

**В. Д. Павлидис**, канд. физ.-мат наук, профессор,  
**М. В. Чкалова**, канд. техн наук, доцент,  
**А. М. Осипова**, канд. техн наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»,  
г. Оренбург

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

**Ключевые слова:** система мониторинга, модернизация, качественные показатели, рабочие параметры сети

**Key words:** monitoring system, modernization, quality indicators, network operating parameters

**Аннотация.** Статья посвящается поиску технического решения проблемы повышения эффективности управления рабочими параметрами электрической сети на электроподстанции сельского района в рамках проекта по модернизации системы мониторинга в производственном отделении ПАО «Россети Волга»

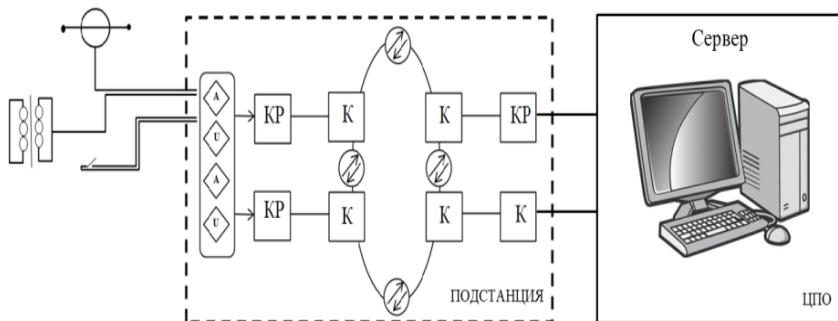
**Abstract.** The article is devoted to the search for a technical solution to the problem of improving the efficiency of managing the operating parameters of the electric network at an electric substation in a rural area as part of a project to modernize the monitoring system in the production department of «ROS-SETI Volga»

Развитие современного сельскохозяйственного производства требует обеспечения электроэнергетических систем надежным и эффективным мониторингом рабочих параметров электрической сети. Автоматизированные системы мониторинга предоставляют операторам электросети необходимую информацию для контроля и управления работой сети, определения нарушений и решения проблем, связанных с электроснабжением сельхозпроизводителей. Однако существующие системы мониторинга устаревают со временем, не обеспечивают требуемую точность и скорость сбора и анализа данных [1,2]. Исследование проводилось в рамках проекта по модернизации системы мониторинга службы СИТиСДТУ в производственном отделении Оренбургского района филиала ПАО «Россети Волга».

Целью данной работы является повышение эффективности системы мониторинга рабочих параметров электрической сети на электроподстанции Оренбургского района.

Авторами был проведен анализ системы мониторинга данной подстанции и дано обоснование необходимости ее модернизации; получено инженерно-техническое решение, построена модель системы мониторинга рабочих параметров электрической сети; проведены расчеты качественных показателей системы мониторинга до и после модернизации [2,3,4].

Рассмотрим систему передачи рабочих параметров от подстанции на диспетчерский пункт в ПО Оренбургского района (рисунок 1).



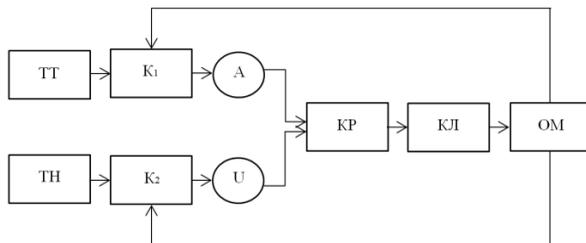
**Рисунок 1.** Существующая принципиальная схема системы мониторинга: *A* – амперметр, *U* – вольтметр, *КР* – коммутатор, *КЛ* – контроллер

На электроподстанции имеются датчики и измерительные приборы, которые контролируют состояние и параметры оборудования. Полученные данные передаются на контроллер, который преобразует сигналы в цифровой формат и передает их по каналу связи на диспетчерский пункт. Оператор может наблюдать за параметрами оборудования на электроподстанции и принимать решения в случае возникновения аварийных или нештатных ситуаций.

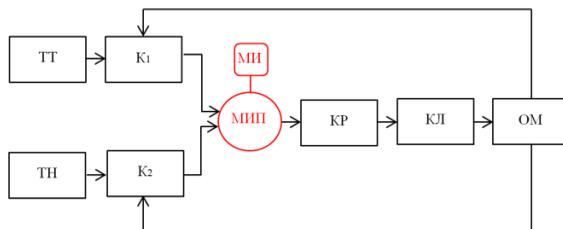
Анализ технической документации позволил найти техническое решение, устраняющее применение нескольких приборов в комплектном распределительном устройстве (КРУ) в отсеке вторичных коммутаций (рисунок 2 а,б):

- замена существующих цифровых приборов амперметра и вольтметра на многофункциональный измерительный преобразователь класса точности 0,5S;
- установка на фасад двери блока индикации для отображения всех параметров.

а)



б)



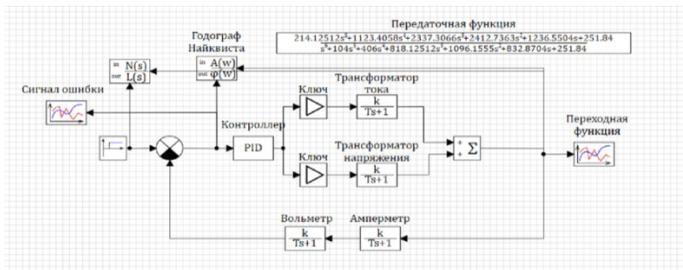
**Рисунок 2. Функциональная схема системы мониторинга** а) до модернизации, б) после модернизации: ТТ – трансформатор тока, ТН – трансформатор напряжения, МИП – многофункциональный измерительный прибор, МИ – модуль индикации, КР – коммутатор, КЛ – контроллер, ОМ – объект мониторинга

В соответствии с техническим заданием одним из основных критериев выбора оборудования для системы мониторинга являлась многофункциональность аппаратного средства автоматизации: МИП ЭНИП-2 программируется в среде «ОИК Диспетчер НТ». В качестве модулей расширения входных и выходных сигналов рекомендуется к использованию цифровых интерфейсов Ethernet 100BaseTX. Основным интерфейсом ЭНИП-2 является Ethernet. Преобразователь имеет 3 порта. Это позволяет использовать различные сетевые топологии, а также применять МИП в качестве шлюза между ПС и сетью предприятия.

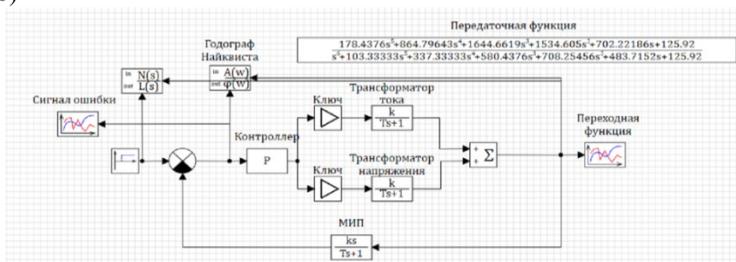
Регулирование измерительным преобразователем осуществляется с помощью модуля индикации ЭНМИ-3.

В соответствии с предложенным техническим решением была построена структурная схема системы мониторинга в среде динамического моделирования SimInTech (рисунок 3).

а)



б)



**Рисунок 3. Структурная схема системы мониторинга рабочих параметров электросети а) до модернизации, б) после модернизации**

В качестве математической модели автоматизированной системы мониторинга (АСМ) рассматривалась обобщенная передаточная функция. Оценки качественных показателей системы мониторинга (степень устойчивости, время регулирования, динамическая ошибка регулирования) были получены корневым методом [3,4,5] (таблица 1).

**Таблица 1. Качественные показатели систем мониторинга до и после модернизации**

Оценки качественных показателей	АСМ до модернизации	АСМ после модернизации
Корни характеристического многочлена	$S_1 = -0,22 + 1,44i$ $S_2 = -0,22 - 1,44i$ $S_3 = -0,82 + 0i$ $S_4 = -1 + 0i$ $S_5 = -1,36 + 0i$ $S_6 = -100,02 + 0i$	$S_1 = -1,5 + 1,31i$ $S_2 = -1,5 - 1,31i$ $S_3 = -1,63 + 0i$ $S_4 = -1,82 + 0i$ $S_5 = -1,33 + 0i$ $S_6 = -100,01 + 0i$
Степень устойчивости, $\eta$	0,22	1,5
Время регулирования $t_p$ , с	13,6	2

Оценим надежность АСМ через динамическую ошибку регулирования параметра оптимизации после модернизации:

$\delta < e^{\frac{-3,14}{0,9}} \cdot 100\% = 3\%$ , динамическая ошибка находится в пределах от 0 до 3%. Это говорит о высокой надежности системы мониторинга. Оценим эффективность технической системы после модернизации через структурные компоненты: производительность; энергопотребление; качество передачи сигналов [5] (таблица 2).

**Таблица 2. Основные технические характеристики функциональных элементов системы мониторинга до и после модернизации**

Технические характеристики	Показатели эффективности	Амперметр	МИП
Мощность, потребляемая от источника питания	Энергопотребление	4 Вт	0,1 Вт
Погрешность измерения	Качество	0,5%	±0,2 %
Общее время отклика	Производительность	0,15с	0,04с

Нормируем табличные значения по максимуму для масштабирования, чтобы они находились в интервале от 0 до 1:  $X_{\text{норм}} = \frac{X}{X_{\text{max}}}$ , где X – это значение, которое хотим нормировать;  $X_{\text{max}}$  – это максимальное значение из всех значений, которое хотим нормировать.

**Таблица 3. Нормированные значения основных технических характеристик функциональных элементов системы мониторинга до и после модернизации**

Показатели эффективности	Амперметр	МИП
Энергопотребление	$\frac{4 \text{ Вт}}{4 \text{ Вт}} = 1$	$\frac{0,1 \text{ Вт}}{4 \text{ Вт}} = 0,025$
Качество	$\frac{0,5}{0,5} = 1$	$\frac{0,2}{0,5} = 0,4$
Производительность	$\frac{0,15 \text{ с}}{0,15 \text{ с}} = 1$	$\frac{0,04 \text{ с}}{0,15 \text{ с}} = 0,267$

Рассчитаем эффективность замены амперметра на МИП как степень использования системой своих ресурсов для выполнения своих функций.

Энергопотребление: переход от 4 Вт до 0,1 Вт экономит 3,9 Вт:  
 $\frac{(4 \text{ Вт} - 0,1 \text{ Вт})}{4} = 0,975$  или 97.5%.

Качество: уменьшение погрешности с 0.5 до 0.2 улучшает качество на 0,3 ед.:  $\frac{(0,5-0,2)}{0,5} = 0,6\%$  или 60%.

Производительность: уменьшение времени отклика с 0.15 с до 0.04 с повышает быстроту отклика на 0,09 с:  $\frac{(0,15 \text{ с}-0,04 \text{ с})}{0,04 \text{ с}} = 0,7333$  или 73.33%.

Тогда средняя эффективность замены амперметра на МИП, определяется следующим образом:  $\Xi = \frac{(97,6\%+60\%+73,33\%)}{3} = 76,94\%$ .

Таким образом, модернизация системы мониторинга заключалась в замене имеющихся элементов оборудования на более современные на основе повышения функциональности и информативности. Совокупность этих функциональных элементов образует самостоятельную подсистему, модернизация которой должна улучшить производительность всей системы мониторинга и, как следствие, эффективность системы мониторинга.

Проведенный расчет эффективности замены амперметра на МИП подтверждает индуцированное влияние повышения эффективности в подсистеме выбранных элементов оборудования на эффективность всей системы мониторинга.

#### **Список использованной литературы**

1. Технические требования к системам мониторинга и управления рабочими параметрами электрической сети. – М.: Энергопром, 2016.
2. Лаврухин А.А., Малютин А.Г., Васеева Т.В. Повышение эффективности информационно-измерительного комплекса автоматизированной системы мониторинга и учета электроэнергии. – Омск. – 2018. – №4(36) – С.6-7.
3. D.P. Kothari, I.J. Nagrath. "Modern Power System Analysis". McGraw Hill Education, 2013 год.
4. J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas Overbye. "Power System Analysis and Design". Cengage Learning, 2016 год.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661064 Российская Федерация. Программа расчета инженерной эффективности модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом: № 2023660254: заявл. 22.05.2023: опубл. 29.05.2023 / В. Д. Павлидис, М. В. Чкалова, К. В. Скопинцев, А. А. Степанов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный аграрный университет".