

УДК 621.316

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАМЕНЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ НА ПРИМЕРЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.В. Шагидуллин

Казанский государственный энергетический университет

Резюме: Статья посвящена оценке эффективности замены установленных в цеховых сетях низковольтных коммутационных аппаратов на новые в целях снижения потребления электрической энергии на промышленном предприятии. Рассмотрена динамика изменения электропотребления и относительных потерь электроэнергии в низковольтных сетях с учетом времени эксплуатации оборудования.

Ключевые слова: низковольтные сети, коммутационные аппараты, автоматический выключатель, магнитный пускатель, экономия электроэнергии.

THE EFFECTIVENESS OF THE REPLACEMENT LOW-VOLTAGE SWITCHING DEVICES ON THE EXAMPLE OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

A.V. Shagidullin

Kazan State Power Engineering University

Abstract: The article is devoted to evaluating the effectiveness of replacing installed in the workshop network of low-voltage switching devices for new in order to reduce electricity consumption in an industrial plant. The dynamics of change in the relative power consumption and energy losses in low-voltage networks, taking into account the time of the equipment.

Keywords: low-voltage network, switching devices, circuit breaker, magnetic switch, energy savings.

Недофинансирование электросетевого комплекса России с начала девяностых годов прошлого века привело к критической изношенности основных фондов. Проведенный анализ возрастной структуры оборудования показал, что более 54 % оборудования выработало нормативный срок эксплуатации (25 лет), более 22 % оборудования выработало сверхнормативный срок эксплуатации (35 лет и выше). Кроме того, в следующие 10 лет ожидается значительный рост доли оборудования со сверхнормативным сроком эксплуатации. Физический и моральный износ оборудования может стать причиной возникновения технологических нарушений, несчастных случаев, а также роста эксплуатационных затрат. Изношенные элементы внутрицеховых линий электропередачи могут быть повреждены при внешнем воздействии или стать причиной роста потерь электроэнергии ввиду увеличения нагрузок [1, 2].

Представляет интерес возможный экономический эффект от замены коммутационного оборудования внутрицеховых сетей до его отказа [1]. По результатам исследований потерь мощности в контактных соединениях низковольтных коммутационных аппаратов (НКА), предлагаются мероприятия по замене аппаратов, имеющих наибольшие потери, на аппараты российских заводов-изготовителей с меньшими

потерями мощности в аппарате и аналогичными характеристиками защиты [4]. В процессе эксплуатации контакты НКА изнашиваются, образуются пленки, в результате чего начальное значение сопротивления контактных соединений НКА возрастает [5], что ведет к увеличению эквивалентного сопротивления сети и увеличению потерь электроэнергии [6].

Для корректирования режима электропотребления в цеховой сети (рис. 1) и снижения потерь активной мощности в контактах и контактных соединениях коммутационных аппаратов предлагается заменить установленные низковольтные коммутационные аппараты на аналоги, позволяющие снизить потери мощности на величину порядка 5 ÷ 50 % [7, 8].

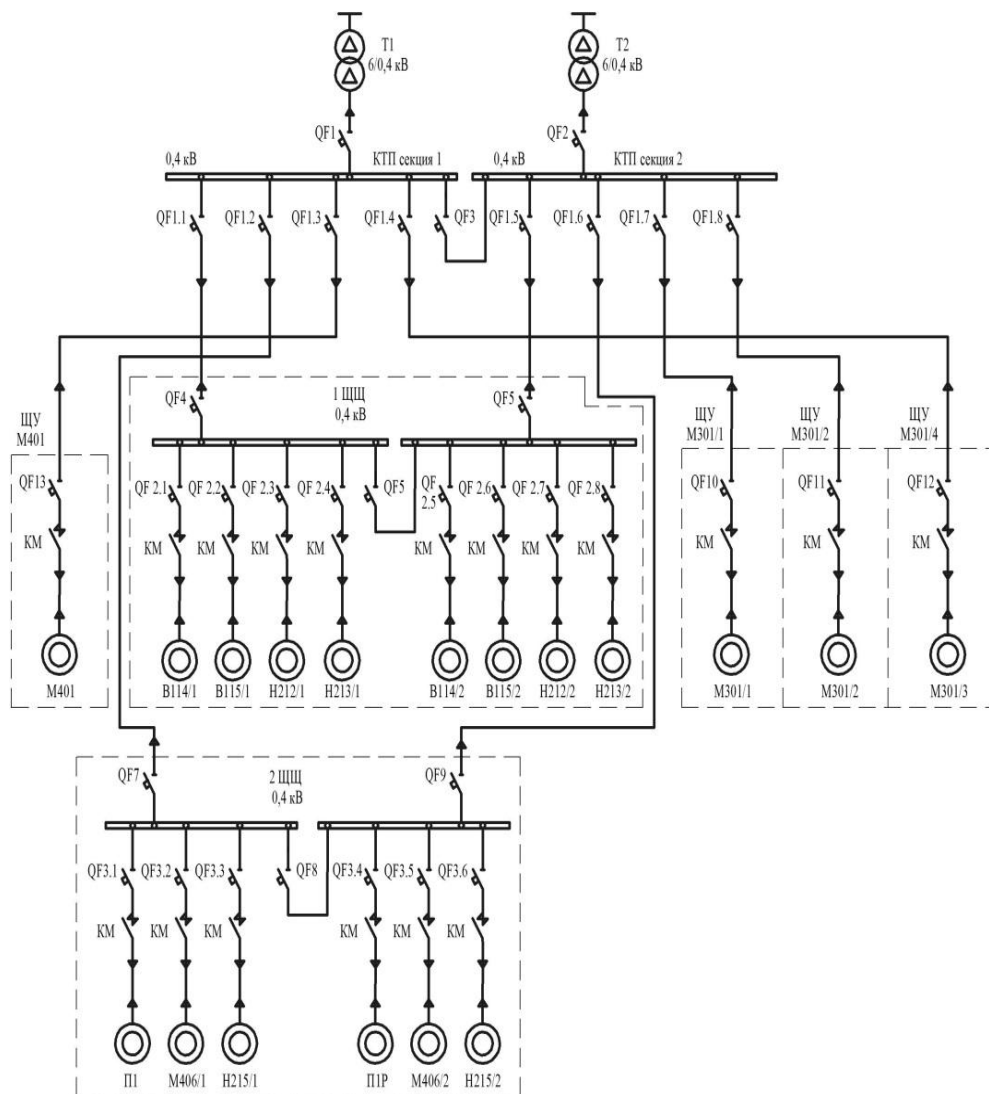


Рис.1. Схема распределительной сети 0,4кВ

При разработке плановых заданий расхода электроэнергии удобно пользоваться эквивалентными сопротивлениями исследуемых сетей или их участков [9]. Потери электроэнергии по эквивалентному сопротивлению находятся по выражению

$$\Delta W = \frac{R_{\text{ср}}^2 P_{\text{ср}}^2 T}{U_{\text{ср}}^2 \cos^2 \varphi_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ср}}$ - средняя мощность электроприемников, МВт; T - расчетный период, ч; $U_{\text{ср}}$ - напряжение сети, В; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ - средний коэффициент мощности приемников электроэнергетики.

С учетом неизменности технологии и количества выпускаемой продукции потери электроэнергии для рассматриваемого участка цеховой сети составляют 3,51% от потребления электроэнергии без потерь:

$$\frac{\Delta W_{2014}}{W_{\text{бп} 2014}} \cdot 100\% = \frac{12,52 \text{ МВт}}{356,6 \text{ МВт}} \cdot 100\% = 3,51\%; \quad \frac{\Delta W_{2015}}{W_{\text{бп} 2015}} \cdot 100\% = \frac{12,65 \text{ МВт}}{360,4 \text{ МВт}} \cdot 100\% = 3,51\%,$$

где ΔW_{2014} , ΔW_{2015} - потери электроэнергии на участке цеховой сети, изображенной на рис. 1, за 2014 и 2015 гг. соответственно; $W_{\text{бп} 2014}$, $W_{\text{бп} 2015}$ - расход электроэнергии на технологию на том же участке сети за 2014 и 2015 гг.

С учетом выражения (1) расчетный отпуск электроэнергии составит

$$W_p = \frac{R_3^{\text{ср}} P_{\text{ср}}^2 T}{U_{\text{ср}}^2 \cos^2 \varphi_{\text{ср}}} + \frac{R_{30} P_{\text{ср}}^2 T}{U_{\text{ср}}^2 \cos^2 \varphi_{\text{ср}}} \cdot \frac{100}{3,51}. \quad (2)$$

Погрешность расчетного отпуска электроэнергии, найденного по эквивалентному сопротивлению по (2), от фактически потребленной электроэнергии рассматриваемыми цеховыми потребителями за 2014-2015 гг. приведена в табл. 1.

Таблица 1

Расход электроэнергии по годам		
Параметр	Год	
	2014	2015
Отпуск энергии в сеть W , МВтч	373,05	374,68
Расчетный отпуск энергии в сеть W_p , МВтч	369,8	370,3
Погрешность W_p от W , %	-1,03	-1,19

Потери электроэнергии за 2014 г. определены по выражению (1), где $P_{\text{ср}}^2 = 12,34 \text{ МВт}^2 \times 10^{-3}$;

$T = 1980$ ч; $U_{\text{ср}} = 0,4$ кВ; $\cos \varphi_{\text{ср}} = 0,59$; $R_3^{\text{ср}} = R_{30} = 25,75 \text{ мОм}$ - эквивалентное сопротивление рассматриваемого участка сети с низковольтными коммутационными аппаратами, установленными в данном году.

При замене 10 автоматических выключателей марки *SchneiderElectric* $I_H \leq 160 \text{ А}$, установленных на линиях 1ШЩ - Н212/1, Н213/1, В114/1, В114/2, и 2ШЩ - П1, П1р, Н406/1, Н215/1, Н215/2, Н406/2, при 80% отработанном ресурсе на автоматы фирмы *IEK* [0], потери мощности снизятся на 70 %, что приведет к экономии электропотребления 1015,8 кВт·ч в год замены (табл. 2).

Для эффективного управления режимами эксплуатации и снижения электропотребления целесообразна замена контакторов, установленных в цепях электродвигателей, для аппаратов с $I_H = 26 \div 110 \text{ А}$. В табл. 3 представлены сравнительные характеристики установленных и предлагаемых к замене контакторов.

При замене только 7 контакторов марки *SchneiderElectric* $I_H \leq 80 \text{ А}$, установленных на линиях 1ШЩ - В114/1, В114/2, и 2ШЩ - П1, П1р, Н215/1, Н215/2, Н406/1, на 80% ресурса на контакторы завода КЭАЗ, потери мощности снизились на 82 %, что приведет к годовой экономии электропотребления 351,2 кВт·ч.

Таблица 2

Варианты замены установленных автоматических выключателей

Варианты замены установленных автоматов выключателей					
Обозначение аппарата на схеме	ом.т ок $I_{\text{н}}$, А	Производитель (установленные/замен а)	Сопр- ие, мОм	Потери мощности в 1 аппарате, Вт	Потери электро- энергии, кВт·ч/год
$QF\ 2.1, QF\ 2.5$	0	<i>SchneiderElectric</i>	1,20	20,7	331,8
		<i>IEK</i>	1,11	7,1	113,7
$QF\ 2.3, QF\ 2.4$	160	<i>SchneiderElectric</i>	0,46	31,8	508,7
		<i>IEK</i>	0,39	10,0	159,7
$QF\ 3.1, QF\ 3.4$	3	<i>SchneiderElectric</i>	1,67	17,9	286,3
		<i>IEK</i>	1,31	5,2	83,2
$QF\ 3.2$	5	<i>SchneiderElectric</i>	6,33	10,7	85,5
		<i>IEK</i>	4,50	2,8	22,5
$QF\ 3.3, QF\ 3.6$	2	<i>SchneiderElectric</i>	4,37	12,1	193,3
		<i>IEK</i>	3,03	3,1	49,6
$QF\ 3.5$		<i>SchneiderElectric</i>	145	6,3	50,1
		<i>IEK</i>	87,5	1,4	11,2
				<i>SchneiderElectr ic</i>	
				<i>IEK</i>	439,9
				Экономия	1015,8

Таблица 3

Варианты замены установленных контакторов

Обозначение аппарата на схеме	Номинальный ток I_n , А	Производитель (установленные/замена)	Сопротивление, мОм	Потери мощности в 1 аппарате, Вт	Потери электроэнергии, кВт·ч/год
1ЩЩ-В114/1, 1ЩЩ-В114/2	80	SchneiderElectric	0,70	12,1	193,5
	75	КЭАЗ	0,36	2,0	32,4
2ЩЩ-П1, 2ЩЩ-Пр1	65	SchneiderElectric	0,80	9,1	146,0
	63	КЭАЗ	0,38	1,5	24,1
2ЩЩ-Н215/1, 2ЩЩ-Н215/2	32	SchneiderElectric	1,49	4,1	65,9
	30	КЭАЗ	1,00	0,9	14,4
2ЩЩ-406/1	25	SchneiderElectric	1,59	2,7	21,5
	26	КЭАЗ	0,89	0,6	4,8
				SchneiderElectric	426,9
				КЭАЗ	75,7
				Экономия	351,2

С учетом замены приведенных аппаратов на 80% сроке их эксплуатации изменение эквивалентного сопротивления схемы и расчетного отпуска электроэнергии [8] представлено в табл. 4.

Таблица 4

Изменение расчетного отпуска электроэнергии в сеть на участке цеховой сети при проведении энергоэффективных мероприятий

t , лет		0	2	4	6	8	10	12
$R_{\text{экв сети}}$, МОм	было	5,75	27,23	28,14	32,37	37,23	42,82	49,26
	стало						29,64	32,39
Потери ΔW , МВтч	было	12,34	3,24	13,68	15,73	18,10	20,81	23,94
	стало						14,41	15,74
Расчетный отпуск энергии в сеть W_p , МВтч	было						377,4	380,5
	стало	369,1	369,8	370,3	372,3	374,7	371,0	372,3
Стоимость потерь э/э, тыс. руб.	было	50,07	52,94	54,71	62,94	72,39	83,26	95,78
	стало						57,63	62,97
Экономия от замены аппаратов	тыс. руб.						25,63	32,80
	%						1,70	2,16

На рис. 2 показано изменение расчетного отпуска электроэнергии с учетом замены низковольтных коммутационных аппаратов.

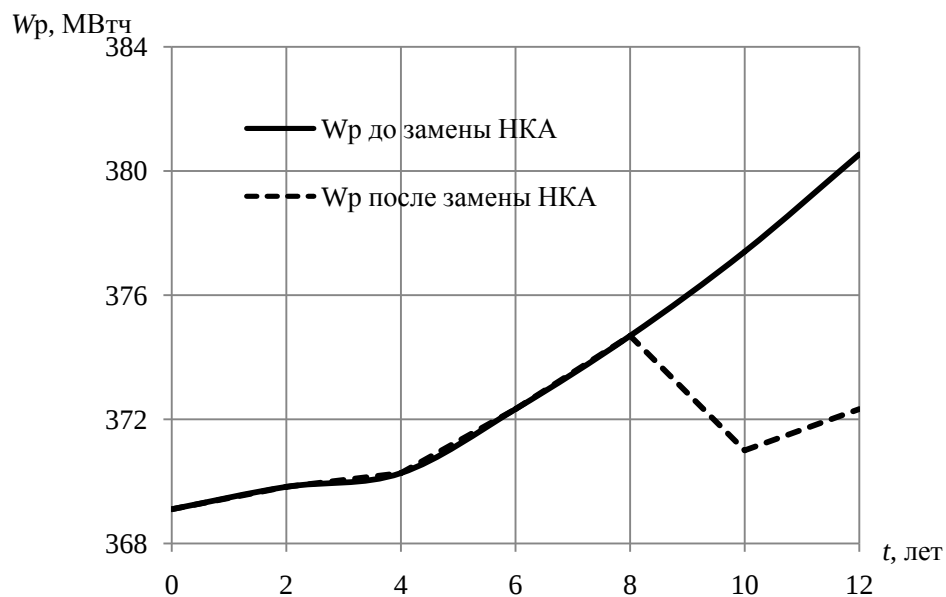


Рис.2. Зависимости изменения расчетного отпуска электроэнергии (W_p) от времени эксплуатации до и после замены аппаратов

Замена коммутационных аппаратов при отработке ресурса на 80% является эффективным мероприятием, позволяя снизить расход электроэнергии на 6,4 МВтч в год замены и на 8,2 МВтч в будущем году.

Также замена по приведенной методике для участка механического цеха с суммарной мощностью силового пункта 26,9 кВт 32 коммутационных аппаратов (16 автоматических выключателей и 16 магнитных пускателей) при отработке ресурса на 80% (8 лет) позволяет достичь экономии 10,38 тыс. руб. за счет снижения потерь электроэнергии с 6,2 МВтч до 4,3 МВтч.

Выводы

1. Определена динамика изменения электропотребления и относительных потерь электроэнергии с учетом времени эксплуатации оборудования.
2. Проведена технико-экономическая оценка замены низковольтных коммутационных аппаратов на их более энергоэффективные аналоги.
3. Показано, что разработанные специализированные модели определения расчетного отпуска электроэнергии в промышленную сеть (2) могут быть использованы для эффективного планирования мероприятий по энергосбережению. Предлагаемые математические модели позволяют также проводить достоверную технико-экономическую оценку проводимых мероприятий.

Литература

1. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций : учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. М. : Издательский центр «Академия», 2013. 448 с.
2. Gasperic, S. Energy losses in low voltage distribution network / S. Gasperic // Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on Energetics (IYCE). IEEE Conference Publications – 2011. – p. 1-5.
3. Федоров О.В. Оценка ресурсосбережения электрооборудования / М.Ю. Петушков, А.С. Сарваров, О.В. Федоров // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2015. № 3. С. 24–28.
4. Шагидуллин А.В. Расчет сопротивлений контактных соединений и потерь мощности автоматических выключателей / Е.И. Грачева, А.В. Шагидуллин, А.В. Рыбакова, А.Н. Хаерова // Главный энергетик. 2013. № 9. С. 23–27.
5. Фадин В.В. Изменения структуры поверхностного слоя металлических материалов при нагружении трением и электрическим током / В.В. Фадин // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 4. С. 16–21.
6. Наумов И.В. Качество электрической энергии и снижение дополнительных потерь мощности в электрических сетях / И.В. Наумов, С.В. Подъячих, Д.А. Иванов // Вестник ИрГСХА. 2009. № 37. С. 83–88. Новгород : НГТУ, 2009.
7. Акимов Е.Г. Силовые автоматические выключатели: обзор рынка и перспективы развития / Е.Г. Акимов // Новое в российской электроэнергетике. 2013. № 4. С. 33–50.
8. Шагидуллин А.В. Энергоэффективность мероприятий по экономии электроэнергии в низковольтных цеховых сетях / Е.И. Грачева, А.В. Шагидуллин // Надежность и безопасность энергетики. 2016. №1(32). С. 64–67.
9. Dickert J. Residential load models for network planning purposes / J. Dickert, P. Schegner // P2010 Modern Electric Power Systems. IEEE Conference Publications. 2010. p. 1-6.
10. Модульное оборудование: каталог: IEK. М., 2013. 81 с.

Автор публикации

Шагидуллин Андрей Владиславович – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. Rozhkova L. D. Jelektrooborudovaniejelektricheskijhstancij i podstancij :uchebnikdljasred. prof. obrazovanija / L. D. Rozhkova, L. K. Karneeva, T. V. Chirkova. – M. :Izdatel'skijcentr «Akademija», 2013. – 448 s.

2. Gasperic S. Energy losses in low voltage distribution network / S. Gasperic // Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on Energetics (IYCE). IEEE Conference Publications – 2011. – p. 1-5.
3. Fedorov O.V. Ocenka resursosberezhenij a jelektroroborudovanija / M.Ju. Petushkov, A.S. Sarvarov, O.V. Fedorov // Jelektroroborudovanie: jekspluatacija i remont. – 2015. – № 3. – S. 24–28.
4. Shagidullin, A.V. Raschet soprotivlenij kontaktnyh soedinenij i poter' moshhno stiavtomaticheskikh vykljuchatelej./ E.I. Gracheva, A.V. Shagidullin, A.V. Rybakova, A.N. Haerova // Glavnyjj energetik. – 2013. – № 9. – S. 23–27.
5. Fadin, V.V. Izmenenij a struktury upoverhnos tnoslojametal licheskikh materialov prinagruzhenii treniem i jelektricheskimi tokom. / V.V. Fadin // Izvestijavy sshihuchebn yhzavedenij. Fizika. – 2013. – T. 56. № 4. – S. 16-21.
6. Naumov, I. V. Kachestvo jelektricheskoi jenerгии i snizhenie dopolnitel'nyh poter' moshhnosti v jelektricheskikh setjah / I. V. Naumov, S. V. Pod#jachi, D. A. Ivanov // Vestnik IrGSHA. – 2009. – № 37. – S. 83–88. Novgorod : NGTU, 2009.
7. Akimov, E.G. Silovye avtomaticheskie vykljuchateli: obzor rynka i perspektivy razvitiya / E.G. Akimov // Novoe v rossijskoj jelektroroborudovatel'noj jenergetike. – 2013. – № 4. – S. 33-50.
8. Shagidullin, A.V. Jenergoj effektivnost' meroprijatij po jekonomii jelektroroborudovanija v nizkovol'tnyh cehovyh setjah. / E.I. Gracheva, A.V. Shagidullin // Nadezhnost' i bezopasnost' jenergetiki. – 2016. – № 1(32). – S. 64–67.
9. Dickert, J. Residential load models for network planning purposes / J. Dickert, P. Schegner // P2010 Modern Electric Power Systems. IEEE Conference Publications – 2010. – p. 1-6.
10. Modul' noe oborudovanie: katalog: IEK. – M., 2013. – 81 s.

Authors of the publication

Shagidullin Andrey Vladislavovich – Senior Lecturer of department «Power supply of industrial enterprises» (EPP) Kazan state power engineering university (KSPEU).

Поступила в редакцию

20 февраля 2017г.