

3. Гашо Е.Г., Кондрахов В.А. Повышение эффективности и безопасности энергосистемы Калининградской области за счёт возобновляемых источников энергии // Энергетические системы. 2019. № 1. С. 224-230.

4. Система государственного стимулирования хранения электроэнергии в России [Сайт]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/489> (дата обращения: 27.09.22)

5. Отчет о функционировании ЕЭС в России в 2021 году. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/tech-disc/tech-disc2022/tech-disc2022ups/> (дата обращения: 28.09.22)

6. Рычков В.В., Вишнякова К.В., Солдатенкова Е.И., Трубаев П.А. Оценка величины вырабатываемой электроэнергии ветряными электростанциями в Белгородской области // Энергетические системы. 2016. № 1. С. 132-138.

7. Рычков В.В., Солдатенкова Е.И., Трубаев П.А. Оценка величины вырабатываемой электроэнергии солнечными электростанциями в Белгородской области // Энергетические системы. 2016. № 1. С. 138-141.

8. Аляутдинова Ю.А. Использование солнечной энергии для снижения теплопотерь здания // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 11. С. 47-52.

9. Свалова В.Б. Альтернативная энергетика: проблемы и перспективы // Мониторинг. Наука и технологии. 2015. №3. С. 82-97.

10. Бухмиров В.В., Солнышкова Ю.С., Савельева М.А. Биоэнергетическая станция "Эковольтагро" для переработки органических отходов // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 1 (18). С. 60-69.

УДК 620.9: 303.094.7

Семи́н Д.И.

Научный руководитель: Гибадуллин Р.Р., канд. техн. наук, доц.

Казанский государственный энергетический университет,

г. Казань, Россия

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРОБОРУДОВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ НА ПРИМЕРЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

На сегодняшний день техническое обслуживание электрооборудования на предприятиях осуществляется по одной из трех

стратегий: обслуживание по событию, по регламенту и по состоянию.

Обслуживание по регламенту – самая распространенная стратегия, но она имеет свои минусы.

Сегодня за графики обслуживания и ремонтов оборудования в энергетике ответственны производитель оборудования или надзорный государственный орган. Именно они определяют и утверждают графики ремонтов. Иногда бюджетные ограничения приводят к тому, что ремонт по регламенту становится ремонтом по событию. То есть, оборудование обслуживается по факту возникновения аварии [1].

Выход из этой ситуации – это цифровизация производства, предиктивная аналитика, непрерывный мониторинг технического состояния оборудования и переход к обслуживанию по состоянию [2].

Концепцию обслуживания по состоянию можно объяснить на примере так называемой P-F кривой, изображенной на (рисунке 1).

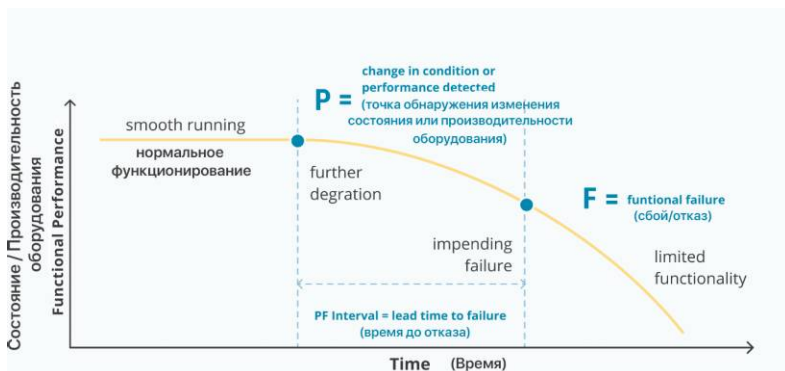


Рис. 1 P-F кривая

Кривая упрощенно изображает жизненный цикл оборудования. В определенный момент состояние оборудования доходит до момента, когда его состояние изменилось настолько, что дефект можно было обнаружить на стадии развития, еще до того, как он привел к отказу. На графике это точка P. Если дефект не устранить на этом этапе, он будет развиваться до тех пор, пока не произойдет отказ оборудования, требующий его замены или существенной замены деталей (точка F). Выходит, что PF – это временной интервал развития дефекта, в течение которого его можно устранить с наименьшими потерями. Проблема заключается в том, что интервал PF может иметь разную продолжительность[3].

Таким образом, если на предприятии применяется система планово-предупредительных ремонтов, то их интервал может не

совпасть с интервалом PF, и возможность раннего устранения дефекта будет потеряна.

Применяя же стратегию обслуживания по состоянию, возможно непрерывно следить за техническим состоянием объекта мониторинга. Это достигается путем установки на оборудовании датчиков, измеряющих показатели на основных его элементах [4].

Чтобы иметь возможность прогнозирования дефектов, можно обратиться к технологии цифрового двойника. Цифровой двойник – это виртуальный аналог физического устройства, предприятия или процесса, который существует в реальности. Данная технология моделирует процессы, технические характеристики и поведение реальных объектов, учитывая условия окружающей среды. Для работы цифрового двойника как раз и необходима информация с датчиков, установленных на реальных объектах.

Модель объекта или предприятия создается с помощью специального программного обеспечения и называется имитационной моделью. Далее на примере имитационной модели технического обслуживания ветряных турбин будут показаны открывающиеся возможности.

В программном продукте “AnyLogic” была разработана простая имитационная модель ветряной электростанции, в которой требовалось осуществить контроль за состоянием ветряных турбин и автоматическое принятие решений исходя из полученных данных [5].

Модель состоит из 10 ветряных турбин, случайно расположенных в пространстве и одновременно работающих. Было задано поведение этих турбин, предусматривающее три состояния: нормальное, с развивающимся дефектом и состояние отказа. На (рисунке 2) изображен интерфейс программы на данном этапе с функциональной диаграммой состояний турбины.

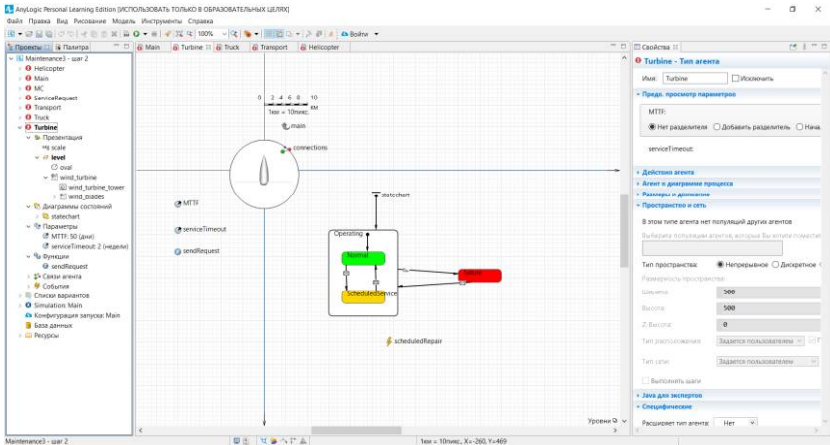


Рис. 2 Диаграммы состояний турбины

При переходе турбины из нормального состояния в любое из оставшихся, требуется вмешательство. Поэтому задана логика ремонта (рисунок 3).

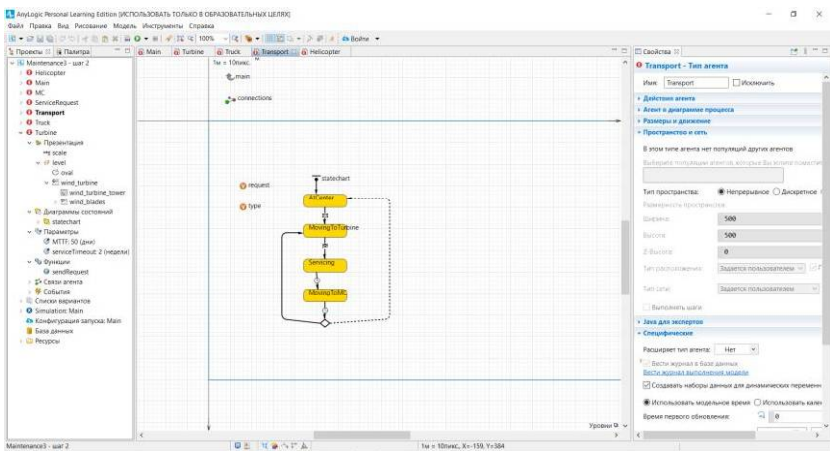


Рис. 3 Задание логики ремонта

При переходе в состояние с развивающимся дефектом, датчик с турбины отправляет сигнал в сервисный центр, и к турбине направляется ремонтная бригада. А при переходе в состояние отказа, отправляется другой сигнал, требующий срочного ремонта, и тогда к

турбине направляется специально обученный персонал, обладающий необходимыми навыками (быстрое реагирование).

Поведение агентов, отвечающих за техническое обслуживание ветряных турбин, задано аналогичным образом, с помощью диаграмм состояний. Это состояния, соединенные переходами. Переходы работают по заданным условиям. Так, например, в создаваемой модели ремонтные бригады находятся в сервисном центре на старте работы модели. Затем при получении сообщения от турбины об изменении состояния, к турбине отправляется бригада. По прибытии происходит «обслуживание» в течение заданного времени, после чего бригада отправляется обратно в центр.

В итоге, создана простая имитационная модель. На данном этапе ее возможности не столь широки, но в дальнейшем планируется развить их. Можно учесть тип деталей, требующих ремонта, добавить логику прогнозирования технического состояния, создать систему вывода данных в удобную среду, например, в MS Excel. В данный момент программа регистрирует время работы системы и все события в отдельном окне справа (рисунок 4).

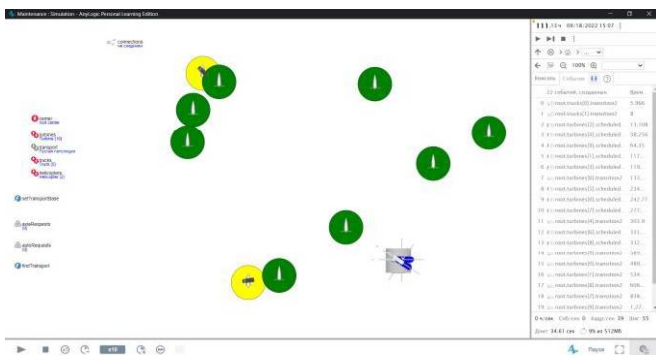


Рис. 4 Интерфейс разработанной имитационной модели

Таким образом, имея эффективный процесс сбора, анализа данных и принятия решений, можно повысить продолжительность жизненного цикла оборудования, сократить расходы на ремонт при критических отказах и повысить энергоэффективность не только оборудования, но и предприятия в целом. Технология цифрового двойника, основанная на переносе реального объекта со всеми его свойствами в цифровое пространство – это одна из перспективных и развивающихся ступеней перехода к техническому обслуживанию оборудования по состоянию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hupje E. 9 Types of maintenance: How to choose the right maintenance strategy / E. Hupje // roadtoreliability.com, 2019. – URL: <https://roadtoreliability.com/types-of-maintenance/> (дата обращения: 01.10.2022).
2. Кораблев А.В. Ключевые функциональность и преимущества использования цифровых двойников в промышленности / А.В. Кораблев // digital-economy.ru, 2018. – URL: http://digital-economy.ru/images/easyblog_articles/481/DE-2019-02-01.pdf (дата обращения: 02.10.2022).
3. Бочаров Е.П., Алексенцева О.Н., Ермошин Д.В. Имитационная модель производственного процесса как элемент системы управления промышленным предприятием / Е.П. Бочаров, О.Н. Алексенцева, Д.В. Ермошин // cyberleninka.ru – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnaya-model-proizvodstvennogo-protsessa-kak-element-sistemy-upravleniya-promyshlennym-predpriyatiem/viewer> (дата обращения: 03.10.2022).
4. Усанов, Д.И. Имитационная модель оценки производственных мощностей Аксуского завода ферросплавов / Д.И. Усанов // cyberleninka.ru, 2020. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnaya-model-otsenki-proizvodstvennyh-moschnostey-aksuskogo-zavoda-ferrosplavov/viewer> (дата обращения: 04.10.2022).
5. Григорьев И. Anylogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию / И. Григорьев // anylogic.ru, 2015. – URL: <https://www.anylogic.ru/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials> (дата обращения: 01.10.2022).

УДК 662.998

Туляков Е.И.

*Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, Белгород*

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ РУЛОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ВСПЕНЕННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Из-за погодных особенностей постоянное обеспечение населения и индустрии тепловой энергией в России является важной социальной и экономической проблемой. На сегодняшний день отпуск тепловой