

Федорова С.В.¹, Шеметов А.Н.^{1,2}¹ Технический университет УГМК, г. В. Пышма, Свердловская область² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

РАЗВИТИЕ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ШАГ К ЕГО ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

В статье представлены успешные практики развития диспетчеризации электрохозяйства на примере ряда промышленных предприятий горно-металлургического комплекса, реализованные через цифровую трансформацию. Сформулированы основные направления совершенствования системы диспетчеризации электрохозяйства предприятий с учетом успешных практик по реализации систем управления энергоресурсами. Описаны результаты пилотного проекта построения системы диспетчерского контроля на одном из цинковых предприятий на уровне подразделения – сернокислотного цеха. Достигнуто сокращение времени простоя технологического оборудования более, чем на 25%. Представлен пример построения элементов экспертной системы оценки состояния силового оборудования подстанций, а также значимого технологического оборудования предприятия на основе индикативного метода, дающий возможность формировать данные для прогнозирования состояния оборудования и управлять затратами на ремонт и обслуживание оборудования. Даны рекомендации по замене силового оборудования подстанции при цифровой трансформации и обоснованию развития системы АСТУЭ на основе оценки устойчивости техноценоза.

Ключевые слова: диспетчеризация, электрохозяйство, алгоритм, техноценоз, индикативный метод, оценка состояния оборудования, цифровая трансформация.

ВВЕДЕНИЕ

Создание современной системы диспетчеризации является одним из инструментов цифровой трансформации предприятия с целью повышения его конкурентоспособности. Основные задачи, которые необходимо при этом решить, могут быть представлены тремя тезисами:

- тотальная автоматизация предприятия, в т.ч. всех его технологических и бизнес-процессов;
- интеллектуализация (цифровизация) управленческих решений, принимаемых во всех бизнес-процессах;
- повышение скорости принятия оптимальных решений [1].

Учитывая, что приоритетным энергоресурсом на крупных предприятиях горно-металлургического комплекса является электроэнергия, прежде всего необходимо акцентировать задачу совершенствования систем диспетчеризации электрохозяйства (СДЭ) предприятий [2-7].

Примеры успешных практик по реализации систем управления энергоресурсами [8-14] демонстрируют следующие направления развития СДЭ:

- создание современного организационно-технического уровня диспетчеризации электрохозяйства предприятия с оперативным контролем и анализом работы для принятия управленческих решений, направленных на сокращение энергетических затрат при высоком качестве выпускаемой продукции;
- предотвращение или снижение ущерба от аварий на электросетях за счет оперативного выявления мест возникновения и характера аварии и, следовательно, сокращения времени на локализацию и ликвидацию аварийной ситуации и устранения ее последствий;
- накопление статистических данных для планирования и формирования режимов электропотребления, разработки удельных норм электропотребления;
- экономия текущего потребления электроэнергии и исключение штрафных санкций со стороны энерго-

снабжающей организации;

- обеспечение оптимальных режимов ведения электроемких технологических процессов;
- уменьшение времени на оперативные переключения в целях сокращения внеплановых простоев технологического оборудования;
- контроль за оптимальным использованием технологического оборудования с целью сокращения работы в режиме холостого хода и внеплановых простоев.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На ряде металлургических предприятий по результатам исследования текущего состояния их систем диспетчерского контроля и управления электрохозяйством был разработан алгоритм по совершенствованию диспетчеризации. На уровне деятельности предприятия данный алгоритм преобразуется в предпроектное исследование с разработкой технического задания на реализацию предлагаемых технических решений.

В качестве пилотного проекта для обоснования эффективности СДЭ приведем результаты ее реализации для одного из значимых в технологической и экологической цепочке производств – сернокислотного цеха предприятия цветной металлургии. Одной из важнейших проблем, возникающих в ходе его эксплуатации, является обеспечение бесперебойного электрообеспечения, оценка ресурса и прогнозирование надежности действующего электрооборудования.

На первом этапе было проанализировано время простоев технологического оборудования за 4 года (табл. 1) и связанный с этим ущерб производству (недовыпуск серной кислоты) и экологии (выброс сернистого газа в атмосферу).

Как показали результаты обследований, основной причиной длительных нарушений электроснабжения является недостаточная информированность оперативного персонала электрослужбы о состоянии (ресурсе) высоковольтных коммутационных аппаратов.

Анализ выпуска серной кислоты за 4 года

№ п/п	Год	Выпуск серной кислоты, т		Часовая производительность серной кислоты, т/ч	Время простоя, ч/год	Недовыпуск серной кислоты, т
		План	Факт			
1	2014	77381	79198	10,00	4,3	43,00
2	2015	83132	82926	10,47	3,25	34,03
3	2016	90840	116807	14,75	3,7	54,57
4	2017	115518	126179	15,93	1,6	25,49

Постановка экспериментов с моделированием действий по восстановлению работы силового оборудования подстанции в условиях получения информации только при появлении оперативно-выездной бригады непосредственно на объекте и при внедренной системе диспетчеризации электрохозяйства цеха показала снижение времени устранения аварии на 25%.

В результате было принято решение о пилотной разработке и внедрении на предприятии системы диспетчерского контроля (СДК) состояния коммутационных аппаратов сернокислотного цеха (рис. 1).

Впоследствии внедрение проекта на уровне цеха подтвердило результаты постановочных экспериментов и действительно значительно сократило время простоев технологического оборудования в 2017 г. за счет увеличения оперативности принятия решений по восстановлению работоспособности системы электропитания (см. табл. 1). Это позволило обосновать целесообразность развития диспетчеризации электрохозяйства на уровне всего предприятия [14].

На примере этого и других успешно реализованных пилотных проектов развития диспетчеризации электрохозяйства на ряде промышленных предприятий горно-металлургического комплекса разработан алгоритм действий, начиная с проведения анализа оборудования, на базе которого целесообразно развитие системы диспетчеризации, и заканчивая разработкой предложений по организации обмена технологической информацией с единым диспетчерским центром предприятия [14-16].

На этапе формирования элементной базы системы диспетчеризации одной из главных задач стал выбор между возможностями частичной замены (ретрофита) и полной модернизации силового оборудования подстанции. В частности, компания «Таврида Электрик» для обеспечения цифровых каналов связи предлагает компромиссный вариант – ретрофит существующих ячеек с заменой масляных выключателей на быстродействующие вакуумные ВВ/TEL [12]. Однако анализ затрат для двух этих вариантов показал их соизмеримость, поэтому целесообразным было признано решение в пользу установки новых цифровых ячеек.

На первом этапе построения системы диспетчеризации необходимо осуществить описание информационных потоков, контролирующих режимы работы значимого технологического оборудования. В части удельных расходов электроэнергии, степени загрузки и ресурса приемников электроэнергии информация может быть получена из двух источников – от автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) и автоматизированной системы технического учета электроэнергии (АСТУЭ).

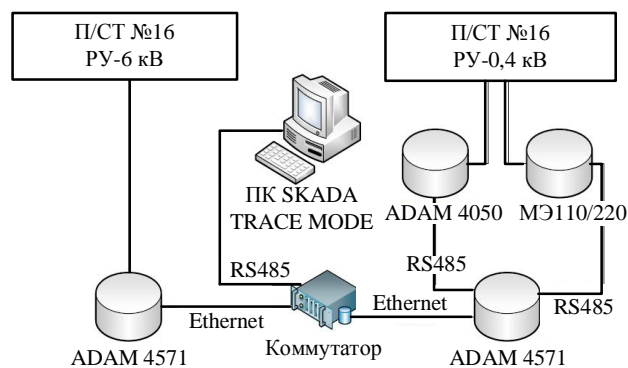


Рис. 1. Структурная схема сбора информации данных для СДК

Методика техникоэкономического обоснования развития систем АСТУЭ на основе оценок устойчивости техноценоза успешно апробирована в различных отраслях [17, 18]. Она позволяет сделать вывод о построении корректной структуры и необходимом количестве планируемых для установления точек учета электрической энергии, а также об отсутствии избыточности информации в создаваемой информационной системе техноценоза при развитии АСТУЭ.

Вторым важным этапом развития СДЭ предприятия в процессе цифровой трансформации является создание экспертной системы оценки состояния силового электрооборудования подстанций, а также наиболее значимых технологических электроприемников.

Крупные интеграторы современных цифровых систем, такие как Siemens, ABB, Schneider Electric, предлагают такие системы «под ключ» с использованием мощных информационно-аналитических платформ. Элементы системы оценки основных параметров оборудования можно построить, используя имеющуюся SCADA-систему на базе АРМ СДК на основе индикативного метода, предложенного в работах [19-21].

Суть метода состоит в том, что оценка работоспособности системы производится согласно разработанной классификации состояний с разделением их по степени аварийности по каждому индикатору, индикативному блоку и в целом по обобщенному состоянию. Анализ состояний выполняется путем сопоставления индикатора или группы индикаторов с соответствующими пороговыми значениями [19].

Для оценки работоспособности в рамках данного исследования были введены три состояния: «нормальное», «предаварийное» и «аварийное» (рис. 2). Комплексная оценка состояния формируется по трем индикативным блокам: «Надежность», «Качество» и «Экологичность». Для определения пороговых уровней индикативных показателей при формировании системы оценки может применен экспертный метод или данные статистического анализа эксплуатационных параметров оборудования.

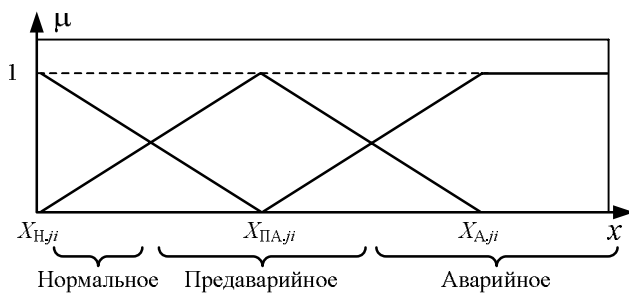


Рис. 2. Примерные характеристические функции состояний [19]

Блок «Надежность» характеризует состояние электрического оборудования по эксплуатационным показателям наработки на отказ и необходим для оптимального планирования всех регламентных работ: технического осмотра, текущего и капитального ремонта. На примере высоковольтных выключателей по данному блоку введено три индикативных показателя (табл. 2):

1. Ресурс коммутационной стойкости выключателя при номинальном токе включения/отключения – определяется по паспортным данным оборудования или экспертным методом.
2. Количество отказов срабатывания вакуумных выключателей – вычисляется на основании статистики аварийных событий.
3. Ресурс до проведения очередного текущего ремонта выключателя – после определенного количества аварийных событий оперативный персонал обязан провести ряд мероприятий, направленных на вывод оборудования из работы и восстановление его характеристик до регламентных значений.

Для оценки характеристик надёжности действующего проведен сбор и обработка статистической отчетности по отказам системы электроснабжения. Среднегодовое количество аварий (параметр потока отказов) определялся как отношение числа отказавших однотипных элементов $n(t)$ к исходному их количеству N_0 при условии, что все вышедшие из строя элементы восстанавливаются [22-24]:

$$\omega(t) = \frac{n(t)}{N_0 t}, \quad (1)$$

где t – расчетный период времени осреднения (в нашем случае 1 год).

Таблица 2

Пороговые значения индикативных показателей по блоку «Надежность»

Индикативный показатель	Состояние	Пороговые значения
1. Ресурс коммутационной стойкости выключателей (кол-во циклов)	нормальное	$0 \leq N \leq 20000$
	предаварийное	$20000 < N \leq 28000$
	аварийное	$28000 < N \leq 30000$
2. Количество отказов срабатывания (ед./год)	нормальное	$0 \leq n \leq 3$
	предаварийное	$3 < n \leq 5$
	аварийное	$5 < n \leq 8$
3. Межремонтный интервал (ч/год)	нормальное	$0 \leq n \leq 7500$
	предаварийное	$7500 < n \leq 8200$
	аварийное	$8200 < n \leq 8760$

Межремонтный интервал T_B рассчитывался как среднее время восстановления [22]:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^r \tau_i}{r}, \quad (2)$$

где r – зафиксированное число отказов системы за отчетный период; τ_i – время восстановления после i -го отказа.

Анализ полученных данных показал, что среднее количество отказов по разным присоединениям составляет от 3 до 5 случаев в год. Значения $\omega(t) = 5 \dots 8$ ед./год признаны аномальными и приняты в качестве пороговых значений аварийного режима (см. табл. 1). Соответственно, $\omega(t) = 3 \dots 5$ ед./год указаны как пороговые значения предаварийного режима.

Аналогичный анализ, проведенный относительно времени восстановления, показал, что принятая система планово-предупредительных ремонтов с периодичностью в один год ($T_B = 8760$ ч) не удовлетворяет требованиям надежности. При существующей интенсивности коммутаций граничным значением нормального режима признан максимальный межремонтный период 7500 ч, а для предаварийного режима – 8200 ч (см. табл. 1).

Блок «Качество» позволяет осуществлять оценку состояния системы электроснабжения по показателям качества электрической энергии на границах балансовой принадлежности согласно ГОСТ 32144-2013 [25]. Соответственно, индикаторы формируются по показателям, указанным в этом стандарте: частоте переменного тока, абсолютной величине, форме и симметрии напряжения и т.д.

Поскольку абсолютную электромагнитную совместимость на реальных производственных объектах обеспечить практически невозможно, максимально допустимый уровень отклонений показателей качества принимают на уровне $\pm 5\%$ (табл. 3). Например, индикативный показатель отклонений (в ГОСТ – «медленных изменений») напряжения в пределах $\pm 5\%$ позволяет контролировать пороги напряжения и своевременно принимать необходимые решения по восстановлению нормального режима.

Пример интерфейса АРМ диспетчера, реализованного через встроенную SCADA-систему, приведен на рис. 3.

Таблица 3

Пороговые значения индикативных показателей по блоку «Качество»

Индикативные показатели	Пороговые значения	
	предаварийного состояния	аварийного состояния
1. Отклонение частоты	$\pm 0,2$ Гц	$\pm 0,4$ Гц
2. Отклонение напряжения	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
3. Коэффициент несимметрии напряжений	2%	4%



Рис. 3. Интерфейс системы оценки состояния параметров оборудования

Допустимый уровень отклонений напряжения и соответствующих им токовых нагрузок фидера визуально выполнен в виде цветных линейек-шкал. Кроме того, для оповещения диспетчера о критических изменениях режима предусмотрена световая сигнализация. Тем самым достигается возможность своевременного реагирования и устранения нежелательных режимов оборудования.

При отклонении величины от заданного значения контролируемый параметр и время отклонения автоматически заносятся в отчетную форму. В зависимости от настроек программы сводный отчет автоматически формируется раз в смену или сутки.

Блок «Экологичность» определяет степень воздействия цеха или предприятия (при отказах системы электроснабжения) в целом на экологическую ситуацию [19-20].

Данный блок контролирует время простоя технологических потребителей, связанное с отсутствием напряжения на фидерах, которые обеспечивают электроснабжение сернокислотного цеха. Запрограммировать SCADA-систему необходимо на время появления нагрузки на данных фидерах. Пороги пределов состояний (табл. 4) определены экспертным методом.

Таблица 4

Пороговые значения индикативных показателей по блоку «Экологичность»

Индикативный показатель	Состояние	Пороговые значения
Время простоя (мин)	нормальное	$0 \leq n \leq 8$
	предаварийное	$8 < n \leq 12$
	аварийное	$12 < n$

Наработка статистики о состоянии оборудования позволяет осуществлять прогнозирование и управлять затратами на ремонт и обслуживание оборудования на предприятии.

Внедрение в 2018 г. новой системы диспетчеризации с мониторингом указанных индикативных показателей в рамках развития диспетчеризации цинкового завода обеспечило сокращение в 2 раза (с 1,5 ч/год до 45 мин/год) времени простоя силового оборудования по причине просадки напряжения и, как следствие, – снижение недоотпуска готовой продукции (серной кислоты) и уменьшение аварийных выбросов сернистого ангидрида в атмосферу. Учитывая, что ставки платы за негативное воздействие на окружающую среду для аварийных и сверхнормативных выбросов возрастают в 25 раз [26], суммы ежегодных «экологических» платежей предприятия после внедрения предложенных мероприятий сократились в 3-4 раза (табл. 5).

Таким образом итоговый среднегодовой ущерб предприятия сократился на 37%, а экономический эффект от внедрения системы составил 1,2 млн руб. /год.

В дальнейшем развиваемые локальные подсистемы диспетчеризации электрохозяйства – СДК коммутационных аппаратов подстанций, АСТУЭ, система планирования и прогнозирования электропотребления – интегрированы в единую информационно-аналитическую платформу предприятия.

Выводы

1. Развитие системы диспетчеризации электрохозяйства является реальным шагом к цифровой трансформации предприятия.
2. Разработанный алгоритм действий по разработке развития системы диспетчеризации электрохозяйства предприятия преобразуется в предпроектное исследование с разработкой технического задания на реализацию предлагаемых технических решений и может быть использован при планировании пилотного локального проекта на уровне подразделения.
3. Элементы системы оценки основных параметров оборудования подстанций можно построить, используя имеющуюся SCADA-систему на базе АРМ СДК на основе индикативного метода.
4. Разработка системы экспертной оценки состояния оборудования подстанций, а также значимого технологического оборудования предприятия дает возможность формировать данные для прогнозирования состояния оборудования и управлять затратами на ремонт и обслуживание оборудования.

Таблица 5

Укрупненный расчет экономического эффекта

Год	Время простоя, ч/год	Недовыпуск серной кислоты, т	Цена продукта, руб./т	Упущенная выгода, тыс. руб.	Плата за выбросы, тыс. руб.	ИТОГО издержки, тыс. руб.
До внедрения	2014	4,3	2100,00	90,297	126,291	216,583
	2015	3,25	2763,00	94,022	81,153	175,175
	2016	3,7	3286,94	179,365	92,389	271,754
После внедрения	2017	1,6	3785,40	96,485	39,950	136,437

Примечание. Выброс сернистого газа при аварийной остановке цеха – 22 т/ч; норма оплаты за выброс сернистого ангидрида – 45,4 руб./т; дополнительный повышающий коэффициент – 25.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шехтман М.Б. Цифровое предприятие: семь отличительных признаков // Информационный портал по энергосбережению «Energoatlas.ru». 29.05.2018. URL: <http://www.energoatlas.ru/2018/05/29/shekman-digital-company>.
2. ИТС 48-2017. Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. М.: Бюро НДТ, 2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456096365>.
3. Bernow S., Biewald B., Marron D. Full-cost dispatch: Incorporating environmental externalities in electric system operation // *The Electricity Journal*. Vol. 4, Issue 2. March 1991. P. 20-33.
4. Zhang B.M. Development of power system control facilities in China // *Electric Power Systems Research*. Vol.44, Issue 1. January 1998. P. 27-33.
5. Bogaschewsky R. Prozeß-orientiertes Management / R. Bogaschewsky, R. Rollberg. Berlin: Springer, 1998. 340 p. [<https://doi.org/10.1007/978-3-642-58918-8>]
6. Osztermayer J., Feser K. Enhanced Competitiveness with a Modern Asset Management System // *Int. Symp. «Modern Electric Power Systems»*. Wroclaw, Sept. 2002. P. 64-69.
7. The Industrial Internet of Things, Volume B01: Business Strategy and Innovation Framework. ИС: PUB:B01:V1.0:PB: 20161115, 2016. P. 20-28.
8. Строгий Т.А., Трофимов А.В., Трофимов В.А. Опыт автоматизации проектирования подсистемы регистрации аварийных событий // *Электрические станции*. 2016. №7. С. 51-55.
9. Гаглоева И.Э. Управление электроэнергетическими объектами на основе оценки их состояния // *Главный энергетик*. 2016. №8. С. 34-42.
10. Трофимов К.С. Система диспетчеризации электроснабжения Комсомольского НПЗ // *Территория Нефтегаз*. 2016. №5. С. 12-14.
11. Белоусенко И.В., Егоров А.В., Малиновская Г.Н. Некоторые вопросы создания АСУ электроснабжением объектов нефтегазового комплекса // *Промышленная энергетика*. 2016. №8. С. 10-15.
12. Кравцов Н., Афанасьев В. Новые решения для повышения эффективности систем технического учета для крупных и средних производственных предприятий // *Технологии в электронной промышленности*. 2016. №8. С. 52-56.
13. Современные проблемы и перспективы формирования модели управления энергохозяйством на предприятиях горно-металлургического комплекса / А.Н. Шеметов, С.В. Федорова, Р.Н. Ляпин, С.В. Кузнецов // *Электротехнические системы и комплексы*. 2016. №4 (33). С. 41-48.
14. Федорова С.В., Худяков П.Ю., Томилин Д.А. Построение диспетчеризации энергохозяйства металлургического предприятия // *Интеллектуальная энергетика на транспорте и в промышленности: материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием*. 2018. С.305-311.
15. Golovinski I.A. Methods of automatic control of the topological state of the equipment of electrical substations // *Modern Applied Science*. 2015. Т.9. №4. P. 53-66.
16. Таврида-электрик. Plug & Play engineering. Принципиально новый подход к инжинирингу. URL: <https://www.tavrida.com/ter/solutions/>
17. Кудрин Б.И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта // *Философские основания технетики. Ценологические исследования*. Вып. 19. М.: Центр системных исследований, 2002. С. 357-412.
18. Федорова С.В., Третьяков А.П. Применение технотехнологического подхода к анализу электропотребления и энергосбережения предприятий Свердловской области // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2012. № 16(275). С. 92-97.
19. Мошинский О.Б. Разработка модели оценки функционального состояния системы электроснабжения мегаполисов: автореф. дис. ... канд. тех. наук / Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург, 2015. 24 с.
20. Кокин С.Е. Энергоинформационные модели функционирования и развития систем электроснабжения больших городов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. Екатеринбург, 2013. 44 с.
21. Хальясмаа А.И., Дмитриев С.А., Кокин С.Е. Система управления техническими активами предприятий электросетевого комплекса // *Промышленная энергетика*. 2014. №2. С. 36-40.
22. Шеметов А.Н. Надежность электроснабжения. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2007. 138 с.
23. Brown R.E., Hanson A.P., H.L. Willis, F.A. Luedtke, Assessing the reliability of distribution systems // *IEEE Computer Applications in Power*, Jan. 2001, vol. 14. P. 44-49.
24. Allan R., Billinton R. Power System Reliability and its Assessment: Part 3, distribution systems and economic considerations // *Power Engineering Journal*. Vol. 7. Issue 4. Aug. 1993. P. 185-192.
25. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.
26. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 №913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/

Поступила в редакцию 11 апреля 2019 г.

INFORMATION IN ENGLISH

DEVELOPMENT OF ELECTRIC FACILITIES DISPATCHING OF INDUSTRIAL ENTERPRISE AS A STEP TO ITS DIGITAL TRANSFORMATION

Svetlana V. Fedorova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, the Head of the Department of Power Engineering, UMMC technical University, Verkhnyaya Pyshma, Russia. E-mail: s.fedorova@ugmk.com.

Andrey N. Shemetov

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, the Head of the Information and Analytical Department, Strategic Planning Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: a.shemetov@magtu.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7184-2190>

The article presents the successful practices of development of dispatching of electric facilities on the example of a number of industrial enterprises of mining and metallurgical complex, implemented through digital transformation. The main directions of improvement of system of dispatching of electric facilities of the enterprises taking into account successful practices on implementation of systems of management of energy resources are formulated. The results of the pilot project of building a dispatching control system at one of the zinc enterprises at the level of the Department – sulfuric acid shop-are described. Reduced downtime of process equipment by more than 25% has been achieved. According to the results of the study at a number of metallurgical enterprises of the current state of their dispatching control system and management of electric facilities, an algorithm for improving dispatching as a new step towards its digital transformation has been developed. The work on the algorithm is transformed into a pre-project study with the development of technical specifications for the implementation of the proposed technical solutions and is a preparation for the planning of a pilot local project at the unit level. The article provides recommendations for replacement of the power equipment of the substation with the digital transformation and justification for the development of system collapse based on the assessment of the sustainability of technocenosis. The paper presents an example of constructing elements of expert system for condition assessment of power equipment of substations, as well as significant technological equipment of enterprises on the basis of the indicative method enabling to generate data to predict equipment condition and control the cost of repairs and maintenance of equipment.

Keywords: dispatching, electrical equipment, algorithm, technocenosis, indicative method, equipment condition assessment, digital transformation.

REFERENCES

- Shekhtman M.B. Digital enterprise: seven distinguishing features // Data portal on energy saving «Energoatlas.ru». 29.05.2018. URL: <http://www.energoatlas.ru/2018/05/29/shekhtman-digital-company>.
- Information and reference book 48-2017. Energy efficiency improvement in business and other activities. Information and reference book on the best available technologies. M.: NDT OFFICE, 2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456096365>.
- Bernow S., Biewald B., Marron D. Full-cost dispatch: Incorporating environmental externalities in electric system operation // The Electricity Journal. Vol. 4, Issue 2. March 1991. P. 20-33.
- Zhang B.M. Development of power system control facilities in China // Electric Power Systems Research. Vol. 44. Issue 1. January 1998. P. 27-33.
- Bogaschewsky R., Rollberg R. Prozeß-orientiertes Management. Berlin: Springer, 1998. 340 p. [<https://doi.org/10.1007/978-3-642-58918-8>]
- Osztermayer J., Feser K. Enhanced Competitiveness with a Modern Asset Management System // Int. Symp. «Modern Electric Power Systems». Wrocław, Sept. 2002. P. 64-69.
- The Industrial Internet of Things, Volume B01: Business Strategy and Innovation Framework. IIC:PUB:B01:V1.0:PB:20161115, 2016. P. 20-28.
- Strogniy T.A., Trofimov A.V., Trofimov V.A. Practical experience of automation of design of failure monitoring system // *Elektricheskie stantsii* [Power stations]. 2016. No. 7. P. 51-55. (In Russian)
- Gagloeva I.E. Control of electrical power plants on the basis of assessment of their state // *Glavnyi energetik* [Chief power engineer]. 2016. No. 8. P. 34-42. (In Russian)
- Trofimov K.S. *Sistema dispetcherizatsii elektrosnabzheniya Komsomolskogo NPZ* [Dispatching system of electric power supply of Komsomolsk oil processing plant] // Oil and gas territory. 2016. No. 5. pp. 12-14. (In Russian)
- Belousenko I.V., Egorov A.V., Malinovskaya G.N. Some issues of developing automatic control systems of electric power supply for oil and gas enterprises // *Promyshlennaya energetika* [Industrial power engineering]. 2016. No. 8. P. 10-15. (In Russian)
- Kravtsov N., Afanasiev V. New solutions to improve the efficiency of technical record-keeping systems for large and medium industrial enterprises // *Tehnologii v elektronnoy promyshlennosti* [Technology in electronics manufacturing industry]. 2016. No.8. P. 52-56. (In Russian)
- Shemetov A.N., Fedorova S.V., Lyapin R.N., Kuznetsov S.V. Modern issues and prospects of forming a control model of the power department at mining and smelting enterprises // *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2016. No.4(33). P. 41-48. (In Russian)
- Fedorova S.V., Hudyakov P.Yu., Tomilin D.A. Development of dispatching control of the power supply department of a smelter // *Intellektualnaya energetika na transporte i v promyshlennosti* [Smart power engineering in transportation and industry]: papers of all-Russian youth scientific conference. 2018. P. 305-311. (In Russian)
- Golovinskii I.A. Methods of automatic control of the topological state of the equipment of electrical substations // *Modern Applied Science*. 2015. Vol. 9, No. 4. P. 53-66.
- Tavrida-electrician. Plug & Play engineering. Conceptually new approach to engineering. URL: <https://www.tavrida.com/ter/solutions/>
- Kudrin B.I. Mathematics of cenosis: kinds, ranks, ranks in accordance with the parameter of hyperbolical H-distribution and Lotka's law, Zipf's law, the Pareto principle, Mandelbrot's law // *Filosofskie osnovaniya tehniki. Tsenologicheskie issledovaniya* [Philosophic fundamentals of technetics. Cenological investigations]. Issue. 19. M.: Center of system research, 2002. P. 357-412. (In Russian)
- Fedorova S.V., Tretyakov A.P. Making use of technocenological approach to analysis of power consumption and energy saving of Sverdlovsk region enterprises // *Vestnik Yuzno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South-Ural state University]. Series: Power engineering. 2012. No. 16(275). P. 92-97. (In Russian)
- Moschinskiy O.B. *Razrabotka modeli otsenki funktsionalnogo sostoyaniya sistemy elektrosnabzheniya megapolisov* [Development of the model to assess the state of the power supply systems of metropolitan cities Разработка модели оценки функционального состояния системы электро-снабжения мегаполисов]: abstract of a Ph.D. diss. / Ural Federal University named after the first president of Russia B.N. Yeltsin. Yekaterinburg, 2015. 24 p.
- Кокин С.Е. *Energo-informatsionnye modeli funktsionirovaniya i razvitiya sistem elektrosnabzheniya bolshih gorodov* [Power and information models of operation and development of electric power supply systems of large cities]: abstract of a Ph.D. diss. / Ural Federal University named after the first president of Russia B.N. Yeltsin. Yekaterinburg, 2013. 44 p.
- Halyasmaa A.I. Control system of technical assets of electricity supply network companies / A.I. Halyasmaa, S.A. Dmitriev, S.E. Kokin A.I. // *Promyshlennaya energetika* [Industrial power engineering]. 2014. No. 2. P. 36-40. (In Russian)
- Shemetov A.N. *Nadezhnost elektrosnabzheniya* [Reliability of electric power supply]. Magnitogorsk: Publishing center of Nosov State Technical University, 2007. 138 p. (In Russian)

-
23. Brown R.E., Luedtke F.A., Born M.F. Assessing the reliability of distribution // *IEEE Computer Applications in Power*, Jan. 2001. Vol. 14. P. 44-49.
 24. Allan R., Billinton R. Power System Reliability and its Assessment: Part 3, distribution systems and economic considerations // *Power Engineering Journal*, Vol. 7. Issue 4. Aug. 1993. P. 185-192.
 25. GOST 32144-2013. Quality standards of electric energy in general purpose electric power supply systems. M.: Standartinform publ., 2014. 20 p. (In Russian)
 26. RF Government Ordinance as of 13.09.2016 no. 913 «The rates of charge for negative influence on environment and extra coefficients» – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/
-

Федорова С.В., Шеметов А.Н. Развитие диспетчеризации электрохозяйства промышленного предприятия как шаг к его цифровой трансформации // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. № 3(44). С. 27-33. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3\(44\)-27-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3(44)-27-33)

Fedorova S.V., Shemetov A.N. Development of Electric Facilities Dispatching of Industrial Enterprise as a Step to its Digital Transformation. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 3(44), pp. 27-33. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3\(44\)-27-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3(44)-27-33)
