

УДК 621.83.06

ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВЕТРОГЕНЕРАТОРАХ МУЛЬТИПЛИКАТОРЫ

Д. М. МАКАРЕВИЧ, К. А. ЦЫГАНОВА, М. В. ДРОЗДОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Большой проблемой для ветрогенерации является малая частота вращения лопастей ветроколеса, поскольку электрогенераторы выходят на номинальный режим выработки электроэнергии при частотах вращения вала генератора более тысячи оборотов в минуту. Решить данную проблему позволяет встраивание в ветрогенератор мультипликаторного привода.

Основными требованиями, предъявляемыми к мультипликаторам для ветрогенераторов, являются: высокий КПД, малые масса и инерционность, высокая надежность [1].

В классической схеме ветрогенератора необходимый коэффициент мультипликации скорости вращения получают путем использования в качестве мультипликатора многоступенчатой передачи в виде различных комбинаций планетарных, цилиндрических и конических зубчатых передач.

Планетарный мультипликатор позволяет получать большие коэффициенты мультипликации скорости вращения при относительно малых габаритных размерах и массе, при этом обладая соосной компоновкой, что упрощает конструкцию ветрогенератора. Цилиндрический мультипликатор, обладая более простой конструкцией и соответственно большей надежностью, чем планетарный, в то же время значительно увеличивает размеры и массу привода ветрогенератора. Конический мультипликатор используется в случае необходимости изменения направления оси вращения и по своим техническим характеристикам уступает цилиндрическому и планетарному мультипликаторам [2].

Однако при использовании многоступенчатого мультипликатора снижается его КПД и увеличиваются размеры, т. к. каждая ступень должна быть рассчитана на передачу всей мощности, получаемой турбинными лопатками. Это также увеличивает инерционность мультипликатора, что усложняет запуск ветрогенератора при малой начальной скорости ветра.

Альтернативным современным вариантом является ветрогенератор с прямым приводом, в котором вал ветроколеса напрямую соединен с ротором низкооборотного синхронного генератора (на постоянных магнитах). Преимуществами такой компоновочной схемы являются высокий КПД и надежность вследствие отсутствия самого сложного и нагруженного узла – мультипликатора. Однако при этом значительно возрастает стоимость, габариты и масса генератора, которому необходимо большое количество полюсов при работе на низких оборотах.

В настоящее время получают распространение ветрогенераторы с так называемым «полупрямым» приводом, который является компромиссным вариантом между двумя вышеописанными. В этом случае вал ветроколеса соединен с ротором среднеоборотного синхронного генератора посредством

одноступенчатого мультипликатора с передаточным числом от 3 до 15. Мультипликатор повышает обороты для более компактного и дешевого генератора, чем в прямом приводе, сохраняя при этом большую надежность по сравнению с многоступенчатым мультипликатором.

В Республике Беларусь создана и развивается научная школа по разработке передач с промежуточными телами качения [3]. По данному направлению получены определенные результаты, позволившие создать ряд новых малогабаритных передач и механизмов. Новым направлением в развитии передач с промежуточными телами качения является разработка и исследование мультипликаторных приводов, создаваемых на их базе.

Данный вид передач обладает следующими преимуществами.

1. Одним из основных требований к мультипликаторам является высокий КПД передачи. Он позволяет максимально сохранить передаваемую мощность, что при постоянном коэффициенте мультипликации скорости обеспечивает высокий момент на ведомом валу – валу генератора. В предлагаемых передачах трение скольжения заменяется сопротивлением качению, что снижает потери мощности и повышает КПД.

2. Другим преимуществом является малая осевая инерционность предлагаемых передач. Они соосны, имеют малые радиальные размеры, уравновешены, а значит, позволяют обеспечить малые значения момента страгивания для вала генератора, что немаловажно для приводов мультипликатора.

Экспериментальные исследования показали, что созданные конструкции передач с промежуточными телами качения могут эффективно использоваться для преобразования параметров обратного потока мощности, т. е. в качестве мультипликаторов. При этом установлено, что потенциальные возможности разработанных передач по нагрузочной способности и КПД превосходят известные аналоги. В передаче с промежуточными телами качения выше коэффициент перекрытия и меньше радиальные габаритные размеры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Прудников, А. П.** Мультипликатор на базе передачи с промежуточными телами качения для привода ветрогенератора / А. П. Прудников // Образование, наука и производство в XXI веке : современные тенденции развития : материалы юбилейной Междунар. конф., Могилев, 11–12 нояб. 2021 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2021. – С. 156.

2. **Иванов, М. Н.** Детали машин : учебник / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 16-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2024. – 457 с.

3. **Прудников, А. П.** Резервы развития передач с промежуточными телами качения / А. П. Прудников // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24–25 апр. 2025 г. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 25–29.