



Pavel SOROKIN, Alexey MISHIN

УСТОЙЧИВОСТЬ БАШЕННЫХ КРАНОВ ОТ ОПРОКИДЫВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОРЫВОВ ВЕТРА

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы проектирования системы управления устойчивостью башенных кранов при воздействии на них ветровой нагрузки. Способ сохранения устойчивости кранов основан на использовании искусственной нейронной сети. Целью предлагаемой системы является корректировка положения стрелы крана в зависимости от порывов ветра.

ВВЕДЕНИЕ

При выполнении подъемно-транспортных операций башенными кранами на строительной площадке главным критерием является безопасность проведения данных работ. Поэтому предъявляются соответствующие требования как к механизмам и металлоконструкции крана, так и к системе управления рабочими операциями. Современная система управления грузоподъемными машинами должна обеспечивать: безопасность проведения работ, управление и регулирование погрузочно-разгрузочными операциями, контроль параметров крана, выдачу сигнала управления на исполнительные органы, способность прогнозирования параметров внешних факторов и адаптацию алгоритмов управления к возмущающим воздействиям. К основным причинам падений кранов следует отнести: нарушение требований к изготовлению основных узлов и металлоконструкций, некачественный монтаж крана на месте проведения работ, нарушение правил техники безопасности и требований эксплуатации, отказ приборов и устройств безопасности, воздействие на кран порывов ветра, ведущих к опрокидыванию крана. Данное исследование посвящено устойчивости башенных кранов от опрокидывания при воздействии на них случайной ветровой нагрузки. Кроме основных нагрузок, учитываемых при проектировании грузоподъемных кранов [1], для башенных кранов актуальной также является ветровая нагрузка. Согласно [2] ветровую нагрузку на кран различают для рабочего и нерабочего состояний. За нагрузку рабочего состояния принимают предельную нагрузку от ветра, при которой кран способен выполнять рабочие операции при номинальном грузе. Нагрузку рабочего состояния учитывают при расчете металлоконструкций на прочность, мощностей двигателей, при выборе тормозов, а также при расчете грузовой устойчивости. Ветровая нагрузка нерабочего состояния – предельная нагрузка, действующая на кран, на которую должны быть рассчитаны элементы крана. Ее

учитывают при расчете металлоконструкций на прочность, при выборе противоугольных захватов и при расчете собственной устойчивости. Ветровая нагрузка представляет собой случайные колебания с амплитудами и фазами, представляющие собой недетерминированные величины, поэтому ветровое нагружение кранов является стохастическим процессом. Прочность металлоконструкции кранов имеют значительный запас, а порывы необходимо учитывать при проектировании системы безопасности, т.к. порывы ветра вызывают значительное увеличение опрокидывающего момента от ветровой нагрузки.

На сегодняшний день основными приборами безопасности, контролирующими работу крана, являются ограничитель грузоподъемности (далее ОГП) и анемометр. В данных приборах при превышении параметра (номинального груза и скорости ветра рабочего состояния соответственно) выше допустимого значения происходит подача сигнала (звукового и/или светового) оператору о прекращении работы и далее необходим перевод машины в нерабочее состояние. Т.е ОГП и анемометр работают только в индикаторных режимах и при возникновении опасной ситуации возможен только спуск груза (при срабатывании ОГП) либо перевод грузоподъемного крана в нерабочее состояние (при возникновении опасных порывов ветра). Актуальным направлением является проектирование систем управления активного действия необходимые для непосредственного управления устойчивостью от опрокидывания кранов. Системы управления для предотвращения опрокидывания крановой установки могут базироваться на современных методах теории автоматического управления таких как, нечеткое управление, робастное управление, управление «по производной», нейро-нечетное управление, нейросетевое управление.

1. АКТИВНОЕ И ПАССИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ ПОВОРОТА

Новизна проекта заключается в разработке активной системы управления устойчивостью против опрокидывания башенных кранов. Объектом управления является привод механизма поворота. Активное управление основано на обеспечении принудительного поворота стрелы в зависимости от будущего значения скорости и направления ветра для уменьшения нагрузки, обусловленной порывами ветра. Исследование распространяется на стационарные опорные и передвижные башенные краны.

Известна схема, основанная на пассивном управлении, в которой привод поворота состоит из электродвигателя, гидродинамической муфты, редуктора и опорно-поворотного устройства. В качестве алгоритма управления используется метод нечеткой логики и при возникновении скорости ветра рабочего состояния выше допустимого значения контроллер формирует сигнал для размыкания гидродинамической муфты для поворота стрелы по направлению действия ветра (рис. 1). По мере поворота стрелы возрастает давление ветра на металлоконструкцию крана, что дополнительно ее нагружает и ведет к увеличению момента опрокидывания от ветровой нагрузки. Актуальным направлением является проектирование активной системы управления для принудительного управления приводом поворота, в которой поворот осуществляется по наименьшей траектории для минимизации наветренной площади и нагрузки, действующей от ветра.

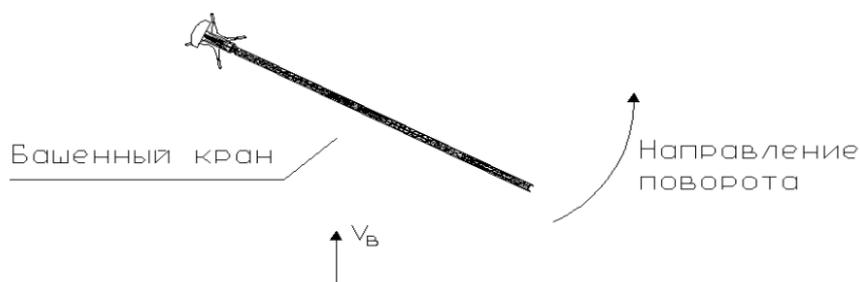


Рис. 1. Схема поворота стрелы при пассивном управлении

Способ обеспечения устойчивости башенных кранов от опрокидывания при нестационарном во времени воздействии ветровой нагрузки базируется на использовании нейросетевого алгоритма.

Система управления (рис. 2) состоит из программируемого логического контроллера (1), формирующего команды управления; платы расширения (2), интегрированной в контроллер, для обработки данных на основе методов искусственного интеллекта; панели оператора (3) для настройки и диагностики системы, мониторинга, индикации и архивации параметров ветрового воздействия; блока питания (4); группы датчиков - положения стрелы (5), направления ветра (6), скорости ветра (7); исполнительных устройств (8) - катушек реле и контакторов, устройств звуковой и световой индикации; преобразователя частоты (9) с векторным управлением с обратной связью по скорости, реализуемой с помощью энкодера (10); электродвигателя (11); редуктора (12); электромагнитной фрикционной муфты (13) для обеспечения устойчивости в нерабочем состоянии и опорно-поворотного устройства (14).

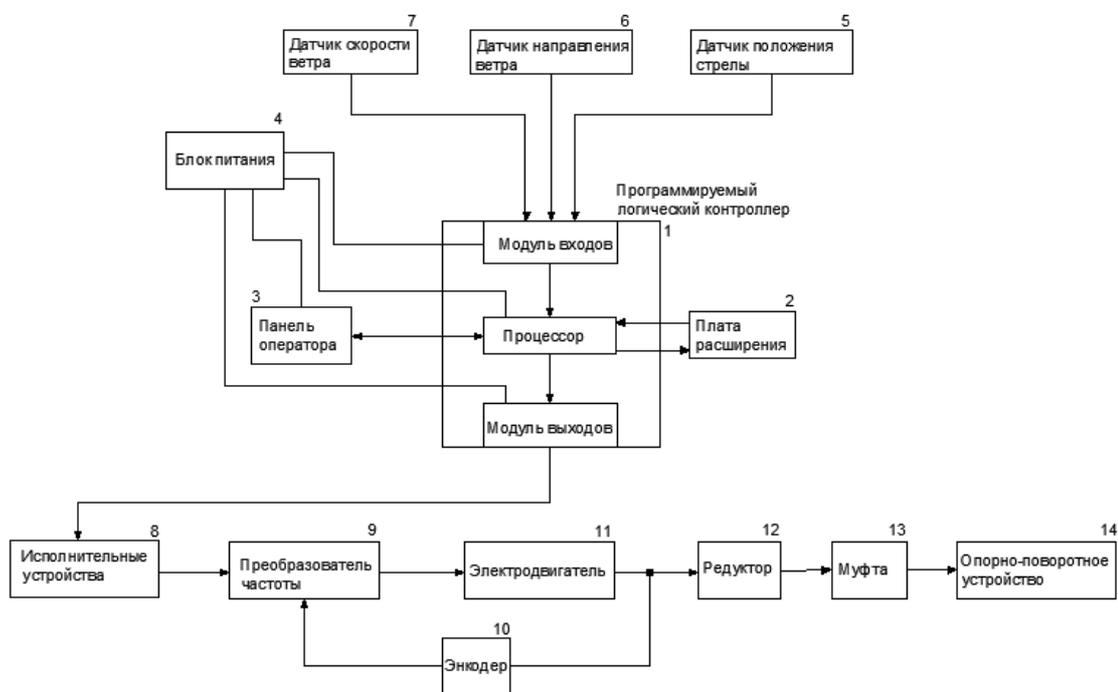


Рис. 2. Структурная схема системы безопасности

Для достижения требуемого качества прогнозирования нейронную сеть необходимо обучить в стационарных условиях на основе значений из базы данных максимальных скоростей ветра в районе установки крана.

Принцип работы активной системы в рабочем состоянии крана заключается в следующем: с начала эксплуатации крана происходит регистрация показаний скорости и направления ветра и с момента получения новых данных нейронная сеть, продолжая обучаться, прогнозирует будущее значение скорости ветра. В штатном режиме при скорости ветра меньше критической на панели оператора выводится сообщение о нормальном режиме работы. При прогнозировании опасного порыва, т.е. обладающего значительной энергией и превышающего допустимую скорость, происходит индикация на панели оператора об аварийной ситуации, включается сирена и контроллер выдает сигнал управления, поступающий на исполнительные устройства, для корректировки стрелового устройства по направлению будущего порыва ветра. Этим обеспечивается уменьшение давления от ветровой нагрузки на металлоконструкцию крана, и поворот стрелы производится до того как опрокидывающий момент от ветровой нагрузки достигнет предельного значения.

В схеме активного управления поворот осуществляется по следующей схеме (рис. 3), в которой траектория поворота стрелы минимальна.

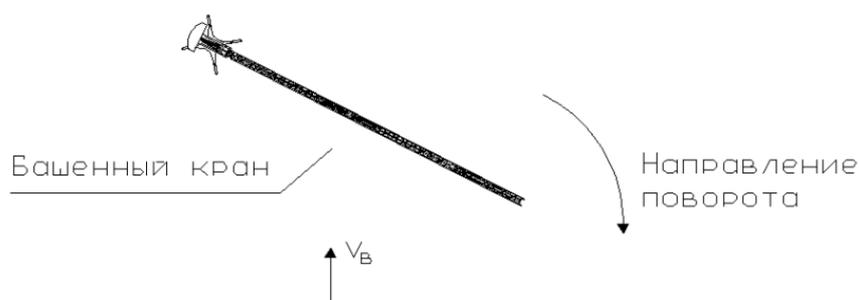


Рис. 3. Схема поворота стрелы при активном управлении

В нерабочем состоянии устойчивость против опрокидывания обеспечивается за счет внедрения электромагнитной фрикционной муфты между редуктором и опорно-поворотным устройством и после окончания работы при снятии питания муфта размыкается, т.е. нарушается механическая связь: редуктор – муфта – опорно-поворотное устройство. При этом уменьшается сопротивление при принудительном повороте стрелового устройства по преобладающему направлению ветра.

2. ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ СИСТЕМЫ

Мы предлагаем следующие варианты привода поворота, на которых возможна реализация данной системы.

Вариант 1 - Привод поворота состоит из основного привода, работающего в штатном режиме, и вспомогательного, который включается при опасном прогнозировании скоростного напора для корректировки положения стрелы с целью минимизации наветренной площади. Система управления построена на основе программируемого логического контроллера (ПЛК). Вспомогательный привод замкнут обратной связью по скорости с помощью энкодера, сигнал с которого поступает на ПЛК. ПЛК вырабатывает сигналы управления, поступающие на приводы. Для основного привода применяется электродвигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором. В качестве двигателя вспомогательного привода возможно использование как двигателя с короткозамкнутым ротором, так и двигателя постоянного тока. Муфты в приводах используются для включения соответствующего привода. Предлагается в качестве муфт использовать электромагнитные муфты скольжения. В приводе предусмотрена взаимная блокировка, исключая

одновременное срабатывание двух приводов. В рабочем состоянии устойчивость обеспечивается выдачей сигнала управления на вспомогательный привод (основной привод отключается от питающей сети). В нерабочем состоянии следует отключить питание крана, муфта расцепится, и под действием ветра стрела самоустановится по направлению ветра (рис. 4).

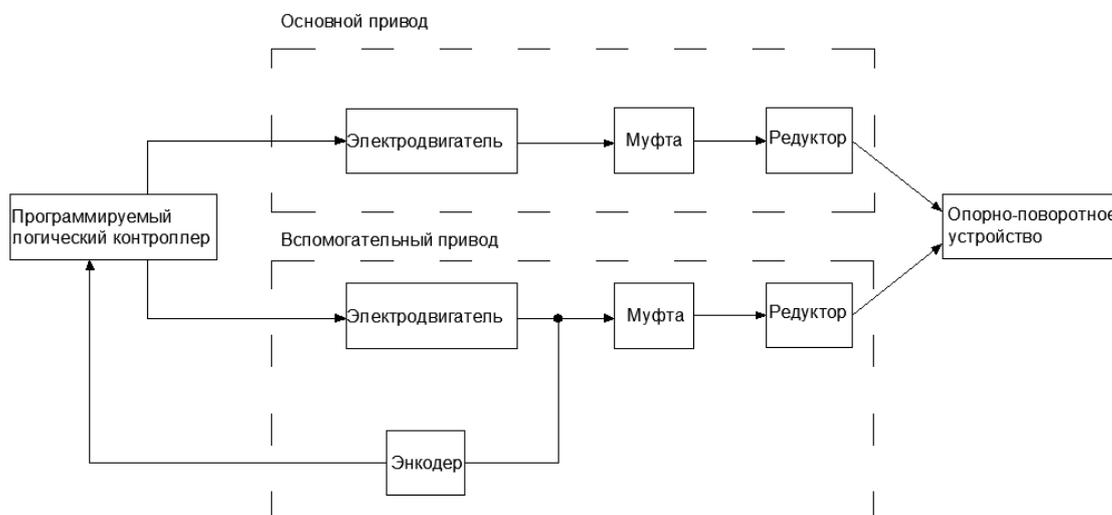


Рис. 4. Структурная схема с двумя приводами в механизме поворота

Вариант 2 - Привод с частотным регулированием с обратной связью по скорости, управляемый от ПЛК. При прогнозировании опасных порывов выдается сигнал от ПЛК, поступающий на вход преобразователя частоты, и алгоритм векторного управления обеспечивает поворот стрелы для уменьшения ветрового давления. В схеме необходимо применить электромагнитную фрикционную муфту для обеспечения устойчивости крана в нерабочем состоянии, т.е. при снятии питания крана муфта размыкается, и кран поворачивается по преобладающему направлению ветрового потока. Для устойчивости в рабочем состоянии ПЛК формирует управляющие сигналы в соответствии с заложенной программой, поступающие на двигатель поворота (рис. 5).

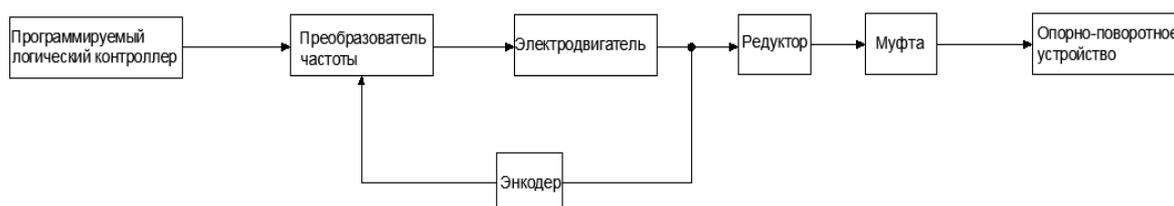


Рис. 5. Структурная схема с одним приводом в механизме поворота

Практически схема может быть реализована на основе промышленной сети Profibus (рис. 6). Схема состоит из станции удаленного ввода/вывода - распределенной периферии, на модуль входов которой заведены контакты датчиков (анемометра, направления ветра, положения стрелы) и контакты джойстиков пульта управления. На зажимы модуля выходов подключены исполнительные устройства - катушки контакторов и реле. Преобразователь частоты управляется по сети от процессора, который вырабатывает требуемый сигнал. Панель оператора, подключенная к процессору с помощью интерфейса MPI, служит для настройки и диагностики системы, мониторинга параметров, архивации ошибок и сообщений.

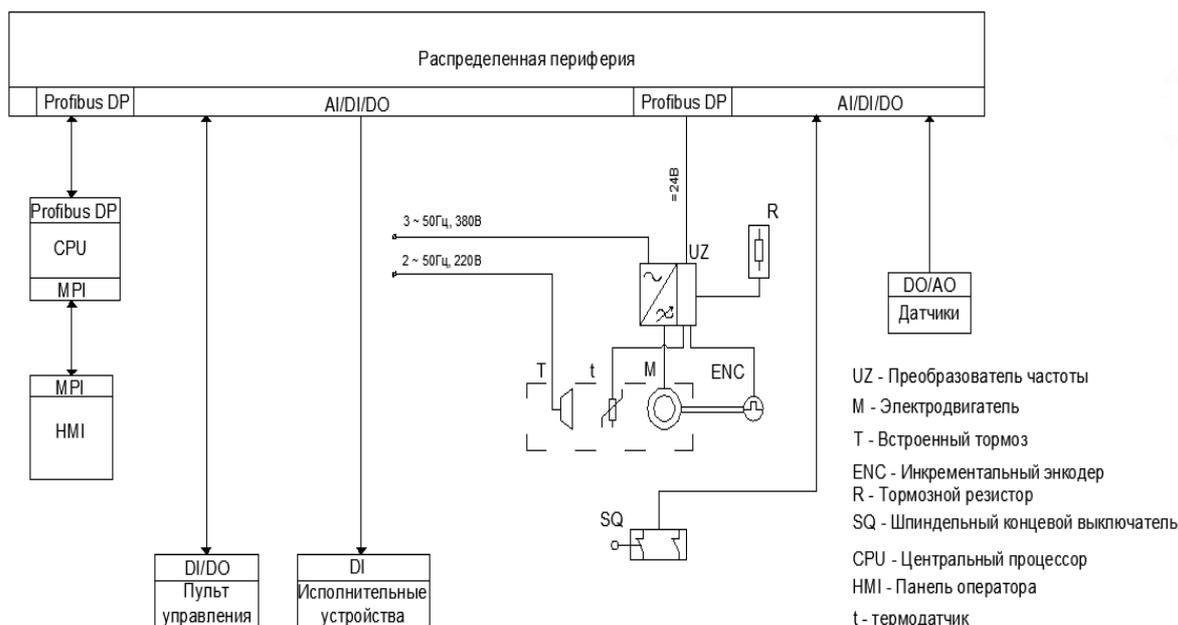


Рис. 6. Структурная электрическая схема с одним приводом в механизме поворота

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый способ позволит повысить безопасность эксплуатации башенных кранов путем сохранения их устойчивости при нестационарном во времени ветровом воздействии.

THE OVERTURNING STABILITY OF TOWER CRANES UNDER THE INFLUENCE OF RANDOM GUST LOADING

Abstract

The article refers to the control system stability designing of tower cranes under the influence of wind loading. The method to ensure the overturning stability is based on using of neural network algorithm. The purpose is to adjust the beam position depending on the gust loading.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Вайнсон А.А. *Подъемно-транспортные машины: Учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование».* – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989, 39-48.
2. ГОСТ 1455-77 Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения, 1978.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов ПБ 10-382-00.
4. Руководящий нормативный документ. Краны башенные строительные. Нормы расчета. РД 22-166-86
5. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. *Нечеткая логика и искусственные нейронные сети.* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.

6. Осовский С. *Нейронные сети для обработки информации* / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002.

Autorzy:

prof. dr hab. inż. Pavel SOROKIN

mgr inż. Alexey MISHIN –Moscow State University of Railway Communications (МИИТ)