdot 112 : 160 = 0,845 + 0,217 = 1,062
 \end{aligned}
 \tag{1.6}$$

где  $M_{FeO}$  и  $M_{Fe_2O_3}$  – количество (масса) железа, перешедшего в соответствующий оксид;

$O_{Fe \rightarrow FeO}$  и  $O_{Fe \rightarrow Fe_2O_3}$  – количество (масса) соответствующих оксидов в шлаке;

$\sum Fe_{am}$  – суммарная атомная масса железа в соответствующем оксиде;

$\sum (Fe - O)_{am}$  – суммарная атомная масса железа и кислорода в соответствующем оксиде.

Выход стали равен

$$M_{cm} = 100 \text{ кг} - \sum P_{\text{эл\_ш}} = 100 \text{ кг} - (Y_{\text{пр\_ш}} + M_{\text{Fe\_кор}} + M_{\text{Fe\_выбр}} + Ш_{\text{Fe}}) =$$

$$= 100 - (5,7407 + 0,5 + 1,0 + 1,062) = 91,6973 \quad (1.7)$$

где  $\sum P_{\text{эл\_ш}}$  – суммарные потери элементов шихты в процессе плавки;

$Y_{\text{пр\_ш}} = 5,7407 \text{ кг}$  – угар примесей шихты (табл. 1.7);

$M_{\text{Fe\_кор}} = 0,5 \text{ кг}$  – количество железа, запутавшегося в шлаке в виде корольков (из условия);

$M_{\text{Fe\_выбр}} = 1,0 \text{ кг}$  – потери железа с выбросами (из условия);

$Ш_{\text{Fe}} = 1,062 \text{ кг}$  – угар железа на образование оксидов железа в шлаке.

Потребуется кислорода  $M_{\text{O}_2}$  на окисление железа

$$M_{\text{O}_2} = (O_{\text{Fe} \rightarrow \text{FeO}} - M_{\text{FeO}}) + (O_{\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3} - M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}) =$$

$$= (1,087 - 0,845) + (0,310 - 0,217) = 0,334 \text{ кг} \quad (1.8)$$

Всего потребуется кислорода на окисление примесей (табл. 8)

$$\sum P_{\text{O}_2} + M_{\text{O}_2} = 6,0413 + 0,334 = 6,3753 \text{ кг} \quad (1.9)$$

Потребуется технического кислорода при 95 % усвоении

$$P_{\text{O}_2} = \frac{6,3753 \cdot 22,4}{0,995 \cdot 0,95 \cdot 32} = 4,7212 \text{ м}^3 \quad (1.10)$$

где 0,995 – это 99,5 % чистого кислорода содержит технический кислород;

32 – суммарная атомарная масса молекулы кислорода  $\text{O}_2$ ,

22,4 (л) – коэффициент для перевода массы в объем.

На 1 тонну садки расход технического кислорода составит  $4,7212 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Количество азота (в составе технического кислорода 0,5 %)

$$M_{\text{N}_2} = 4,7212 \cdot 0,005 = 0,0236 \text{ м}^3 \text{ или } 0,0297 \text{ кг} \quad (1.11)$$

Количество не усвоенного кислорода

$$M_{\text{неусвO}_2} = (4,7212 - 0,0236) \cdot 0,05 = 0,2349 \text{ м}^3 \text{ или } 0,3359 \text{ кг} \quad (1.12)$$

Масса технического кислорода равна

						ВКР.2019 -	Лист
							22
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата		

$$M_{\text{техн}O_2} = \sum P_{O_2} + M_{O_2} + M_{N_2} + M_{\text{неуче}O_2} = 6,3753 + 0,0297 + 0,3359 = 6,7409 \text{ кг} \quad (1.13)$$

Количество и состав образующихся газов представлен в таблице 1.11.

Таблица 1.11 Состав и количество газов

Составляющие	Содержание		
	кг	м <sup>3</sup>	%
CO <sub>2</sub> *	$\frac{6 \cdot 4,633}{100} + \frac{6 \cdot 0,3}{100} + 1,027 = 1,305$	$\frac{1,305 \cdot 22,4}{44^{***}} = 0,664$	17,093
CO	5,882	$\frac{5,882 \cdot 22,4}{28^{***}} = 4,706$	77,044
H <sub>2</sub> O**	$\frac{2 \cdot 4,633}{100} = 0,093$	$\frac{0,093 \cdot 22,4}{18^{***}} = 0,115$	1,214
O <sub>2</sub>	0,336	$\frac{0,336 \cdot 22,4}{32^{***}} = 0,2352$	4,25
N <sub>2</sub>	0,03	$\frac{0,03 \cdot 22,4}{28^{***}} = 0,024$	0,374
SO <sub>2</sub>	0,002	$\frac{0,002 \cdot 22,4}{64^{***}} = 0,00136$	0,025
ИТОГО	7,648	5,7456	100,0

\* – сумма CO<sub>2</sub>, поступившего из извести, плавикового шпата, от горения углерода

\*\* – влага, поступившая из извести (табл. 1.2)

\*\*\* – суммарный атомарный вес соответствующего газа

На основании полученных в расчетах данных составляем материальный баланс плавки до раскисления (табл. 1.12).

Таблица 1.12 Материальный баланс плавки до раскисления

Поступило, кг		Получено, кг	
Чугуна	78	Стали (7)	91.6973
Скрапа	22	Шлака (5)	8,359
Плавикового шпата	0,3	Корольков	0,5
Извести	4,633	Выбросов	1,0
Футеровки	0,3	Газов (табл. 9)	7,648
Технического кислорода (13)	6,7409	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в дым (табл.6)	2,143
Итого:	111,9739	Итого:	111.3473
		Невязка	0.6266

Относительная невязка определяется как

$$\frac{(111,9739 - 111,3473)}{111,9739} \cdot 100\% = 0,5\% \quad (1.14)$$

Относительная невязка допускается не более 0,5 %.

#### 1.4.2 Расчет количества раскислителей

Исходя из экономических соображений, наиболее часто в качестве раскислителей используют марганец, кремний и алюминий. Марганец и кремний используют в виде сплавов с железом (ферросплавов – ферромарганца и ферросилиция), а алюминий – в чистом виде.

Перед раскислением в металле содержится (с учетом выхода стали – 0,9), кг:

– углерода –  $0,07 \times 0,9 = 0,063$  (в соответствии с нижним значением содержания элемента в таблице 3);

– марганца –  $0,35 \times 0,25 \times 0,9 = 0,079$  (по условиям 25 % от исходной концентрации в чугуне;



### 1.4.2.1 Раскисление ферромарганцем

Расход ферромарганца среднеуглеродистого ФМн 90 [14] определяем по формуле

$$P_{FeMn} = \frac{a_{FeMn}}{b_{FeMn} \cdot c_{FeMn}} = \frac{0,421}{0,85 \cdot 0,75} = 0,6604 \text{ , кг} \quad (1.17)$$

где  $a_{FeMn}$  – требующееся для ввода в металл количество марганца, равное среднему значению в заданной марке стали, минус остаточное содержание марганца в металле перед раскислением (в данном случае  $0,5 - 0,079 = 0,421$ );

$b_{FeMn}$  – содержание марганца в 1 кг ферромарганца, кг;

$c_{FeMn}$  – коэффициент усвоения марганца в металле = 0,75.

В рассчитанном количестве ферромарганца в соответствии с [14] – ГОСТ 4755-91 – содержится, кг:

– углерода $C$ (0,5 %)	$0,6604 \cdot 0,005 = 0,033$
– марганца $Mn$ (85 %)	$0,6604 \cdot 0,85 = 0,56134$
– кремния $Si$ (1,8 %)	$0,6604 \cdot 0,018 = 0,0118872$
– фосфора $P$ (0,3 %)	$0,6604 \cdot 0,003 = 0,0019812$
– серы $S$ (0,02 %)	$0,6604 \cdot 0,0002 = 0,000132$
– железа $Fe$ (12,38 %)	$0,6604 \cdot 0,1238 = 0,0817575$
Всего:	0,69

Выгорает при раскислении ферромарганцем, кг:

– углерода $C$	$0,033 \cdot 0,30 = 0,0099$
– марганца $Mn$	$0,5613 \cdot 0,25 = 0,14033$
– кремния $Si$	$= 0,0118872$
Всего:	0,269

Переходит в сталь при раскислении ферромарганцем с учетом выгорания, кг:

– углерода $C$	$0,033 - 0,0099 = 0,023114$
----------------	-----------------------------



На основании полученных расчетных данных составляем материальный баланс плавки после раскисления ферромарганцем (табл. 1.13).

Количество стали перед раскислением с учетом растворенного кислорода:

$$91,6973 - 0,0162 = 91,6811 \text{ кг} \quad (1.20)$$

Таблица 1.13 Материальный баланс плавки после раскисления ферромарганцем.

Поступило, кг		Получено, кг	
Стали до раскисления	91,6973	Стали	92,2091
Шлака до раскисления	8,359	Шлака	8,933
Ферромарганца (17)	0,6604	СО	0,023114
Кислорода из атмосферы (18)	0,54115	Итого:	101,1652
Итого:	101,2579	Невязка	0,0927

Относительная невязка составляет  $\frac{(101,2576 - 101,1652)}{101,2576} \cdot 100\% = 0,09\%$  (1.21)

В таблице 1.14 приведен состав стали после раскисления ферромарганцем.

Таблица 1.14 Состав стали после раскисления ферромарганцем

	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Fe</i>	сумма
В стали перед раскислением <i>FeMn</i> *	0,063	0,079	0,0225	0,0225	91,5103**	91,6973
Ферромарганец <i>FeMn</i> вносит***	0,0231	0,421	0,002	0,0001	0,0878	0,534
Всего, кг	0,0861	0,5	0,0245	0,0226	91,5981	92,2313
%	0,09	0,54	0,026	0,024	99,31	100,00

\* – выход стали 0,9 (90 %) от расчетного значения таблицы 1.6, учитывая (1.7)

\*\*\* – выход стали (1.7) за вычетом остальных элементов

\*\*\* – это переходит в сталь при раскислении с учетом выгорания

### 1.4.2.2 Раскисление ферросилицием

Определяем расход ферросилиция ФС65 на 100 кг шихты:

$$P_{FeSi} = \frac{a_{FeSi}}{b_{FeSi} \cdot c_{FeSi}} = \frac{0,27}{0,63 \cdot 0,7} = 0,6122 \text{ , кг} \quad (1.22)$$

где  $a_{FeSi}$  – требующееся для ввода в металл количество кремния, равное среднему значению в заданной марке стали;

$b_{FeSi}$  – содержание кремния в 1 кг ферросилиции, кг;

$c_{FeSi}$  – коэффициент усвоения кремния в металле = 0,7.

Рассчитанное количество ферросилиция ФС65 в соответствии с [15] – ГОСТ 1415-93 – содержит, кг:

– марганца <i>Mn</i> (0,4 %)	$0,6122 \cdot 0,004 = 0,004$
– кремния <i>Si</i> (63 %)	$0,6122 \cdot 0,63 = 0,3857$
– углерода <i>C</i> (0,1 %)	$0,6122 \cdot 0,001 = 0,0006$
– фосфора <i>P</i> (0,05 %)	$0,6122 \cdot 0,0005 = 0,0003$
– серы <i>S</i> (0,02 %)	$0,6122 \cdot 0,0002 = 0,0001$
– алюминия <i>Al</i> (2,5 %)	$0,6122 \cdot 0,0025 = 0,0015$
– хрома <i>Cr</i> (0,4 %)	$0,6122 \cdot 0,004 = 0,0024$
– железа <i>Fe</i> (33,53 %)	$0,6122 \cdot 0,3353 = 0,2053$
Всего:	0,5983

Выгорает при раскислении ферросилицием в процессе плавки, кг:

– марганца <i>Mn</i>	$0,0024 \cdot 0,25 = 0,0006$
– кремния <i>Si</i>	$0,3857 \cdot 0,30 = 0,1157$
Всего:	0,1163

Переходит в сталь при раскислении феррокремнием с учетом выгорания, кг:

– кремния <i>Si</i>	$0,3857 - 0,1157 = 0,2700$
– марганца <i>Mn</i>	$0,0024 - 0,0006 = 0,0018$



Таблица 1.15 Материальный баланс плавки после раскисления

Поступило, кг		Получено, кг	
Стали до раскисления $FeSi$	92,2091	Стали	92,6867
Шлака до раскисления $FeSi$	8,933	Шлака	9,1817
Ферросилиция	0,6122	Итого:	101,8684
Кислорода из атмосферы	0,1324		
Итого:	102,6308	Невязка	0,7624

В таблице 1.16 приведен состав стали после раскисления ферросилицием.

Таблица 1.16 Состав стали после раскисления ферросилицием

	$C$	$Mn$	$P$	$S$	$Si$	$Fe$	сумма
Металл перед раскислением $Fe$	0,0861	0,5	0,0245	0,0226	–	91,5981	92,2313
$Si$							
Ферросилиций $FeSi$ вносит	–	0,0018	0,0003	0,0002	0,27	0,2053	0,4776
Всего, кг	0,0861	0,5018	0,0248	0,0228	0,27	91,8034	92,7089
%	0,09	0,54	0,027	0,023	0,29	99,02	100,00

Полученная сталь соответствует ГОСТ 1050-88 [7]

### 1.4.3 Расчет теплового баланса плавки

#### 1.4.3.1 Приход тепла

Физическое тепло чугуна  $Q_{п1}$

$$Q_{п1} = [0,178 \cdot 1200 + 52 + 0,2 \cdot (1320 - 1200)] \cdot 78 \cdot 0,00419 = 94,6471 \text{ МДж} \quad (1.25)$$

где 0,178 – средняя теплоемкость чугуна до температуры плавления ккал/кг·град;

1200 – температура плавления чугуна, °С;

								Лист
								31
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -		

52 – скрытая теплота плавления чугуна, ккал/кг;

1320 – температура заливаемого в конвертер чугуна, °С;

0,2 – теплоемкость жидкого чугуна, ккал/кг·град;

0,00419 – коэффициент перевода ккал в МДж;

78 – доля чугуна в металлошихте, %.

Тепло экзотермических реакций  $Q_{п2}$ , МДж (при использовании данных таблицы 1.7) будет составлять:

Реакция	МДж
$C \rightarrow CO_2$	$34,1 \cdot 0,2945 = 10,0425$
$C \rightarrow CO$	$10,47 \cdot 2,6505 = 27,7507$
$Si \rightarrow SiO_2$	$31,1 \cdot 0,568 = 17,6648$
$Mn \rightarrow MnO$	$7,37 \cdot 0,498 = 3,6703$
$P \rightarrow P_2O_5$	$25 \cdot 0,22 = 5,5$
$S \rightarrow SO_2$	$9,28 \cdot 0,00097 = 0,009$
$Fe \rightarrow Fe_2O_3$	$7,37 \cdot 0,31 = 2,2847$
$Fe \rightarrow FeO$	$4,82 \cdot 1,087 = 5,2393$
$Fe \rightarrow Fe_2O_3$ (дым)	$7,37 \cdot 1,500 = 11,055$
Всего $Q_{п2}$ :	83,2163

Тепло шлакообразования  $Q_{п3}$ , МДж, можно определить по формуле:

$$Q_{п3} = Q_{окс} \cdot M_{э\_выгор} \cdot \sum \varepsilon_{ат} \cdot \sum \varepsilon_{ат\_выгор} \quad (1.26)$$

где  $Q_{окс}$  – тепловой эффект реакций окисления, МДж/кг;

$M_{э\_выгор}$  – количество (масса) элемента, удаляемого (выгораемого) в процессе продувки кислородом, кг

$\sum \varepsilon_{ат}$  – суммарная атомарная масса всех элементов оксида;

$\sum \varepsilon_{ат\_выгор}$  – суммарная атомарная масса элемента в его оксиде.





Таблица 1.17 Тепловой баланс плавки

Приход тепла		
	МДж	%
1. Физическое тепло чугуна	94,6471	51,7
2. Тепло экзотермических реакций	83,2163	45,45
3. Тепло шлакообразования	5,2121	2,85
Итого	183,0755	100
Расход тепла		
1. Физическое тепло стали	132,5736	72,41
2. Физическое тепло шлака	18,659	10,19
3. Потери тепла через футеровку и горловину	9,1538	5
4. Потери тепла с частицами $Fe_2O_3$	4,274	2,33
5. Потери тепла с газами	13,1216	7,17
6. Избыток тепла	5,2935	2,89
Итого	183,0755	100

#### 1.4.4 Корректировка теплового баланса плавки

Энтальпия 1 кг стали при температуре 1620 °С составит 1,445 МДж [16].

В данном случае избытка тепла достаточно на расплавление  $5,2935/1,445 \approx 3,5$  кг скрапа дополнительно.

В данных расчетах следовало бы принять в шихте 74,5 % чугуна и 25,5 % скрапа.

#### 1.5 Внепечная обработка

При производстве стали 10 проводят продувку аргоном в установке «печь-ковш». (Рис. 1.7)

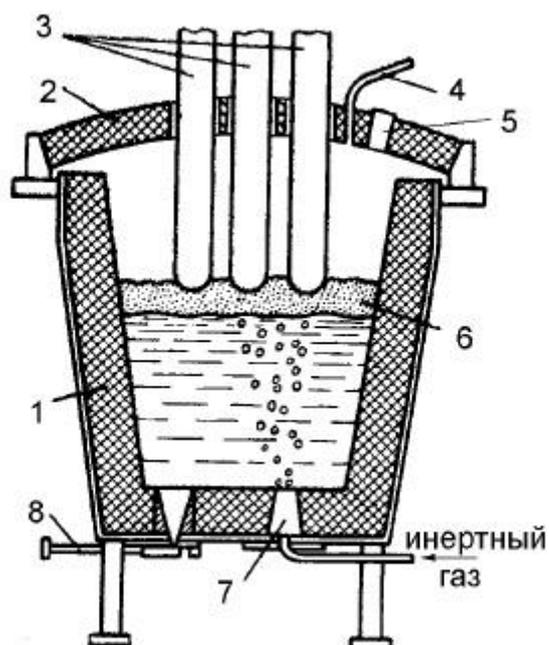


Рисунок 1. 7 Схема продувки стали в установке «Печь-ковш»; 1-тигель-ковш; 2-свод; 3-графитовые электроды; 4-подача инертного газа; 5-технологическое отверстие; 6-синтетический шлак; 7-пористая пробка; 8-шиберный затвор для выпуска стали.

В современной технологии выплавки стали продувка металла аргоном является обязательной операцией, особенно при доводке стали в ковше.

Продувка металла аргоном в ковше позволяет решать следующие задачи:

- умеренное охлаждение металла (не более чем на 10-15°C);
- гомогенизация металла по химическому составу и температуре;
- очищение металла от неметаллических включений, неизбежно образующихся во время раскисления, ввиду выноса их на поверхности пузырей (флотации);
- углеродное раскисление металла и глубокое обезуглероживание его;
- дегазация металла (удаление водорода, частично азота);
- интенсификация процесса взаимодействия металла со шлаком, обеспечивающим десульфурацию его.

Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата

## 1.6 Волочение

Процесс обработки металла давлением, при котором происходит постепенное однократное или многократное протягивание металла через специальный волочильный инструмент, предназначенный для поэтапного уменьшения поперечного сечения исходной заготовки называется волочением.

Процесс волочения осуществляется на волочильных станах в холодном состоянии. Рабочим инструментом волочильного стана является волока (фильера), представляющая собой сужающийся в направлении волочения канал. Волочильный стан состоит из одной или нескольких волок и устройства, протягивающего через них заготовку [9].

Проволока общего назначения производится из низкоуглеродистых сталей с содержанием углерода не более 0,15 %. Исходной заготовкой для производства проволоки диаметром 0,8...10 мм является катанка диаметром 6...10 мм. Катанку подвергают травлению и протягивают, в зависимости от диаметра на однократных или многократных волочильных машинах.

Волочение прутков стали с большим диаметром имеет небольшую скорость, поэтому смазка легко выдавливается из очага деформации.

Широко применяются густые вязкие активные смазки (типа солидола) с большим количеством наполнителей в виде присадок порошков графита, талька, дисульфида молибдена и других веществ, способствующих разделению трущихся поверхностей при высоких давлениях. Для этих же целей используются смазки, приготовленные из отходов мыловаренной промышленности. Такие смазки представляют собой соли жирных органических кислот, имеющих длинные молекулы, которые хорошо удерживаются в очаге деформации [10].

Для волочения стальной проволоки средних и больших размеров ( $D_0 = 6,5-1,5$  мм) применяют смазку в виде мыльных порошков и мыльной стружки. Такая смазка называется сухой, хотя в процессе волочения сухая смазка ведет себя как жидкость (проявляет вязкие свойства и жидкотекучесть). Для

									Лист
									37
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -			

удержания такой смазки на поверхность проволоки до начала волочения наносят подсмазочный слой. Этот слой, с одной стороны, должен прочно удерживаться на поверхности проволоки, а с другой – способствовать удержанию смазки при волочении. При смешивании с мыльной фракцией образуется общий слой смазки с улучшенными реологическими свойствами. При волочении с сухими смазками коэффициент трения находится в диапазоне 0,01–0,05 независимо от материала проволоки и волокна.

Степень деформации исходной заготовки при волочении за один проход составляет не более 30-35 %.

Волочение проволоки значительно экономнее других способов, т.к. при волочении отсутствуют потери металла в стружку, можно получить проволоку определенного диаметра.

При волочении значительная часть энергии затрачиваемой на процессе волочения в результате внешнего трения и пластической деформации, превращается в тепло, которое значительно нагревает деформируемый металл, волокно и смазку. Чрезмерный нагрев протягиваемого металла (> 150-200 °С) ухудшает условия волочения из-за выгорания смазки. Качество готовой проволоки определяется свойствами выбранного для волочения металла. Процесс волочения сопровождается не только изменением геометрической формы и размеров заготовки, но и существенными изменениями структуры обрабатываемого металла (рис.1.8).



### 1.5. Термическая обработка после волочения.

Для проволоки из стали 10 применяют операцию рекристаллизационный отжиг – процесс, заключающийся в управляемом нагреве и охлаждении проволоки, проводимом в специальных печах шахтного типа.

Рекристаллизационным отжигом называется отжиг стали, прошедшей холодную прокатку, волочение или холодную штамповку, с выдержкой при температуре 680–700°С в течении 8-12 часов и последующим охлаждением на воздухе. Этой температуры достаточно для того, чтобы вернуть стали свойства, которые она имела до холодной обработки давлением. В результате такого отжига понижается твердость и прочность, но повышаются показатели пластичности – относительное удлинение, ударная вязкость.

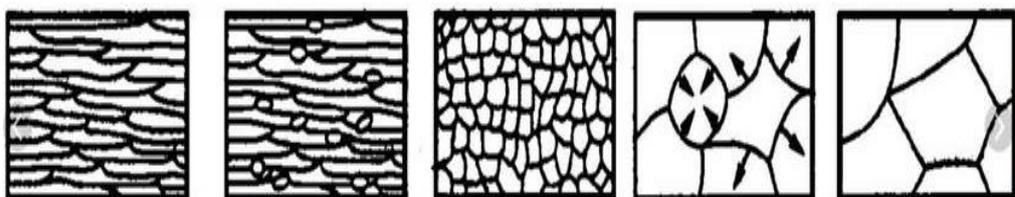


Рисунок 1.9 Схема превращений при рекристаллизационном отжиге

При рекристаллизационном отжиге подвижность атомов растет, и образуются новые зерна вместо волокнистой структуры (рис 1.9).

Процесс рекристаллизации можно разделить на два этапа:

- первичная рекристаллизация, или рекристаллизация обработки, когда вытянутые вследствие пластической деформации зерна превращаются в мелкие округлой формы беспорядочно ориентированные зерна;
- вторичная, или собирательная рекристаллизация, заключающаяся в росте зерен и протекающая при более высокой температуре.

Процессы первичной и вторичной рекристаллизации имеют ряд особенностей.

Первичная рекристаллизация заключается в образовании новых зерен. Это обычно мелкие, возникающие на поверхностях раздела крупных деформированных зерен. Хотя в процессе нагрева и происходили

Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата

внутризеренные процессы устранения дефектов (возврат, отдых), все же они, как правило, полностью не заканчиваются, с другой стороны, вновь образовавшееся зерно уже свободно от дефектов.

К концу первой стадии рекристаллизации можно получить структуру, состоящую только из таких зерен, т. е. очень мелких зерен, в поперечнике имеющих размер в несколько микрон.

Повышение температуры приводит к росту отдельных зерен за счет мелких; получается структура, состоящая из отдельных крупных зерен, окруженных мелкими. Дальнейшее повышение температуры еще увеличивает число крупных зерен, пока, наконец, мелкие зерна не окажутся «поглощенными» крупными, и вся структура тогда будет состоять из крупных зерен.

В результате после охлаждения формируется разнотернистая структура Ф+П (рис.1.11)

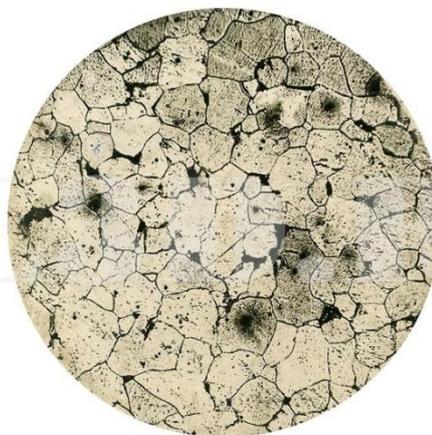


Рисунок 1. 11 Структура стали 10 после отжига

После рекристаллизационного отжига сталь характеризуется высокой пластичностью, но пониженной прочностью и неравномерной твердостью (121-146НВ) [5].

Такой вид отжига является окончательной операцией термообработки после волочения.



## **2 Анализ причин появления дефектов на всех стадиях производства заготовок**

### **2.1 Неоднородность химического состава стали**

В слитке стали 10 при среднем содержании углерода 0,10 %, содержание в отдельных объемах колеблется в пределах 0,07-0,14 %. Чем больше масса слитка, тем выше химическая неоднородность. Такая неоднородность химического состава сохраняется вплоть до получения готового профиля.

### **2.2 Структура металла – неоднородна**

В слитке имеются три зоны: 1-наружная (мелкие кристаллы), 2-средняя (столбчатые кристаллы), 3-внутренняя (крупные равноосные кристаллы). Величина зерна зависит от степени предыдущей деформации.

### **2.3 Разница температур по сечению деформируемой заготовки**

Нагрев металла перед волочением считается нормальным, если  $\Delta t = 20-50^{\circ}\text{C}$ . Но из-за недостаточной мощности нагревательных средств разность температур в центре и на поверхности заготовки может быть больше.

### **2.4 Неравномерный прогрев и неравномерная скорость охлаждения**

Неравномерный прогрев возникает при подстуживании со стороны заслонки печи и при неоднородном распределении температуры в различных зонах рабочего пространства. В результате бунт прогревается неравномерно по объему бунта. Неравномерное охлаждение возникает при покрытии проволоки неравномерным слоем окалины, которая замедляет теплоотвод, при образовании паровых мешков в витках бунта.

										Лист
										43
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата					

## 2.5 Внешние факторы

К внешним факторам относятся: качество намотки, загрязненная, шероховатая, неравномерно окисленная поверхность; неравномерное качество заготовки по сечению (жесткие участки); трещины при напряжении вследствие наличия «наклепа» поверхности (часто возникают при размотке уже намотанных катушек); состояния оборудования; квалификации обслуживающего персонала.

									Лист
									44
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -			

### **3 Разработка мероприятий по повышению качества заготовок для изготовления болтов**

#### **3.1 Для предприятия ООО «Северсталь»**

Целесообразно рекомендовать:

- Соблюдать технологический процесс плавки с целью получения требуемого химического состава стали;
- Применить метод непрерывного литья для устранения химической неоднородности;
- Подобрать оптимальную скорость волочения и обжатия, так как при увеличении скорости, увеличивается температура поверхностных слоев металла;
- Проверить состояние оборудования, провести переподготовку кадров;
- Обеспечить постепенный нагрев для равномерного прогрева по всему объему бунта.

#### **3.2 Для предприятия ООО «ЛЗМИ»**

Для устранения неравномерной твердости необходимо провести дополнительную термообработку заготовок для изготовления болтов.

Так как для низкоуглеродистых сталей скорость охлаждения мало влияет на механические свойства стали, такую проволоку нагревают и затем охлаждают на воздухе в мотках. Необходимо разработать оптимальную технологию отжига для выравнивания твердости по всей длине проволоки. При этом необходимо обеспечить минимальную толщину окалины на поверхности, для этого все операции при отжиге провести с минимальными затратами времени.

При рассмотрении различных видов отжига (приложение 2) рекомендовано провести нормализационный отжиг.

Нормализация – это разновидность отжига, поэтому заключается в нагреве металла, находящегося в результате каких-либо предшествующих

									Лист
									45
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -			

воздействий выше температуры фазового превращения. Температура нагрева при нормализации зависит от состава сплава, скорость охлаждения с температуры нормализации составляет около 30 °/сек (охлаждение на спокойном воздухе).

Для стали 10 нормализацию проводят с нагревом выше температуры  $A_{C3}$  (точка 1) –  $t_n = 876 + 30...50^\circ = 906...926^\circ C$ . В результате после охлаждения формируется полностью мелкозернистая структура феррит+перлит (рис 3.12).

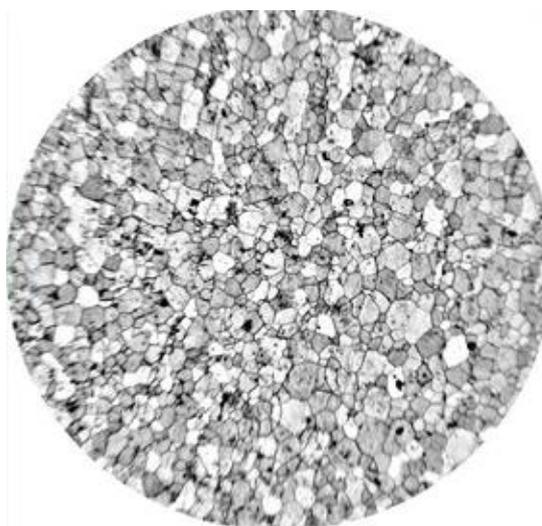


Рис. 3.12 Окончательная структура – Ф+П.

Из-за ускоренного по сравнению с отжигом охлаждения свойства стали прочность и твердость нормализованной стали на 15–20 % выше соответствующих характеристик отожженной стали.

Поскольку на базе ООО «ЛЗМИ» нет технической возможности отжигать бунты, так как имеется только муфельная печь «Тулячка-17», отжиг заготовок необходимо производить после первой операции «Нарубка».

На предприятии проводится нормализационный отжиг при температуре 920°C с выдержкой 2-2,5 часа. Этой температуры достаточно для того, чтобы исправить дефекты термообработки и выровнять твердость по всей длине заготовки. В результате такого отжига снижается твердость и прочность, повышаются показатели пластичности — относительное удлинение, ударная вязкость.

В результате проведения нормализации твердость по всей заготовке выравнивается и составляет 135-137НВ, что соответствует требованиям входной документации

Для предотвращения образования окалины при отжиге болты должны быть уложены отдельно в целые металлические коробки. Сверху коробки должны быть плотно закрыты асбестовыми листами или крышками. Упаковка болтов в коробки должна надежно обеспечивать отсутствие доступа воздуха внутрь коробки при нагреве. Отжиг упакованных болтов следует производить в камерной электрической печи. Загрузку коробок проводить в один ряд. При достижении температуры 920°С выдержать 2-2,5 часа. Охлаждение болтов на воздухе в закрытых коробках не менее 5 часов.

При проведении термообработки по разработанной выше технологии из 1000 шт. заготовок для болтов: годных - 999 шт., брак – 1шт (табл. 3.19).

Таблица 3.19 Сравнительный анализ качества заготовок с дополнительной термообработкой и без неё

Заготовки для болтов	Партия, шт./%	Годные, шт./%	Брак, шт./%
Без дополнительной термообработки	1000 100	806 80,6	194 19,4
С дополнительной термообработкой (нормализация)	1000 100	999 99,9	1 0,1

## Заключение

При выполнении выпускной квалификационной работы:

- определены условия эксплуатации термоса вместимостью 36 литров и требования, предъявляемые к материалам для его изготовления;
- проанализированы свойства стали 10;
- произведен расчет шихты для выплавки стали в конвертере, теплового и материального баланса плавки;
- изучена технология изготовления болтов;
- выявлены возможные причины неравномерной твердости и определены вероятные причины, приводящие к появлению брака;
- даны рекомендации по устранению неравномерной твердости на базе предприятия ООО «Северсталь»;
- разработана технология по устранению неравномерной твердости на базе предприятия ООО «ЛЗМИ».

									Лист
									48
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -			

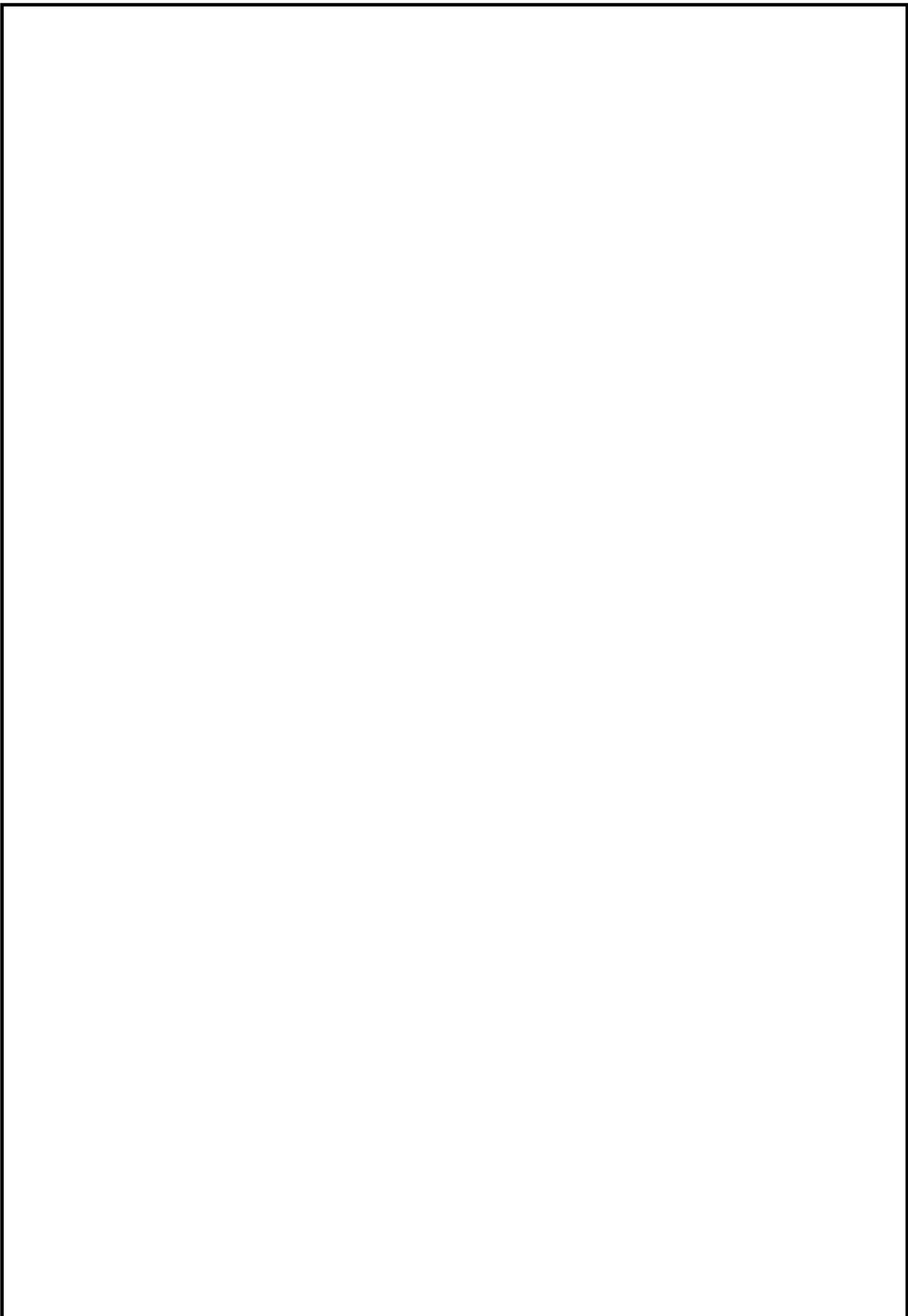
## Список литературы

1. А. А. Филиппов, Г. В. Пачурин, С. В. Чененков. «Формирование структурно-механических свойств стальных заготовок для упрочненных болтов». Монография. Нижний Новгород, 2012 г.
2. ТУ 1482-071-00186335-2008. Термос бытовой вместимостью 36 литров.
3. ГОСТ 3033-79. Болты откидные. Конструкционные размеры.
4. ГОСТ 7414-86. Сталь калиброванная круглая.
5. ГОСТ 10702-2016. Прокат сортовой из конструкционной нелегированной и легированной стали для холодной объемной штамповки.
6. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.
7. ГОСТ 1050-2013. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия (с Поправкой)
8. В. А. Кудрин, «Теория и технология производства стали: Учебник вузов», 2003 г.
9. Б. В. Кнорозов, Л. Ф. Усова, А. В. Третьяков, «Технология металлов и материаловедение», 1987 г.
10. А. Г. Схиртладзе, С. Г. Ярушин, «Технологические процессы в машиностроении». Учебник, 2-е изд. Пермский государственный технический университет, Пермь, 2006 г.
11. М. Е. Дриц, М. А. Москалев, «Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебник для вузов. Высшая школа», 1990 г.
12. А. Д. Асонов, «Технология термической обработки деталей», 1969 г.
13. Я. Йех, «Термическая обработка сталей».
14. ГОСТ 4755-91. Ферромарганец. Технические требования и условия поставки.
15. ГОСТ 1415-93. Ферросилиций. Технические требования и условия поставки.

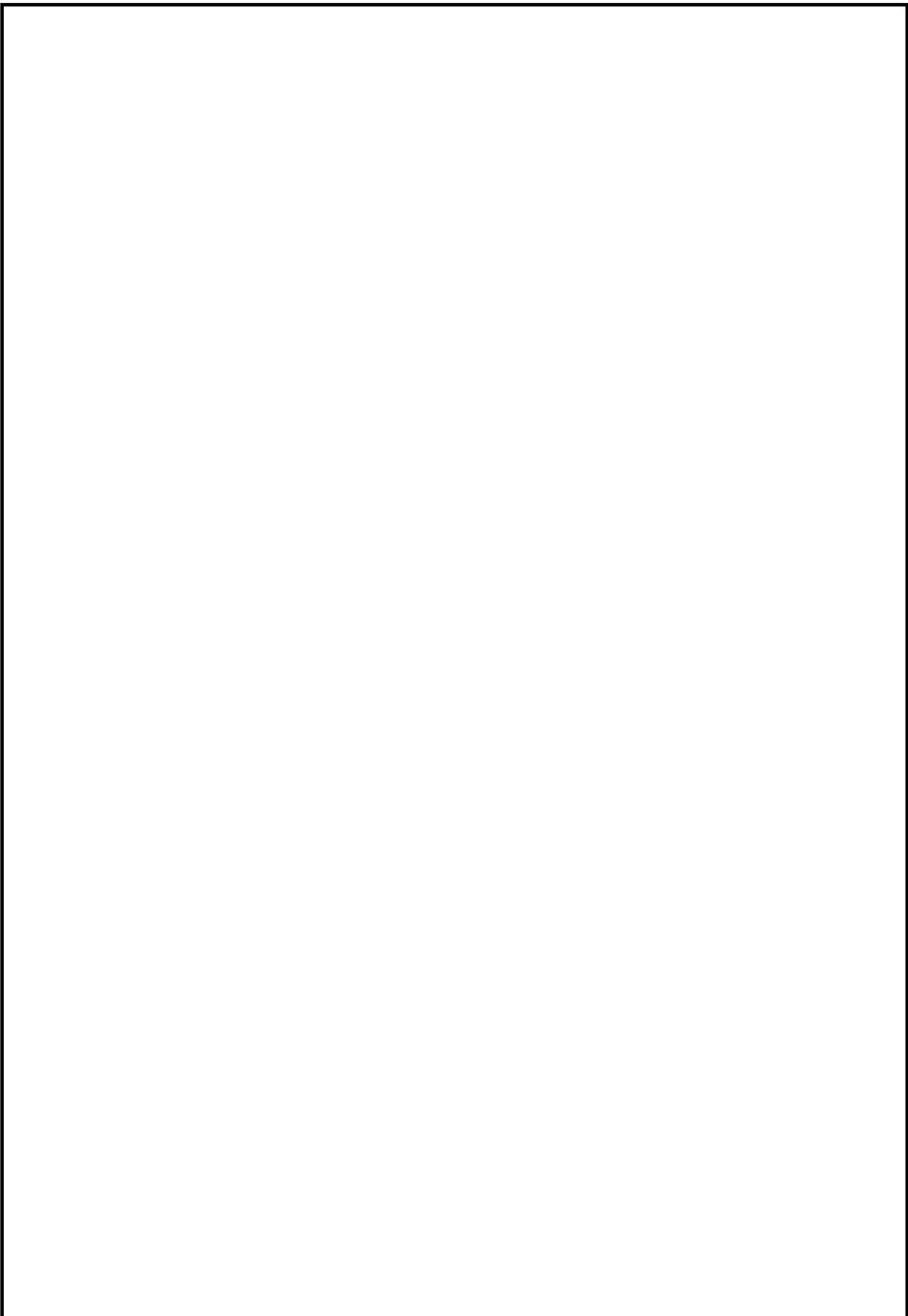
									Лист
									49
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -			

16. Краткий справочник физико-химических величин, 11-е издание, испр. и дополн. / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой.– М. ООО «ТИД «Аз-book», 2009.– 240 с., ил.

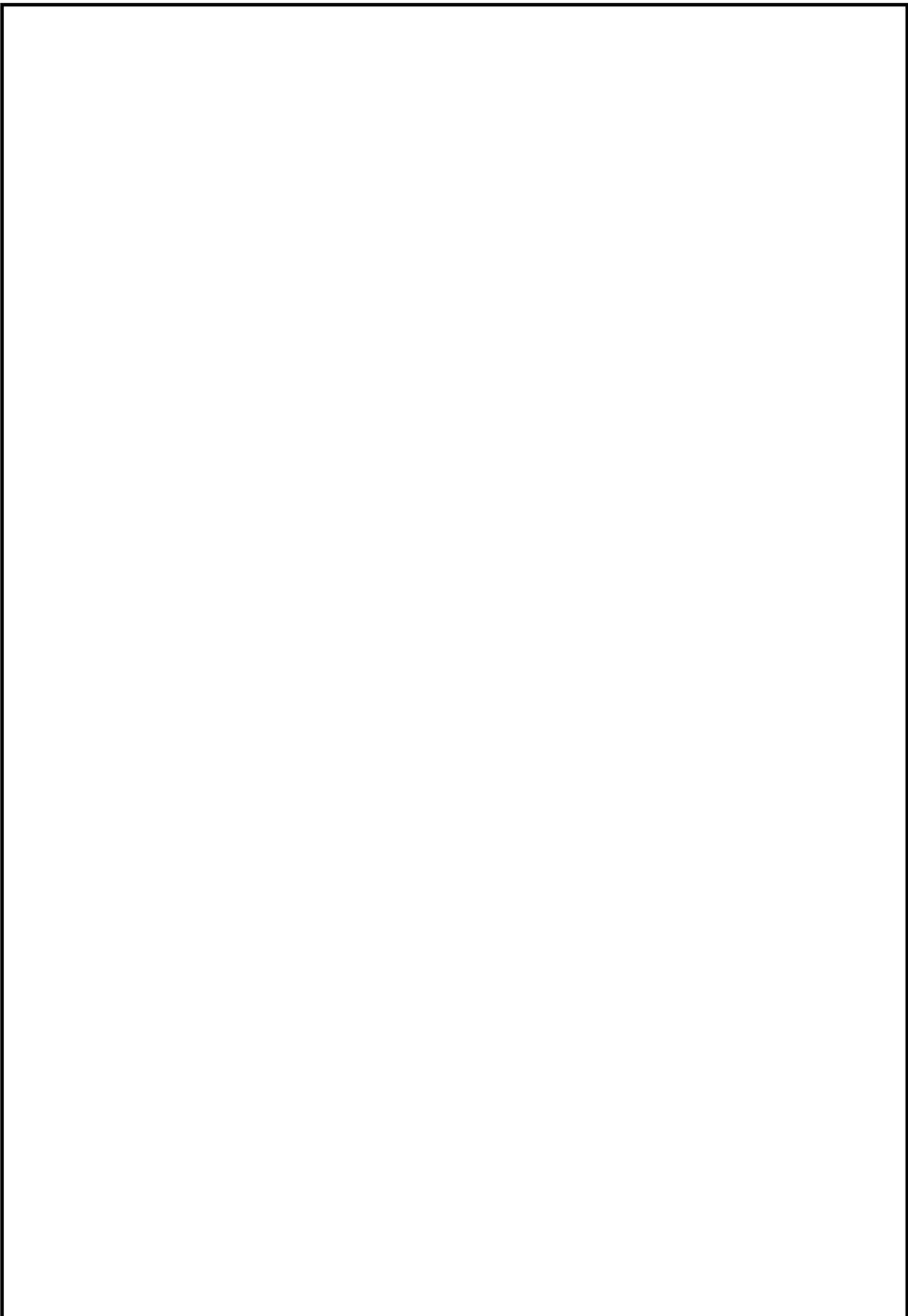
									Лист
									50
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	ВКР.2019 -			



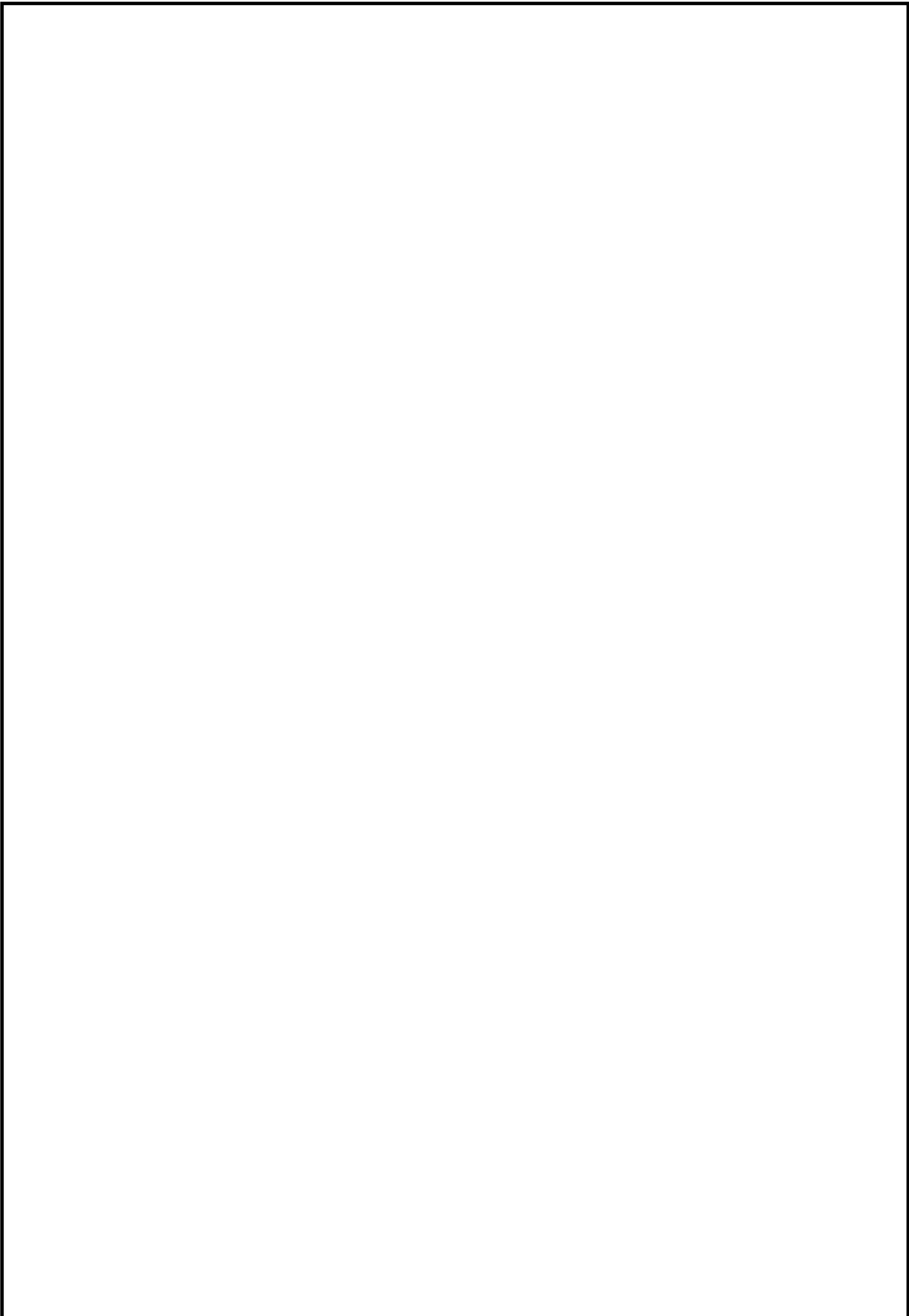
					ВКР.2019 -	Лист
						51
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	



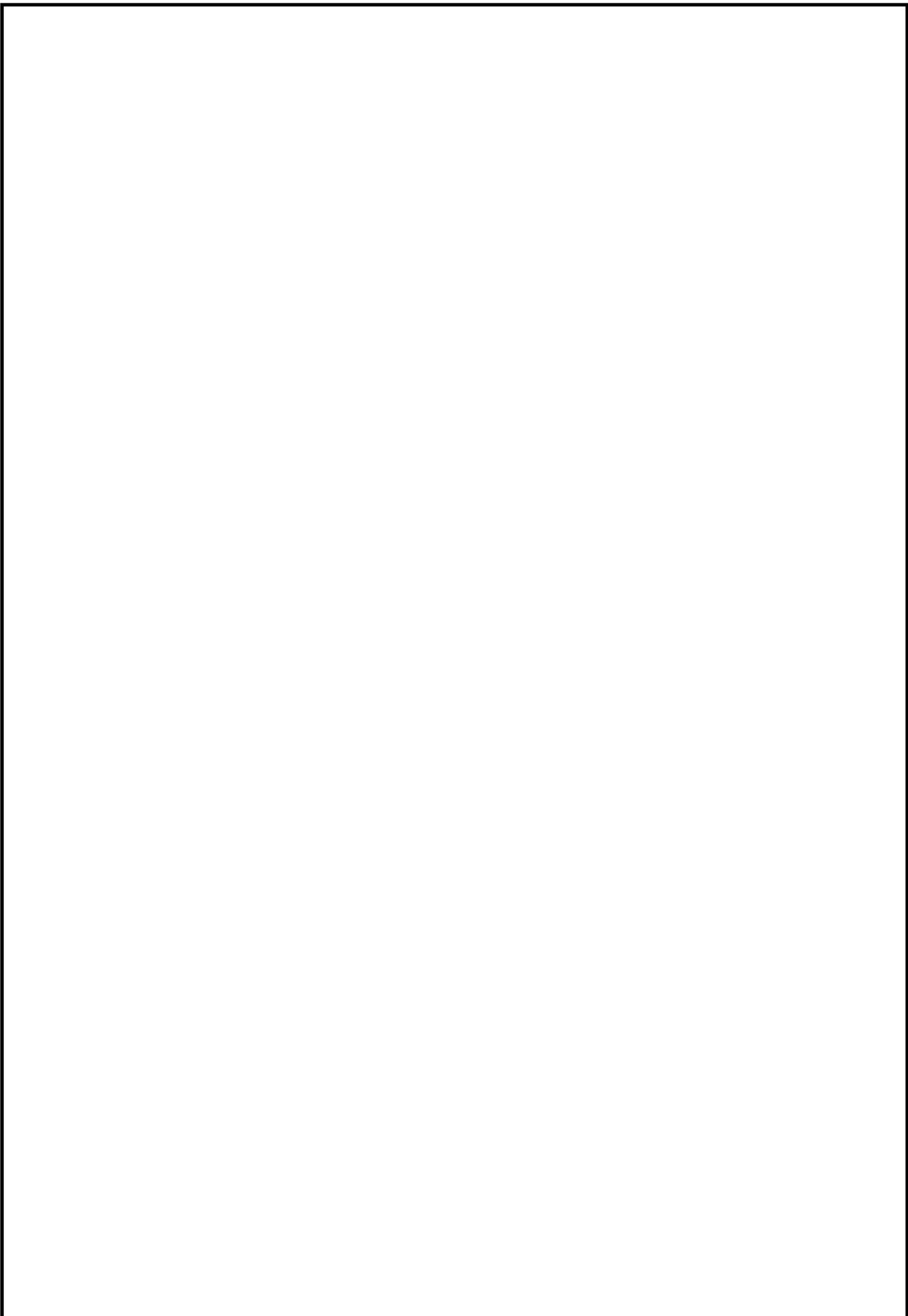
					ВКР.2019 -	Лист
						52
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	



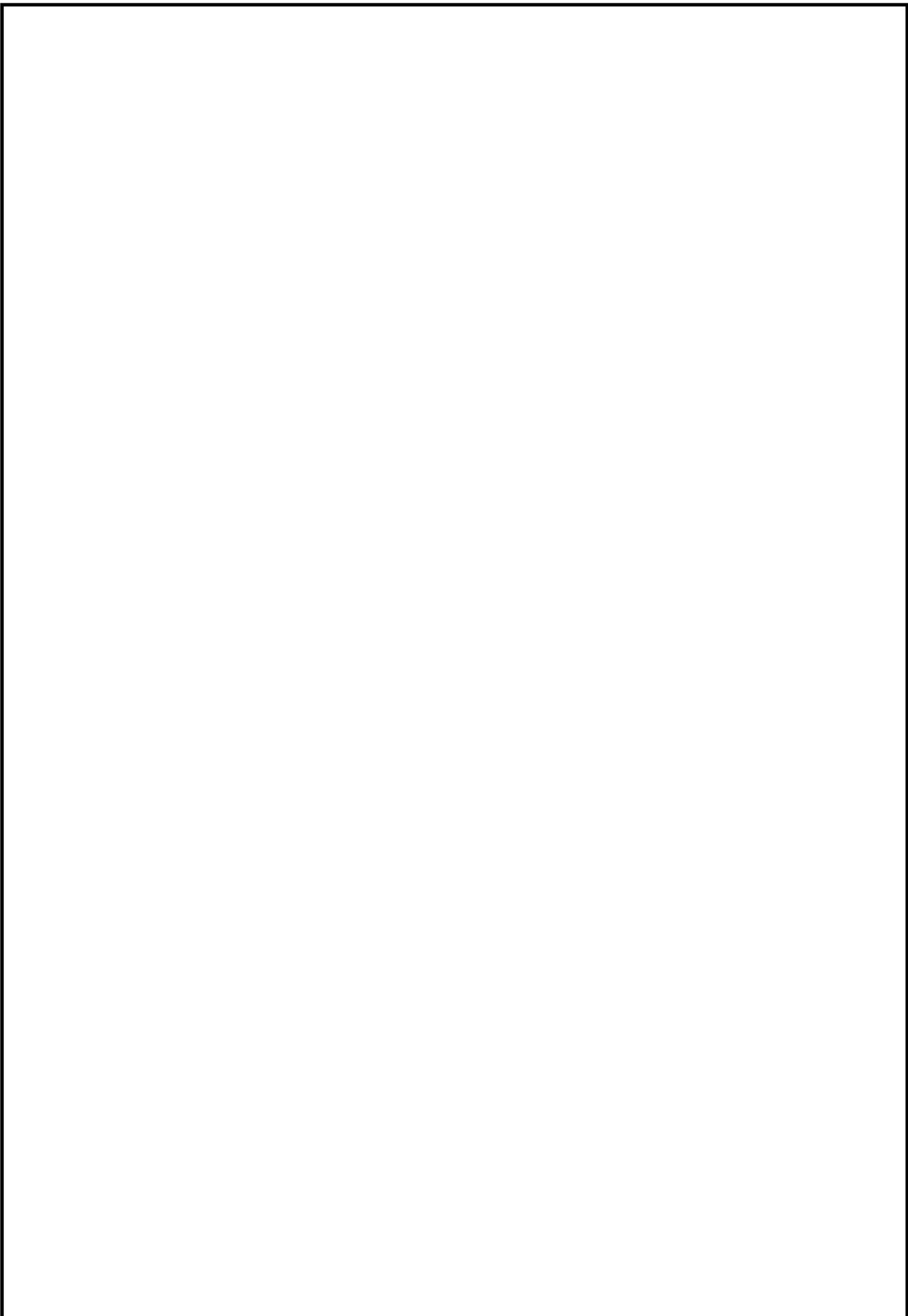
					ВКР.2019 -	Лист
						53
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	



					ВКР.2019 -	Лист
						54
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	



					ВКР.2019 -	Лист
						55
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	



					ВКР.2019 -	Лист
						56
Изм.	Лист	№	Документ	Подпись	Дата	

