

УДК 631.3.072.16

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ КАПУСТОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ С ЗАДАНЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СМЕЩЕНИЕМ****А. О. Васильев, Р. В. Андреев, В. С. Никитин, Н. А. Емельянов***Чувашский государственный аграрный университет**428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение того влияния, которое оказывает способ обеспечения движения сельскохозяйственного агрегата на процесс уборки сельскохозяйственной продукции. Объектом исследования являлась прицепная капустоуборочная машина. Фактором эксперимента являлась твердость почвы под опорными колесами, оценивалась также величина увода рабочего органа от направления движения. Было представлено техническое решение конструкции управляемого электронного дышла, которое используется при работе сельскохозяйственной техники, в частности, прицепной капустоуборочной машины. Это решение позволяет как беспилотному, так и управляемому вручную сельскохозяйственному агрегату следовать за направляющим трактором и качественно выполнять сельскохозяйственные работы. Исследовалось не только параллельное движение с заданным поперечным смещением, но и объезд препятствий, и маневрирование на разворотной полосе. С помощью электронно-механических систем определялось направление движения трактора для того, чтобы соблюдать необходимую траекторию при управлении транспортным средством. Контроллер базового элемента управления следил за тем, чтобы сельскохозяйственный агрегат направлялся точно по контрольной линии. Кроме экспериментального изучения системы следования по заданному курсу, была разработана концепция безопасности работы агрегата. Проведенные эксперименты подтвердили результаты предыдущих исследований и дополнили их. Было определено, что величина угла увода дышла прицепной сельскохозяйственной машины существенно ниже известных аналогов и не выходит за интервалы значений, определенных агротехническими требованиями.

**Ключевые слова:** дышло, капуста, уборка.

**Введение.** Глобальная конкуренция в сфере повышения производительности в сельском хозяйстве требует автоматизации производственных процессов. Необходимо дальнейшее совершенствование согласованности в работе машин в процессе сельскохозяйственного производства.

В этом связи необходим поиск такой сельскохозяйственной техники, которая соответствовала бы всем современным требованиям и обеспечивала точность в работе и автоматизацию процесса управления.

За последние годы было проведено большое количество исследований, направленных на создание автоматизированных сельскохозяйственных рабочих машин [4]. Например, была разработана система автоматического рулевого управления для ведения трактора по заданной траектории со средней ошибкой отслеживания около 2 см. Был также создан автономный полевой робот (использовалась система Real-Time Control и гироскоп).

Такие полевые роботы с современными мехатронными системами управления полосой движения действительно могут перемещаться по заданному курсу [3]. Однако до сих пор применение таких систем было ограничено лабораторной средой, так как невозможно проконтролировать преодоление ими реальных препятствий, а также возникали проблемы, связанные с безопасностью движения.

Чтобы взять под контроль любые проблемы безопасности, возникающие в процессе реального сельскохозяйственного производства, использовались высокотехнологичные датчики, помогающие контролировать соответствие направления движения курсу следования. В научных работах [2] представлена система коррекции направления движения на основе машинного зрения. Для этого в передней части прицепной уборочной машины была установлена камера. В последние годы из соображений безопасности все большее число лазеров (усиление света за счет вынужденного излучения) и ладаров (лазерное обнаружение и дальность) используются для обнаружения препятствий при работе сельскохозяйственных машин, агрегатов и транспортных средств. Ладар использовался для коррекции хода агрегата на хмельниках [5].

Таким образом, на сегодняшний день большинство высокотехнологичных решений зарекомендовали себя только в лабораторных условиях. Испытания в реальных полевых условиях показали, что сельскохозяйственная машина с автоматическим управлением поддерживает водителя, но не может полностью заменить его по соображениям безопасности [1]. Некоторые решения, надежность которых была подтверждена в ходе полевых испытаний, очень дороги и, следовательно, пока не могут внедряться в производство. Таким образом, возникает необходимость создания усовершенствованных методов обеспечения движения прицепных сельскохозяйственных машин с заданным поперечным смещением.

**Материалы и методы исследований.** Система дышла с электронным управлением, состоящая из трактора и прицепной машины, рассматривается как промежуточный этап на пути к созданию полностью автоматизированной сельскохозяйственной машины. Поскольку водитель сидит в тракторе, вышеупомянутая проблема безопасности может быть легко решена без необходимости полагаться на дорогостоящие датчики.

Ниже представлена методика исследования такой системы. Трактор с трактористом и прицепная капустоуборочная машина без оператора выполняют работу, двигаясь по заданному курсу следования со смещением в сторону. Обычно этот процесс требует дополнительного оператора [6].

Осуществляя движение по траектории с заданной рабочей скоростью, агрегат в составе трактора и прицепной машины встречает под колесами стохастически изменяющиеся силы сопротивления. Вследствие этого происходит девиация направления требуемому курсу следования на угол  $\varphi$  (рисунок 1). Рассмотрим в качестве примера капустоуборочную машину. Необходимо отметить, что, когда величина этого угла существенна, повышается травмируемость кочанов капусты. Также режущий аппарат иногда пропускает их, что приводит к отказам.

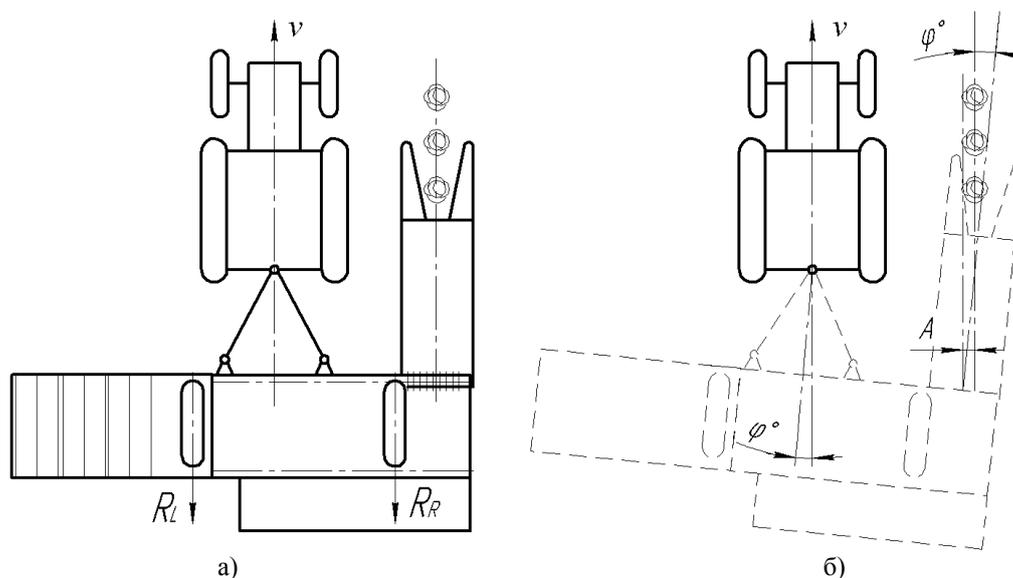


Рис. 1. Схема увода машины от курса следования: а) – в соответствии; б) – с отклонениями на угол  $\varphi$ :  $R_L$ ,  $R_R$  – силы сопротивления опорных колес;  $A$  – смещение режущего аппарата от курса следования.

У трактора и прицепной капустоуборочной машины отличается устройство определения положения. Трактор использует систему, оснащенную датчиками положения Deccard Kain. С помощью мехатронного приемника Teggro Domain 252, который был установлен на сцепном устройстве трактора, и системы рычагов с радиометками 450 МГц, принимающей сигналы коррекции RTK со скоростью 5 Гц, определяется соответствие курсу следования, которое достигает точности с отклонениями менее чем в 2,5 см.

На основе данных о соответствии курсу следования, полученных от системы и внутренних датчиков, они дополнительно корректируются навигационным контроллером в кабине водителя трактора, благодаря чему отклонения от курса следования сельскохозяйственной машины могут быть компенсированы во время измерения.

Перед началом испытаний на тракторе была установлена система стабилизации отклонений, которая является дополнительным оборудованием агрегата и может обрабатывать ошибки курса следования, вызванные неровностями микрорельефа. Гироскоп также интегрирован в эту систему, так что позиционирование может достигать сравнительно высокой точности, чего и требуется достичь в идеальном случае. Система стабилизации оснащена микрокомпьютером, соединяющим измерительное устройство с блоком управления и блоком измерения. Этот микрокомпьютер состоит из процессорной карты PowerPC с тактовой частотой 1 ГГц и некоторых карт ввода-вывода, которые могут обмениваться данными с внешними устройствами через CAN-BUS (сеть контроллеров) или последовательные интерфейсы. С помощью программного обеспечения DevilsKIT данный микрокомпьютер может выполнять сбор данных, осуществлять мониторинг состояния и отслеживание в режиме реального времени.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Чтобы осуществить такую систему корректировки работы дышла с агрегатом в составе трактора и прицепной капустоуборочной машины, было выполнено четыре вида подготовительных работ:

- разработан алгоритм планирования траектории движения управляемого трактора;
- собран контроллер слежения для направления прицепной машины по направляющей, рассчитанной при разработке курса следования;
- установлено беспроводное соединение между датчиками и системой коррекции для обеспечения обмена данными между ними в режиме реального времени и координации их рабочих процессов.
- разработана программа мониторинга состояния агрегата с целью соблюдения требований безопасности.

Как уже было сказано, условием оптимального выполнения рабочего процесса прицепной машиной является следование ее органа в соответствии с направлением движения агрегата. Кроме того, профиль шин должен быть спроектирован таким образом, чтобы он мог передавать высокие растягивающие усилия с небольшим скольжением. При движении по траве / лугам профильные туннели должны вызывать как можно меньше повреждений. Необходимо также добиться того, чтобы при движении по дороге у машины был низкий шума качения, а также низкое сопротивление качению.

Исследования были проведены при следующих существующих параметрах машины: длина поворотного дышла – 2,35 м, диаметр колес машины – 762 мм; ширина колес машины – 235 мм. Радиальные шины, которые сейчас используются, соответствуют этим критериям значительно лучше, чем диагональные, которые использовались ранее. Шины для тракторов теперь почти исключительно бескамерные.

Все производители сельскохозяйственных шин сейчас имеют возможность обратиться за информацией к хорошо разработанным положениям, представленным в технических руководствах, которые общедоступны: их можно найти в Интернете. Например, документы, касающиеся регулировки грузоподъемности и давления в шинах. Соответствующие значения для соответствующего давления в шинах также можно найти в информационных буклетах.

Экспериментально было исследовано влияние определенных параметров (размеров опорных колес капустоуборочной машины, твердости почвы под опорными колесами и ее различий) на результат корректировки направления агрегата по курсу следования. Результаты исследований агрегата с колесами одинакового размера без включения системы корректировки представлены графически на рисунке 2.

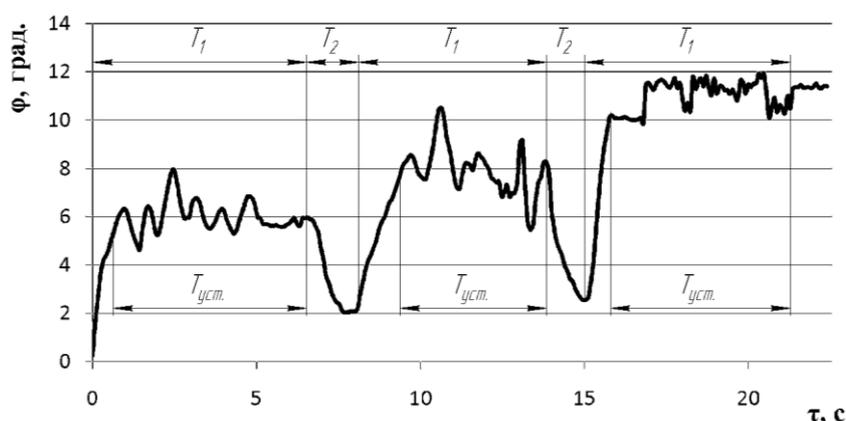


Рис. 2. Фрагмент оциллограммы угла отклонения  $\varphi$  капустоуборочной машины в режиме реального времени  $\tau$  от заданного курса без мехатронного корректировщика движения:  $T_1, T_2$  – время прохождения вспаханного и неспаханного участков соответственно;  $T_{уст}$  – время установившегося движения агрегата по вспаханному участку.

Данные, представленные на рисунке 3, свидетельствуют о том, что с уменьшением твердости почвы под опорными колесами капустоуборочной машины устойчивость хода агрегата резко снижается. Эти недостатки можно устранить только путем адаптации давления в шинах (низкое поле, высокая дорога) применительно к соответствующей ситуации использования шины и ее сложной конструкции. Поэтому удобные, полностью интегрированные системы контроля давления в шинах имеют большое практическое значение. Правильное давление в шинах зависит от размера и типа шины, скорости движения, нагрузки на колесо и передаваемого крутящего момента.

Машину можно перемещать порожняком, с передним или задним навешиванием очень тяжелых орудий, с различной балластировкой и под сильным влиянием динамических сил от тягового усилия орудия и опорной нагрузки. Чтобы по-прежнему обеспечивать безопасность вождения и рулевого управления, благоприятное давление на почву и высокую тяговую мощность при небольшой пробуксовке, тракторы необходимо как можно более разнообразно балластировать в зависимости от области применения. Распространены в основном передние противовесы, частично модульные, а также грузы, которые можно интегрировать в диски. Реже встречаются грузы, прикрепленные к раме, а также жидкие наполнители шин для балласта. Они менее распространены в России. Шины для тракторов продолжают играть важную роль при обеспечении безопасности вождения, а также создают комфорт, обеспечивая свойства подвески и демпфирования, поскольку многие тракторы, особенно на задних мостах, не имеют встроенной подвески оси или колес в шасси (из-за высокой динамики диапазона рабочих нагрузок на ось, среди прочего).

Исследуя метод обеспечения движения капустоуборочной машины с заданным поперечным смещением, заметим, что при условии включенного мехатронного корректировщика движения величина угла отклонения дышла заметно падает по сравнению с результатами предыдущих экспериментов (рисунок 3).

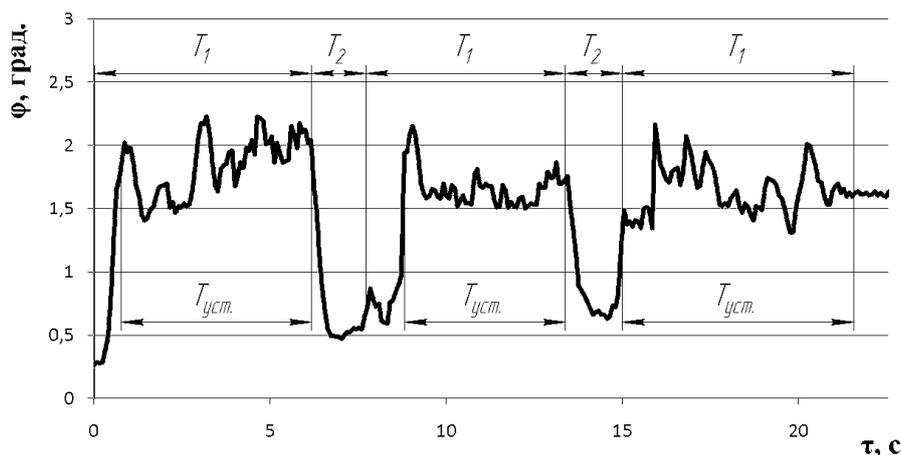


Рис. 3. Фрагмент осциллограммы угла отклонения  $\varphi$  капустоуборочной машины по вспаханному участку с включенным корректировщиком положения дышла.

Однако нельзя забывать о ярко выраженных пиках давления под роликами и о сильной их чувствительности к несбалансированной нагрузке на ось. Это техническое решение менее подходит для передвижения по вспаханному полю из-за низкого комфорта подвески и высокого истирания. При поворотах земля разрывается, рулевые механизмы, как правило, более сложные и дорогостоящие, чем у колесной техники.

**Выводы.** С помощью указанного метода можно автоматизировать движение прицепной сельскохозяйственной машины вместе с направляющим трактором для выполнения различного вида задач, таких как вспашка, посев и уборка сельскохозяйственной продукции. По сравнению с автономными полевыми роботами, которые еще не подготовлены до конца к серийному производству, система мехатронного управления была испытана с использованием двух прототипов и требует дальнейшего совершенствования. Новым аспектом исследования является изучение виртуального диапазона допуска, который отслеживает движение автономно движущейся сельскохозяйственной машины. Основные проблемы заключаются в определении размера такого диапазона допуска и в управлении сельскохозяйственной машиной с такой точностью, чтобы она всегда оставалась в пределах этого диапазона допуска. Преимущество представленной системы состоит в том, что вся она может контролироваться водителем. Предварительные результаты компьютерного моделирования и полевых испытаний показали, что прицепная машина может следовать за направляющим трактором с удовлетворительными результатами.

#### Литература

1. Егоров, В. П. Корпус плуга для почвозащитных технологий / В. П. Егоров, А. П. Акимов, Н. Н. Пушкаренко // Сельский механизатор. – 2019. – № 9. – С. 16-17.
2. Модель функционирования технологического процесса послеуборочной обработки зерна в отделении приема и предварительной очистки зернового вороха / Н. Н. Кузнецов, Н. Н. Пушкаренко, В. И. Медведев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13. – № 4 (51). – С. 114-118.
3. Патент № 2450504 С2 Российская Федерация. Капустоуборочная машина: № № 2010136615/13; заявл. 31.08.2010; опубл. 20.05.2012 / А. О. Васильев, Р. В. Андреев, А. В. Чебоксарова, С. С. Алатырев. – 8 с.
4. Повышение точности регулирования производительности насосных секций топливного насоса распределительного типа / Ю. Н. Доброхотов, Ю. В. Иванчиков, А. Р. Валиев, А. О. Васильев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 1 (52). – С. 77-82.
5. Результаты исследования уплотнения движителями тракторов междурядья хмельника / П. А. Смирнов, Н. Н. Пушкаренко, А. О. Васильев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13. – № 2 (49). – С. 131-137.
6. Influence of the parameters of support wheels on the amount of the device of the trailer from the tracking course / S. S. Alatyrev, R. V. Andreev, A. O. Vasiliev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – P. 012002.

#### Сведения об авторах

1. **Васильев Александр Олегович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: 3777222@bk.ru, тел. 8-937-377-72-22;

2. **Андреев Роман Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: rv\_andreev@mail.ru, тел. 8-927-858-60-82;

3. **Никитин Вадим Сергеевич**, аспирант кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: vadimka-nikitin-1997@mail.ru, тел. 8-937-399-80-52;

4. **Емельянов Николай Андреевич**, аспирант кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: emelya.kolya19977@yandex.ru.

## RESEARCH OF THE METHOD OF PROVIDING THE MOTION OF THE CABBAGE HARVESTING MACHINE WITH THE SPECIFIED LATERAL DISPLACEMENT

**A. O. Vasiliev, R. V. Andreev, V. S. Nikitin, N. A. Emelyanov**

*Chuvash State Agrarian University  
428003, Cheboksary, Russian Federation*

**Brief abstract.** *The article presents the results of experimental studies aimed at studying the influence of the method of ensuring the movement of an agricultural unit on the process of harvesting agricultural products. The object of the study was a trailed cabbage harvester. The factor of the experiment was the hardness of the soil under the support wheels, and the amount of movement of the working body from the direction of movement was also estimated. A technical solution for the design of a controlled electronic drawbar was presented, which is used when operating agricultural machinery, in particular, a trailed cabbage harvester. This solution allows both unmanned and manually operated agricultural implement to follow the guide tractor and perform agricultural work efficiently. Not only parallel movement with a given lateral displacement was investigated, but also obstacle avoidance and headland maneuvering. With the help of electronic-mechanical systems, the direction of movement of the tractor was determined in order to maintain the required trajectory when driving a vehicle. The controller for the basic control ensures that the agricultural implement is guided exactly on the reference line. In addition to the experimental study of the system of following a given course, a concept for the safety of the unit was developed. The experiments carried out confirmed the results of previous studies and supplemented them. It was determined that the value of the angle of withdrawal of the drawbar of a trailed agricultural machine is significantly lower than the known analogs and does not go beyond the intervals of values determined by agrotechnical requirements.*

**Key words:** *drawbar, cabbage, harvesting.*

### References

1. Egorov, V. P. Korpus pluga dlya pochvozaschitnyh tekhnologij / V. P. Egorov, A. P. Akimov, N. N. Pushkarenko // Sel'skij mekhanizator. – 2019. – № 9. – S. 16-17.
2. Model' funkcionirovaniya tekhnologicheskogo processa posleuborochnoj obrabotki zerna v otdelenii priema i predvaritel'noj ochistki zernovogo voroha / N. N. Kuznecov, N. N. Pushkarenko, V. I. Medvedev [i dr.] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – T. 13. – № 4 (51). – S. 114-118.
3. Patent № 2450504 C2 Rossijskaya Federaciya. Kapustouborochnaya mashina: № № 2010136615/13: zayavl. 31.08.2010: opubl. 20.05.2012 / A. O. Vasil'ev, R. V. Andreev, A. V. CHEboksarova, S. S. Alatyrev. – 8 s.
4. Povyshenie tochnosti regulirovaniya proizvoditel'nosti nasosnyh sekcij toplivnogo nasosa raspredelitel'nogo tipa / YU. N. Dobrohotov, YU. V. Ivanshchikov, A. R. Valiev, A. O. Vasil'ev // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – T. 14. – № 1 (52). – S. 77-82.
5. Rezul'taty issledovaniya uplotneniya dvizhitelyami traktorov mezhduryad'ya hmel'nika / P. A. Smirnov, N. N. Pushkarenko, A.O. Vasil'ev [i dr.] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – T. 13. – № 2 (49). – S. 131-137.
6. Influence of the parameters of support wheels on the amount of the device of the trailer from the tracking course / S. S. Alatyrev, R. V. Andreev, A. O. Vasiliev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – P. 012002.

### Information about authors

1. **Vasiliev Alexander Olegovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: 3777222@bk.ru, tel. 8-937-377-72-22;

2. **Andreev Roman Viktorovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: rv\_andreev@mail.ru, tel. 8-927-858-60-82;

3. **Nikitin Vadim Sergeevich**, postgraduate student of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: vadimka-nikitin-1997@mail.ru, tel. 8-937-399-80-52;

4. *Emelyanov Nikolai Andreevich*, postgraduate student of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: emelya.kolya19977@yandex.ru.

УДК 620.9

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

**А. В. Верещак**

*Чувашский государственный аграрный университет  
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** *Правительством РФ с 1 ноября текущего года была утверждена стратегия социально-экономического развития России до 2050 г., предполагающая снижение уровня выбросов парниковых газов. В соответствии с новой стратегией Михаил Мишустин определил основную цель – достижение углеродной нейтральности при устойчивом росте экономики. На основании вышеуказанного документа наша страна должна достичь углеродной нейтральности не позднее 2060 г. Данная стратегия имеет два сценария, один из которых – инерционный, второй – целевой. Основными задачами целевого сценария являются конкурентоспособность России, а также ее экономический рост. Для воплощения целевого сценария необходимо большое количество денежных вливаний, что предположительно приведет к снижению количества выбросов парниковых газов. Так, необходимое количество инвестиций в 2022-2030 гг. должно составить приблизительно 1 % от ВВП, а уже к 2031-50 гг. достигнуть отметки в 1,5-2 % от ВВП. Основные мероприятия по осуществлению декарбонизации – внедрение безуглеродных технологий, увеличение «зеленого финансирования». В настоящее время разработкой стратегий декарбонизации экономики занимаются более 120 стран мира. Таким образом, можно с уверенностью сказать, что грядет смена всей существующей в этом направлении модели бизнеса, так как природо-эксплуатирующие отрасли практически исчерпали себя. Однако, учитывая наличие природных ресурсов в России, можно предположить, что декарбонизация в электроэнергетике будет осуществляться за счет увеличения использования атомной энергии и газа. Российская Федерация обладает огромной территорией с различными географическими особенностями, поэтому хочется надеяться на то, что такое направление, как ветроэнергетика, не останется без должного внимания.*

**Ключевые слова:** *ветроэнергетика, ветроэлектростанция, электроснабжение, мощность, топливо.*

**Введение.** Человечество за все время своего существования использовало различные источники энергии: нефть, газ, уголь и другие, например, возобновляемые источники.

Потребление энергии постоянно возрастает. В настоящее время стабильная ее поставка возможна при использовании природного ископаемого топлива. Однако данный вид деятельности неизбежно ведет к уменьшению природных запасов и нанесению непоправимого вреда окружающей среде. Сравнивая ветряные мельницы и ветрогенераторы, мы можем сделать вывод, что это источники энергии разного масштаба. К одному из основных видов ВИЭ сегодня смело можно отнести ветроэнергетику.

**Цель исследования** – рассмотрение и обоснование перспектив применения ВЭУ (ветроэнергетических установок) на территории Российской Федерации, учитывая стратегию социально-экономического развития России до 2050 г., предполагающую снижение выбросов парниковых газов.

**Материалы и методы исследования.** ВЭУ постепенно занимают определенную нишу в системе энергообеспечения нашей планеты, в частности, и в Российской Федерации [5]. Они являются техническими устройствами, необходимыми для переработки кинетической энергии ветровых потоков с дальнейшим преобразованием их в другой вид энергии. Ветроэнергетические установки во многих странах, имеющих подходящий климат (там, где скорость ветра благоприятно влияет на работу установок), становятся все более конкурентоспособными в сравнении с традиционными, общепринятыми источниками электроснабжения [7]. Как правило, большинство конструктивных решений для преобразования энергии ветра в механическую работу построено на использовании лопастных машин с горизонтальным валом, которые традиционно устанавливаются в направлении ветра. Также имеют место и другие конструкторские решения – устройства с вертикальным валом.

Как правило, ВЭУ, которые используют горизонтальную ось вращения, не должны иметь большого количества лопастей вращения. В большинстве случаев лопасти устанавливаются на вершину башни, при этом ведущий вал ротора, который, в свою очередь, соединяет лопасти и генератор, будет являться осью машины. Другими словами, ротор устанавливается горизонтальным способом [4]. Обычно при этом используют две или три лопасти. Может быть предусмотрено использование и большего их количества при низких скоростях вращения. Две или три лопасти применяют также и при очень высоких скоростях вращения для охвата всех ветровых потоков, проходящих через площадь ротора. Их большое количество непременно начнет создавать помехи. Также необходимо помнить и об их прочности в процессе работы.