

УДК 621.311

Г.А. ШЕПЕЛЬ, И.И. ВАСИЛИШИН, В.В. РАДЮШИН

Архангельский государственный технический университет



Шепель Георгий Александрович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Ленинградское высшее инженерное морское училище, профессор, заведующий кафедрой электротехники Архангельского государственного технического университета, чл.-кор. Академии электротехнических наук Российской Федерации. Имеет более 80 печатных работ. Основные направления научной деятельности – электротехнология и электрификация.



Василишин Игорь Иванович родился в 1958 г., окончил в 1984 г. Ленинградский электротехнический институт связи, старший преподаватель кафедры электротехники Архангельского государственного технического университета. Имеет одну печатную работу в области электрогазоочистки.



Радюшин Вячеслав Витальевич родился в 1970 г., окончил в 1992 г. Архангельский лесотехнический институт, аспирант кафедры теплотехники Архангельского государственного технического университета. Область научных интересов – исследование теплофизических основ работы электроциклонных устройств.

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВЫБРОСОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены потери, возникающие при передаче электроэнергии во внутривзаводских сетях электроснабжения промышленных предприятий, и даны рекомендации по их снижению. Предложены пути снижения вредных выбросов электростанций за счет уменьшения потерь электроэнергии.

The losses arising from electric power transmission in intraplant industrial power-supply system have been considered, and the recommendations on their reduction are given. The ways of reducing discharges subject to decreasing electric energy losses are proposed.

В условиях обострения экологических проблем недопустимо чрезмерное загрязнение окружающей среды. К загрязняющим факторам можно отнести выбросы ТЭЦ и котельных, содержащие диоксид серы и оксид азота. При наличии в воздухе диоксида серы в количестве 0,1...0,2 мг/м³ (т. е. ниже предельно допустимых концентраций) потери прироста хвойных пород деревьев по сравнению с незагазованными районами составляют 10, при 0,2...0,5 мг/м³ – 29, при 0,5 мг/м³ – 48 % [6]. Коррозия стали протекает значительно быстрее, если в воздухе присутствуют пыль и диоксид серы в концентрациях ниже нормы. По данным [1] ущерб, причиняемый выбросами оксидов серы с дымовыми газами электростанций США, составляет 0,6 центов на 1 кВт·ч выработанной электроэнергии.

Одним из способов уменьшения вредных выбросов является снижение удельного расхода электроэнергии на единицу продукции. Это может быть достигнуто за счет внедрения новых энергосберегающих и неэнергоемких технологий, а также снижения потерь в системах электроснабжения предприятий.

Обследование ряда деревообрабатывающих предприятий показало, что потери электроэнергии на них колеблются в пределах 1...7 % от общего расхода и в среднем соизмеримы с расходом на освещение (2,4 %) [2]. Структура энергопотребления отрасли по целевым направлениям характеризуется тем, что основная доля электроэнергии (около 85 %) расходуется на привод технологических и вспомогательных механизмов и лишь незначительная – на электроаппараты для технологических целей.

Причины значительных потерь электроэнергии на этих предприятиях:

- а) распределение электроэнергии на нерациональном номинальном напряжении 3,0 и 0,4 кВ;
- б) устаревшее и крайне изношенное энергетическое оборудование;

в) низкий уровень напряжения вследствие дефицита реактивной мощности в отдельных узлах;

г) недостаточное оснащение установок средствами компенсации реактивной мощности;

д) отсутствие автоматического управления параметрами режима систем электроснабжения с использованием вычислительной техники.

Электрические распределительные сети предприятий деревопереработки имеют значительную протяженность и разветвленность. В этих условиях с целью снижения потерь электроэнергии особое внимание следует уделять выбору типа, мощности и режима работы понижающих трансформаторов цеховых подстанций.

Для оптимизации отдельных элементов систем электроснабжения, направленной на снижение потерь в электроустановках, были проведены исследования на Архангельском ЦБК, Соломбальском ЦБК и ЛДК-4 (г. Архангельск).

Исходными материалами для решения этого вопроса, в частности расчета оптимальных нагрузок и экономически выгодных зон загрузки трансформаторов и оптимизации режимов реактивной мощности, служат снятые нами графики активной, реактивной и полной нагрузок трансформаторов цеховых подстанции и отдельных мощных потребителей.

Определенными характеристиками графика являются коэффициент заполнения суточного графика $K_{з.г}$ (отношение среднесуточной нагрузки к максимальной) и коэффициент неравномерности графика K_n (отношение минимальной нагрузки к максимальной). В табл. 1 приведены значения этих коэффициентов для обследуемых предприятий.

Таблица 1

Предприятие	$K_{з.г}$	K_n
АЦБК	0,75...0,90	0,60...0,85
СЦБК	0,60...0,90	0,80...0,90
ЛДК-4	0,80...0,88	0,63...0,67

Как следует из табл. 1, значения $K_{з.г}$ и K_n лежат в пределах 0,6...0,9. Однако в отдельных случаях этот диапазон значительно расширен за счет уменьшения соответствующих коэффициентов. Например, на АЦБК для трансформатора Т-2 п/ст 12 (ПХВО) коэффициент $K_{з.г} = 0,36$, а Т-3 – 0,48. Это еще раз говорит о необходимости проведения мероприятий по определению оптимальной нагрузки трансформаторов и экономически выгодных зон их загрузки.

Графики нагрузок позволяют получить определенную информацию об уровне реактивной нагрузки и коэффициентах, характеризующих этот уровень. Например, нагрузка на РП-20 АЦБК имеет $\cos \varphi_m = 0,71$, чему соответствует $\operatorname{tg} \varphi_m = 0,7$, в то время как нормированный $\operatorname{tg} \varphi$ имеет более низкое значение. На ЛДК-4 уровень реактивной

мощности по отношению к активной составляет 115 %, чему соответствует $\cos \varphi = 0,65$ и $\operatorname{tg} \varphi = 1,15$.

Аналогичные выводы можно сделать и по другим потребителям, что свидетельствует о необходимости проведения работ по оптимизации режимов реактивной нагрузки и компенсации реактивной мощности в сетях электроснабжения рассматриваемых предприятий.

Состав трансформаторного парка АЦБК характеризуется следующим образом. На ТЭЦ и подстанциях комбината установлено примерно 300 силовых трансформаторов напряжением 6/0,40; 6/0,50 и 6/0,68 кВ различных номинальных мощностей, изготовленных разными заводами и в разное время.

Энергетические и экономические показатели трансформаторов различны (мощность потерь холостого хода P_x и короткого замыкания P_k , напряжение короткого замыкания E_k , ток холостого хода I_0 , стоимость трансформаторов и т. д.). Все это усложняет анализ экономически выгодных зон загрузки и определение оптимальных нагрузок.

Для проведения необходимых расчетов все установленные на комбинате трансформаторы были разделены на три поколения по времени их изготовления: до 1965 г. (8 шт.); 1966 – 1975 гг. (221 шт.); после 1976 г. (32 шт.).

По номинальным мощностям получено следующее распределение: 1600 кВ·А – 1 шт.; 1000 кВ·А – 201 шт.; 750 кВ·А – 1 шт.; 630 кВ·А – 18 шт.; 560 кВ·А – 20 шт.; 400 кВ·А – 26 шт.; 320 кВ·А – 10 шт.; 250 кВ·А – 3 шт.; 200 кВ·А – 3 шт.; 180 кВ·А – 4 шт.; 100 кВ·А – 4 шт.; 60 кВ·А – 2 шт.; 50 кВ·А – 2 шт.

Как следует из приведенных данных, подавляющее большинство трансформаторов обладают мощностью 1000 кВ·А (около 68 %) и изготовлены в период с 1966 по 1975 гг. (около 74 %).

Полная установленная мощность трансформаторов цеховых подстанций составляет примерно 290 МВ·А, максимальная полная потребляемая комбинатом мощность (при условии $\operatorname{tg} \varphi = 0,5$ и $\cos \varphi = 0,9$) – приблизительно 160 МВ·А [1]. При таких показателях средний коэффициент загрузки трансформаторов равен 0,575, что ниже нормативного (0,700), принимаемого в расчетах электроснабжения промышленных предприятий.

При снятии графиков нагрузки учитывали, что цех находится в рабочем режиме. Непрерывный производственный цикл, характерный для целлюлозно-бумажных комбинатов, дает основание полагать, что суточные графики с большой степенью вероятности отражают реальные средние нагрузки. Для подтверждения правильности расчетов трансформаторы, замеренная мощность которых ниже установленной, были проверены при реальных рабочих нагрузках.

Одним из основных технико-экономических показателей для трансформаторов являются производственные затраты, определяющие стоимость трансформации энергии $Z_{\text{тр}}$. Они могут быть найдены из следующего соотношения:

$$Z_{тр} = (E_n + P_{\Sigma}) K_{тр} + P_x T_{вкл} Z_{э.х} + \frac{S^2}{S_n^2} P_{к.т} Z_{э.к}; \quad (1)$$

где E_n – нормативный коэффициент капитальных вложений, $E_n = 0,12$;

P_{Σ} – приведенные отчисления, $P_{\Sigma} = (P_p + P_{к.р} + P_э)$;

$P_p, P_{к.р}, P_э$ – соответственно отчисления на реновацию ($P_p = 3,5\%$), капитальный ремонт ($P_{к.р} = 2,9\%$) и текущую эксплуатацию ($P_э = 4,0\%$);

$K_{тр}$ – стоимость трансформатора, р.;

P_x и P_k – потери в стали и меди трансформатора, кВт;

$T_{вкл}$ – годовое время включения, ч;

τ – число часов максимума потерь, ч;

$Z_{э.х}$ и $Z_{э.к}$ – соответственно стоимость потерь при $T_{вкл}$ и τ , р./кВт·ч;

S_{max} и S_n – соответственно максимальная и номинальная мощность трансформатора, кВА.

Исходя из формулы (1) и соотношения

$$I_{i,i+1} = \sqrt{\frac{a_{i+1} - a_i}{b_i - b_{i+1}}},$$

определяем экономически выгодные зоны использования трансформаторов в порядке возрастания их мощности $S_{н1} < S_{н2} < S_{н3}$:

$$S = \frac{(E_n + P_{\Sigma})(K_{тр2} - K_{тр1}) + T_{вкл} Z_{э.х} (P_{x1} - P_{x2})}{\tau Z_{э.к} (P_{к1}/S_{н1}^2 - P_{к2}/S_{н2}^2)}. \quad (2)$$

Уравнение (2) определяет границы использования трансформатора мощностью S и целесообразность его замены на трансформатор большей мощности. Используя соотношения $a_i > a_{i-1}$ и $b_{i-1} > b_i$ и уравнение (1), первое условие существования интервала запишем в виде

$$(E_n + P_{\Sigma}) K_{тр2} + P_{x2} T_{вкл} Z_{э.х} > (E_n + P_{\Sigma}) K_{тр1} + P_{x1} T_{вкл} Z_{э.л}. \quad (3)$$

В данном случае $P_{x2} > P_{x1}$, следовательно интервал существует при $K_{тр2} > K_{тр1}$.

Кроме того, должно выполняться условие $P_{к1}/S_{н1}^2 > P_{к2}/S_{н2}^2$.

С учетом (3) и соотношения

$$\frac{a_i - a_{i-1}}{a_{i+1} - a_i} < \frac{b_{i-1} - b_i}{b_i - b_{i-1}},$$

после некоторых преобразований получаем второе условие существования интервала:

$$\frac{(E_n + P_{\Sigma})(K_{тр2} - K_{тр1}) + T_{вкл} Z_{э.л} (P_{x2} - P_{x1})}{(E_n + P_{\Sigma})(K_{тр3} - K_{тр2}) + T_{вкл} Z_{э.х} (P_{x3} - P_{x2})} < \frac{P_{к1}/S_{н1}^2 - P_{к2}/S_{н2}^2}{P_{к2}/S_{н2}^2 - P_{к3}/S_{н3}^2}. \quad (4)$$

Кроме определения зоны рационального использования трансформатора, необходимо рассмотреть вопрос о наиболее выгодной нагрузке

ке трансформатора $S_{\max \varepsilon}$ заданной мощности, которая характеризуется минимальным значением приведенных затрат на трансформацию электроэнергии:

$$S_{\max \varepsilon} = S_n \frac{(E_n + P_\Sigma) K_{\text{тр}} + P_x T_{\text{вкл}} \mathcal{Z}_{\text{э.л}}}{\tau P_x \mathcal{Z}_{\text{э.к}}} \quad (5)$$

Оптимальная нагрузка $S_{\max \varepsilon}$ может быть выше номинальной мощности трансформаторов, а иногда находится вне пределов экономически выгодной зоны использования трансформаторов. Поскольку в условиях нестабильности цен и частого изменения тарифов на электроэнергию сложно определять указанные параметры, то за основные критерии выбора приняты потери мощности и электроэнергии. Для проверки соответствия установленных на АЦБК трансформаторов оптимальным условиям были выбраны 163 основных трансформатора мощностью 180 кВ·А (1 шт.); 200 кВ·А (2 шт.); 320 кВ·А (6 шт.); 400 кВ·А (7 шт.); 560 кВ·А (4 шт.); 630 кВ·А (12 шт.); 750 кВ·А (1 шт.); 1000 кВ·А (130 шт.).

При определении оптимальных параметров трансформатора учитывают следующие условия.

1. На диапазон изменения нагрузки от S_{\min} до S_{\max} по графику нагрузки трансформатора накладывают зоны экономичной нагрузки ближайшей по величине номинальной мощности трансформатора. Выбирают тот трансформатор, показатели которого укладываются в этот диапазон. Предпочтение отдается более мощному трансформатору, у которого этот диапазон располагается вблизи S_{\max} .

2. Сравнивают среднюю квадратичную нагрузку $S_{\text{с.к}}$ и оптимальную нагрузку для показателя τ , близкого к числу часов максимума потерь на данном производстве. Выбирают трансформатор, оптимальная нагрузка которого несколько больше $S_{\text{с.к}}$.

Все трансформаторы проверяют по условиям допускаемой перегрузки в следующих наиболее тяжелых режимах:

первый (летний) режим характеризуется эквивалентной температурой, равной $+30^\circ\text{C}$; условия работы определяются плохой вентиляцией камер;

второй режим, когда диапазон изменения нагрузки не превышает $\pm 25\%$; эквивалентная температура принята не по максимальному значению, а по среднегодовому, и равна $+10^\circ\text{C}$; при этом график нагрузки не меняет своей формы, но его значения по оси ординат увеличиваются на 25% .

В табл. 2 приведены рекомендации по замене для двух трансформаторов. Расчетное значение годовых потерь в этих трансформаторах составило 7 031 374 кВт·ч. Их замена на трансформаторы меньшей мощности при реконструкции ТП № 5 способствует снижению годовых потерь на 1 229 220 кВт·ч. Это реальная экономия электроэнергии, которую можно получить, не считая выигрыша от снижения платы за основные фонды.

Таблица 2

Показатели	Значения показателей для трансформаторов	
	№ 1	№ 4
Характеристики установленного трансформатора:		
тип	ТМ 1 000 / 10А	ТСМ 560 / 6
S_n , кВ·А	1 000	560
$U_{вн} / U_{нн}$, кВ	6,0 / 0,4	6,0 / 0,4
год выпуска	1971	1963
годовые потери энергии, кВт·ч	27 866	32 691
График нагрузки, кВ·А:		
S_{max}	270	300
S_{min}	110	140
$S_{с.к}$	250	230
Число часов максимума потерь, ч	7 100	4 000
Тип рекомендуемого для замены трансформатора:		
по оптимальной нагрузке	ТМ 400	ТМ 250
по экономически выгодным зонам использования	ТМ 400	ТМ 250; ТМ 400
по дополнительной нагрузке	ТМ 400	ТМ 400
Характеристики выбранного для замены трансформатора:		
тип	ТМ 630	ТМ 630
годовые потери энергии, кВт·ч	27 907	21 376
Реальная экономия энергии, кВт·ч / год	2 959	11 315

Следует отметить высокий уровень реактивной мощности в графиках нагрузки трансформаторов. Как было показано выше, цех ДСП ЛДК-4 потребляет реактивную мощность, равную 110...120 % от активной нагрузки. В настоящее время компенсация реактивной мощности в период максимума нагрузки составляет примерно 0,25 квар/кВт, что значительно меньше экономически целесообразной компенсации, равной 0,6 квар/кВт.

Передача реактивной мощности приводит к возрастанию тока во всех элементах системы источник-потребитель, что в свою очередь влечет за собой следующее.

1) Рост потерь мощности на нагрев токопроводов:

$$\Delta P = 3 I^2 R = \frac{P^2 R + Q^2 R}{U^2} = \Delta P_a + \Delta P_p = \frac{P^2 R}{\cos^2 \varphi U^2},$$

где R – активное сопротивление элементов системы;

ΔP_p – составляющая потерь активной мощности, затраченная на передачу реактивной мощности Q .

Эти потери покрываются активной мощностью генераторов электростанций.

2) Появление дополнительных потерь напряжения:

$$\Delta U_p = \frac{Qx}{U},$$

где x – эквивалентное реактивное сопротивление элементов системы.

3) Загрузка реактивной мощностью элементов электроснабжения, что требует дополнительных затрат, направленных на увеличение пропускной способности сети, и приводит к увеличению числа элементов сети либо их мощности.

Основными приемниками электроэнергии на ЛДК-4 при производстве ДСП являются электродвигатели.

С целью определить влияние на энергопотребление предприятия отдельных потребителей и некоторых узлов нагрузки был проведен анализ режимов их работы (табл. 3).

Кроме паспортных данных и измеренных величин (P_p , $P_{изм}$, I , U), в табл. 3 представлены расчетные (S , Q , $\cos \varphi$, $\operatorname{tg} \varphi$, K_3 , $I_{пуск}$). Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы.

Для установленных на производстве ДСП ЛДК-4 асинхронных двигателей номинальным является напряжение 380 В. Практически на

Таблица 3

Электроприемник	$\frac{P_{изм}, \text{кВт}}{I_n, \text{А}}$	$P_{изм}, \text{кВт}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$S, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$Q, \text{квар}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	K_3	$I_{пуск}, \text{А}$
Дымосос (сушильный барабан 1)	75,0	62,4	110	390	55,0	40,0	0,860	0,98	0,83	–
Сушильный барабан 1	45,0	5,4	59	400	39,0	38,7	0,140	7,20	0,12	–
Дымосос (сушильный барабан 2)	22,0/25,0	2,4	22	410	15,8	15,1	0,152	6,30	0,11	–
Сушильный барабан 2	50,0/138,0	44,5	90	408	64,0	46,8	0,700	1,05	0,89	–
Вентилятор ДМВ-1	75,0/137,0	42,0	81	411	57,7	39,0	0,727	0,93	0,56	–
Транспортер подачи в бункер (перед сушкой,	11,0/24,0	2,2	13	404	9,0	8,7	0,250	4,10	0,20	–
Вентилятор стружки: мелкой	55,0/59,0	25,2	60	408	42,0	33,0	0,600	1,30	0,46	>500
крупной	37,0/39,0	21,6	42	412	30,0	20,8	0,720	0,97	0,59	>350
« «	37,0/40,0	20,4	44	410	31,1	23,5	0,655	1,15	0,55	>350
Установка ДС-7 (№ 5 и № 6)	200/360,0	6,0	90	400	62,2	62,0	0,097	10,35	0,03	–
Транспортер подачи на сортировку	7,5	6,3	14	405	9,9	6,5	0,700	0,99	0,84	–

всех двигателях и отдельных узлах подводимое напряжение оказывается значительно выше (390...415 В). Отклонение напряжения от номинальных значений снижает показатели качества электроэнергии. Уровни напряжения в узлах энергосистемы определяются исключительно реактивной составляющей. Следовательно, изменение реактивной мощности в сети будет влиять на изменение величины напряжения, что отражается на работе потребителей электроэнергии и потреблении ими реактивной мощности.

Коэффициент загрузки ($K_3 = P_{\text{изм}}/P_n$) отдельных двигателей равен 0,12 и ниже, что является крайне нежелательным. При таких K_3 двигатель в основном загружается реактивным током, резко возрастает потребляемая им из энергосистемы реактивная мощность, что увеличивает потери и в подводящих сетях, и в самих двигателях.

Потребляемая электродвигателями реактивная мощность составляет 100...1000 % от активной мощности. Коэффициент мощности при этом имеет значение ниже номинального (0,15...0,60), что ведет к увеличению потерь электроэнергии и загрузке электродвигателей реактивной мощностью.

Для снижения потребляемой реактивной мощности, что уменьшает потери электроэнергии, необходимо провести следующие мероприятия:

а) снизить продолжительность работы электродвигателей на холостом ходу;

б) заменить электродвигатели с коэффициентом загрузки менее 0,45 на электродвигатели меньшей по номиналу мощности;

в) где требуются большие пусковые моменты, следует заменить асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором на электродвигатели меньшей мощности с фазным ротором;

г) понизить напряжение электродвигателей, систематически работающих на малой загрузке, с помощью переключения их статорной обмотки со схемы соединения «треугольник» на «звезду». При этом ток электродвигателя и его активная мощность соответственно уменьшаются в $\sqrt{3}$ и 3 раза, загрузка электродвигателя и его коэффициент мощности повышаются, а потребление реактивной мощности Q снижается;

д) производить регулирование напряжения на трансформаторах подстанций, чтобы напряжение электродвигателя соответствовало нормам.

Окончательный вывод об оптимальной величине потребляемой каждым узлом реактивной мощности можно сделать после сравнения различных вариантов компенсации реактивной мощности с учетом стоимости средств на эти мероприятия и потерь электроэнергии [4].

Примерно 80% электроэнергии в Российской Федерации вырабатывается на тепловых электростанциях, остальные 20% – на ГЭС и АЭС. С учетом структуры потребления полезных ископаемых (уголь – 29%, газ – 30%, нефтепродукты – 41%) при получении 1 кВт·ч электроэнергии в атмосферу выбрасывается 0,7 кг различных продуктов сгора-

ния (CO_2 , NO_x , SO_2 , зола и др.). При использовании только природного газа этот показатель снижается до 0,1 кг [3].

Как было показано выше, только замена трансформаторов на АЦБК позволяет сэкономить 1 229 220 кВт·ч электроэнергии. При удельном расходе 320 г условного топлива на 1 кВт·ч электроэнергии на ТЭЦ АЦБК для выработки такого количества электроэнергии потребовалось бы 363 т условного топлива, а в пересчете на реальное топливо (уголь Воркутинского месторождения Печорского бассейна; $Q_n^p = 5\,650$ ккал/кг; $W^p = 5,5\%$; $A^p = 23,6\%$; $S_{06}^p = 0,8\%$; $C^p = 59,6\%$; $H^p = 3,8\%$; $W^p = 1,3\%$; $O^p = 5,4\%$; $V^p = 3,3\%$; $M = 24,8$ г/м³) [5] – 656 т.

Объем газа, полученного при сжигании 1 кг угля, складывается из суммы объемов составляющих его компонентов, м³:

$$V_r = V_{\text{CO}} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}$$

Расчет по этой формуле дает результат 6,58 м³. При коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,4$ получаем $V_r = 9,08$ м³. Вклад каждого из компонентов составляет: CO_2 – 1,1100 м³; SO_2 – 0,0056 м³; N_2 – 4,8600 м³; H_2O – 0,6000 м³.

Следовательно, при сжигании 656 т угля будет получено 154,8 т золы; 728 000 м³ CO_2 ; 3 673 м³ SO_2 и др.

Таким образом, снижение потерь электроэнергии в сетях предприятий деревообрабатывающего комплекса приводит к уменьшению затрат электроэнергии на единицу продукции, освобождению большого объема транспортных средств и снижению объемов вредных выбросов в окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Морган М., Баркович Р., Мейер А. Социальная стоимость производства электроэнергии на угольных ТЭЦ // Тр. института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. - 1973. - Т.61, № 10. - С.66-70. [2]. Оптимизация систем электроснабжения целлюлозно-бумажных предприятий / И.В. Жежеленко, В.П. Долгополов, Ю.В. Слепов, В.И. Хойнов.- М.: Лесн. пром-сть, 1988. - 264 с. [3]. Потехин Т.С. Концепция региональной безопасности // Энергия (Экономика, техника, экология). - 1994. - № 11. - С.5 - 8. [4]. Шепель Г.А., Волков В.М. Снижение потерь электроэнергии на предприятиях лесопромышленного комплекса. - Архангельск: РИО АЛТИ, 1980. - 81 с. [5]. Энергетика и охрана окружающей среды / Под ред. Н.Г. Залогина, Л.И. Кропина и Ю.М. Костригина. - М.: Энергия, 1979. - 352 с. [6]. Air quality criteria for particulate matter NAPCA. - January, 1969.