

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА МЕХАНИЗМА И АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ШИРИНОЙ ВЫТЯЖНОГО ПРОЕМА КУЛЬТИВАЦИОННОГО СООРУЖЕНИЯ

✉ Усольцев С.Ф., Ивакин О.В., Рыбаков Р.В., Подолец А.М.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Россия, Новосибирская область, р.п. Краснообск

✉ e-mail: sibime@sfsca.ru

Приведены результаты теоретических исследований возможности снижения недостатка и избытка тепла в культивационном сооружении за счет обоснования параметров и алгоритма работы механизма управления шириной вытяжного проема в режиме реального времени. Разработана кинематическая схема плоского рычажного механизма управления шириной вытяжного проема с приводом от электрического линейного актуатора. Определены зависимости угла наклона ведущего звена механизма и ширины вытяжного проема от хода штока электропривода. Максимальная величина хода штока электропривода составляет 225 мм, что позволяет изменять ширину вытяжного проема от 0 до 900 мм. При этом угол наклона оси датчика положения ведущего звена механизма изменяется от 0 до 90 град. На основании анализа процесса работы механизма и требований растений к температуре окружающего воздуха разработан алгоритм управления шириной проема, предусматривающий три возможных ситуации. При условии соответствия температуры воздуха биологическим требованиям растений ширина вытяжного проема не изменяется. Если температура воздуха превышает верхний предел, то ширина проема увеличивается на величину, определяемую шагом изменения угла ведущего звена механизма. Если температура воздуха меньше нижнего предела, то контроллер включает линейный актуатор на уменьшение ширины проема. Это обеспечивает изменение угла наклона ведущего звена на величину шага dA , которая задается при программировании. Логические операторы сравнивают текущее значение угла наклона ведущего звена с расчетным и производят включение и выключение актуатора. Предлагаемый алгоритм осуществляет последовательное приближение состояния системы к зоне оптимума и реагирует на изменение внешних условий.

Ключевые слова: температура воздуха, приточно-вытяжная вентиляция, электрический линейный актуатор, кинематическая схема, алгоритм

KINEMATIC DIAGRAM OF THE MECHANISM AND ALGORITHM FOR CONTROLLING THE WIDTH OF THE INDOOR STRUCTURE EXHAUST OPENING

✉ Usoltsev S.F., Ivakin O.V., Rybakov R.V., Podolets A.M.

Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

✉ e-mail: sibime@sfsca.ru

The results of theoretical studies of the possibility of reducing the lack and excess of heat in the cultivation structure by substantiating the parameters and algorithm of the mechanism of real-time control width of the exhaust opening are presented. A kinematic diagram of a flat lever mechanism for controlling the width of the draft opening with a drive from an electric linear actuator has been developed. Dependences of the angle of inclination of the leading link of the mechanism and the width of the exhaust opening on the stroke of the actuator rod are determined. The maximum travel of the actuator rod is 225 mm, which allows you to change the width of the exhaust opening from 0 to 900 mm. In this case, the angle of the axis of the master link position sensor varies from 0 to 90 degrees. Based on the analysis of the operation process of the mechanism and the requirements of the plants to the ambient air temperature, an algorithm for controlling the width of the opening was developed, providing for three possible situations. As long as the air temperature meets the biological requirements of the plants, the width of the exhaust opening does not change. If the air temperature exceeds the upper limit, the width of the opening is increased by the value determined by the angle change step of the mechanism driving link. If the air temperature is less than the lower limit, the controller turns on the

linear actuator to reduce the opening width. This ensures that the tilt angle of the master link changes by the step dA , which is set during the programming. Logic operators compare the current value of the angle of inclination of the master link with the calculated value and switch the actuator on and off. Thus, the proposed algorithm consistently approximates the state of the system to the optimum zone and reacts to the changes in external conditions.

Keywords: air temperature, supply and exhaust ventilation, electric linear actuator, kinematic scheme, algorithm

Для цитирования: Усольцев С.Ф., Ивакин О.В., Рыбаков Р.В., Подолец А.М. Кинематическая схема механизма и алгоритм управления шириной вытяжного проема культивационного сооружения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 3. С. 107–113. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-3-12>. EDN XTQEEF.

For citation: Usoltsev S.F., Ivakin O.V., Rybakov R.V., Podolets A.M. Kinematic diagram of the mechanism and algorithm for controlling the width of the indoor structure exhaust opening. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 3, pp. 107–113. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-3-12>. EDN XTQEEF.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Общемировой тенденцией развития овощеводства является переход к энергосберегающим технологиям и перемещение площадей защищенного грунта в южные регионы страны [1–3]. Другой способ снижения потерь тепла – использование листовых и сотовых пластиков для изготовления ограждающих конструкций культивационных сооружений [4, 5].

Повышение теплообеспеченности периода вегетации возможно за счет использования временных культивационных сооружений. Это обеспечивает снижение воздействия негативных факторов внешней среды и урожайность томатов около 4 кг/м^2 [6]. В промежутки времени, когда температура воздуха не опускается ниже биологических требований растений, теплообеспеченность перестает быть лимитирующим фактором, а высокие дневные температуры создают опасность перегрева. В это время необходимо решать обратную задачу – обеспечить удаление нагретого воздуха из культивационных сооружений с помощью вентиляции. Проблема состоит в том, что в течение суток можно наблюдать как недостаток, так и избыток тепла внутри культивационного сооружения [7, 8].

Цель работы – представить результаты исследования по снижению недостатка и избытка тепла за счет обоснования параме-

тров и алгоритма работы механизма управления шириной вытяжного проема в режиме реального времени.

Биологические требования томатов к температуре воздуха достаточно полно изучены и приведены в литературе [9–11]. Минимальная температура воздуха, при которой происходят процессы роста и развития растения, должна быть не менее 15°C , так как при более низкой температуре складываются неблагоприятные условия для прорастания пыльцы и оплодотворения. Кроме того, созревающие плоды не принимают характерную окраску. Повышение температуры воздуха выше 30°C , особенно при высокой влажности, способствует слипанию и стерилизации пыльцы, что приводит к снижению урожайности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для осуществления естественной приточно-вытяжной вентиляции необходимо иметь два управляемых проема: приточный и вытяжной.

Интенсивность тепло-массообмена между культивационным сооружением и внешней средой зависит от площади вытяжного проема и скорости восходящих воздушных потоков.

Процесс управления вентиляцией заключается в автоматическом изменении

¹Овощеводство Западной Сибири: монография / Ю.К. Тулупов, Е.Г. Гринберг, В.А. Овчинников. М.: Колос, 1981. 255 с.

площади проемов в зависимости от температуры воздуха внутри культивационного сооружения² [2]. Применение гидроцилиндров – наиболее простой и дешевый способ управления открытием вентиляции. Данный способ управления вентиляцией за счет теплового расширения жидкости, находящейся в гидроцилиндрах, применяют в теплицах, парниках и в других культивационных сооружениях. Закономерности процесса вентиляции для капитальных строений и теплиц достаточно хорошо изучены³ [12], но конструктивные особенности временных культивационных сооружений ограничивают их использование и требуют проведения дополнительных исследований.

Для исследования параметров воздушных потоков в укрытиях использована лабораторная установка. Измерение температуры и скорости воздушных потоков проводили в плоскостях приточного и вытяжного проемов и внутри укрытия с применением термоанемометров ТТМ 2-04. Дополнительно измеряли температуру воздуха внутри укрытия и температуру поверхности корпуса гидроцилиндра путем установки датчиков температуры ДТС034-50М. Для регистрации и архивиро-

вания результатов измерений использовали комплект приборов, в который входят модуль сбора данных МСД 100, адаптеры RS485-USB, ноутбук. Равновесное состояние между притоком тепла от нагревателей и его выносом устанавливается при температуре воздуха в укрытии около 30 °С и ширине вытяжного проема 0,5 м. Длительность периода снижения температуры удаляемого воздуха после выключения нагрева составляет 45 мин.

Использование гидроцилиндров для автоматического привода механизма регулирования ширины вытяжного проема устойчиво поддерживает температуру воздуха внутри сооружения в процессе нагрева, но неэффективен в процессе охлаждения из-за высокой тепловой инерции [13].

Снизить влияние тепловой инерции возможно за счет применения системы управления шириной вытяжного проема с электрическим линейным актуатором. Исходя из требований к интервалу изменения ширины проема и возможностей стандартных электроприводов разработана кинематическая схема управления шириной вытяжного проема (см. рис. 1). Управление осуществляется при помощи электрического линейного ак-

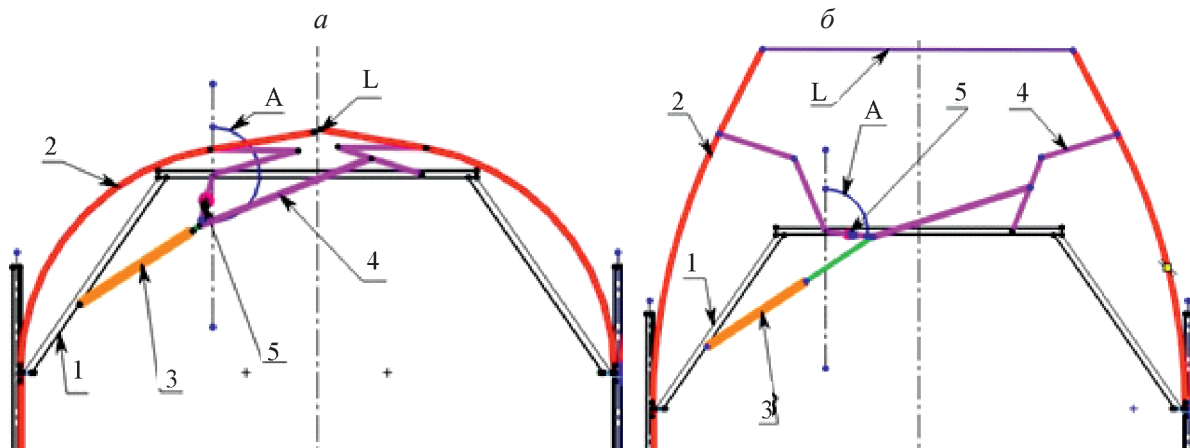


Рис. 1. Кинематическая схема управления вентиляцией:

a – вентиляция закрыта; *б* – вентиляция открыта; 1 – каркас укрытия; 2 – лист поликарбоната; 3 – электрический линейный актуатор; 4 – плоский рычажный механизм; 5 – датчик угла наклона рычага РТАМ 27; *A* – угол поворота рычага, *L* – ширина вытяжного проема

Fig. 1. Kinematic diagram of the ventilation control

a – ventilation closed, *б* – ventilation open; 1 – frame cover, 2 – polycarbonate sheet; 3 – electric linear actuator; 4 – flat lever mechanism; 5 – lever angle sensor RTAM 27; *A* – lever rotation angle; *L* – width of the exhaust opening.

²Егизаров А.Г. Отопление и вентиляция зданий и сооружений сельскохозяйственных комплексов: монография. М.: Стройиздат, 1981. 239 с.

³Панин Б.Г. Основы теории теплотехники, отопление, вентиляция, сушка и охлаждение: монография. М.: Легкая индустрия, 1980. 380 с.

туатора и плоского рычажного механизма. Размер вытяжного проема зависит от выхода рейки актуатора.

В положении, когда рейка находится внутри корпуса актуатора, вытяжной проем закрыт (см. рис. 1, а). Максимальное выдвижение рейки соответствует полному открытию вентиляции (см. рис. 1, б). Определение размера вытяжного проема осуществляется путем измерения угла поворота (A) ведущего звена плоского рычажного механизма с помощью датчика угла поворота РТАМ 27, показания которого выводятся в модуль сбора данных МСД 200.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зависимости угла наклона датчика РТАМ 27 и ширины вытяжного проема от хода штока электропривода получены графическим путем. График зависимостей приведен на рис. 2, из которого следует, что зависимости угла наклона датчика РТАМ 27 и ширины вытяжного проема линейны и аппроксимируются уравнениями первого порядка. Управление шириной проема будет осуществляться логическим контроллером. Максимальная величина хода штока элек-

тропривода составляет 225 мм, что позволяет изменять ширину вытяжного проема от 0 до 900 мм. При этом угол наклона оси датчика положения ведущего звена механизма изменяется от 0 до 90 град.

Схема алгоритма управления шириной проема приведена на рис. 3.

Алгоритм управления шириной проема предусматривает три варианта.

1. Температура воздуха в культивационном сооружении находится в пределах зоны оптимума. Это определяется положительным выходом логических операторов сравнения измеренной температуры с нижним и верхним пределами зоны оптимума. В этом случае изменение ширины проема не требуется, и система находится в режиме ожидания до следующего измерения температуры через промежуток времени dt .

2. Измеренная температура воздуха меньше нижнего предела (отрицательный выход логического оператора). Контроллер включает привод закрытия проема на величину угла наклона рычага dA , после чего система переходит в режим ожидания.

3. Температура в укрытии больше верхнего предела. Контроллер включает привод

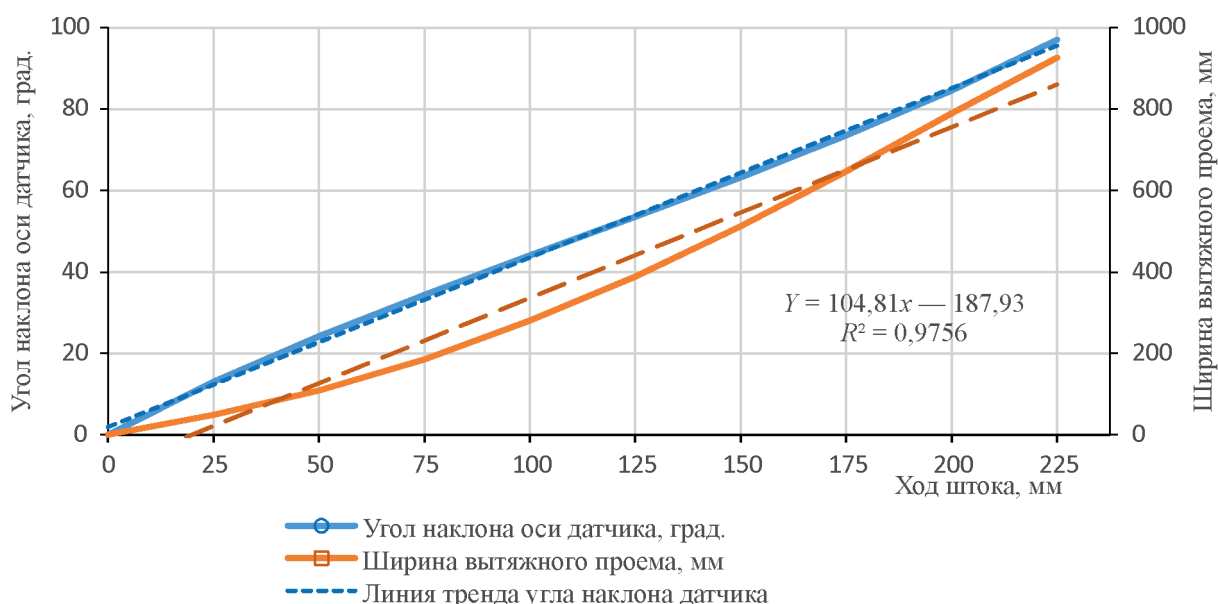


Рис. 2. Зависимости угла наклона оси датчика РТАМ 27 и ширины вытяжного проема от хода штока актуатора

Fig. 2. Dependence of the angle of inclination of the axis of the sensor RTAM 27 and the width of the exhaust opening on the stroke of the electric drive rod

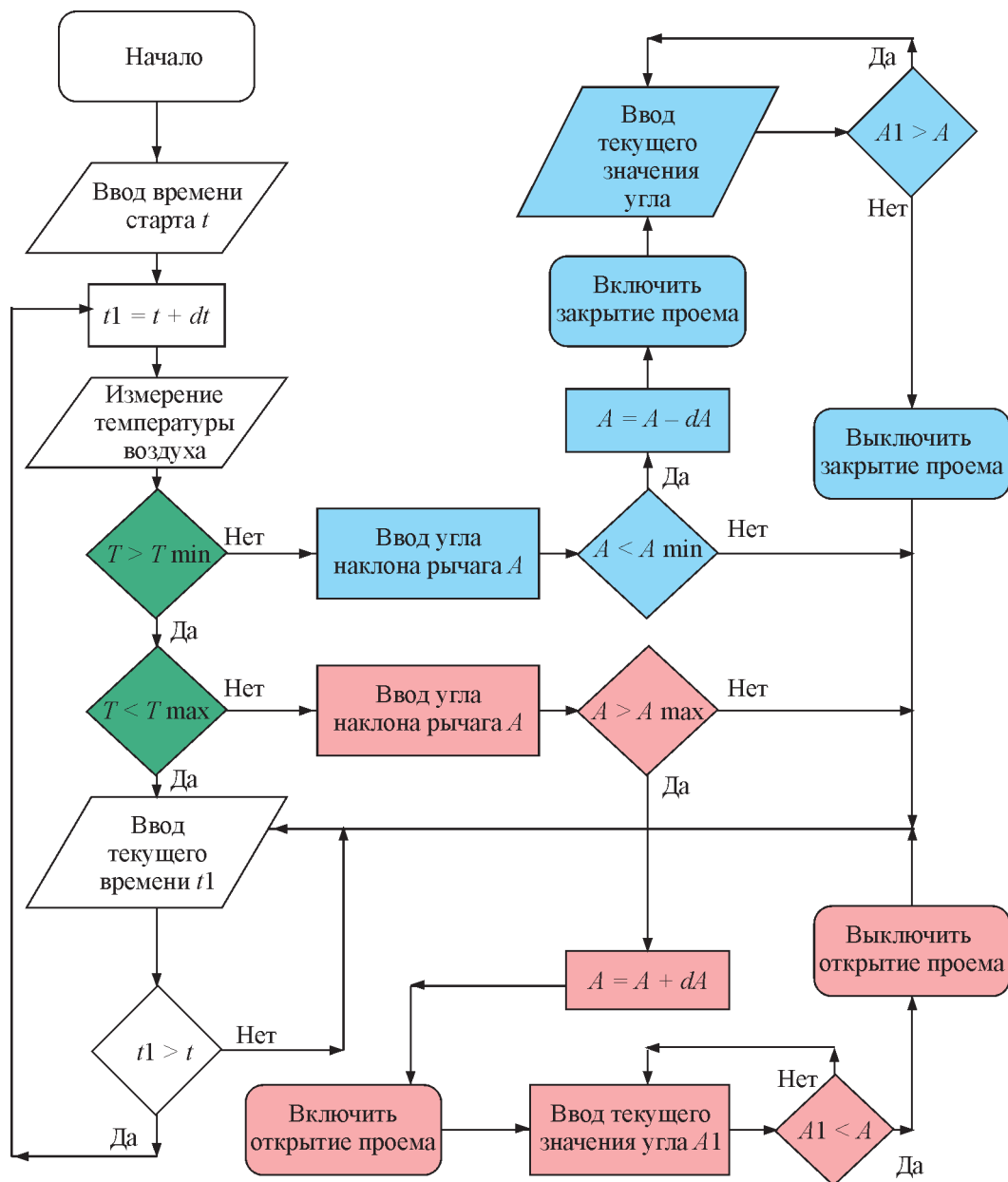


Рис. 3. Схема алгоритма управления шириной проема

Fig. 3. Diagram of the opening width control algorithm

открытия проема на величину угла наклона рычага dA , после чего система переходит в режим ожидания.

Управляемыми параметрами в алгоритме являются dt – интервал измерений температуры; dA – шаг изменения угла наклона рычага.

Интервал измерений температуры определяется тепловой инерцией системы. Так, в условиях проведения лабораторного эксперимента в 2018 г. существенные изменения ширины проема происходили через 5 мин, в открытом грунте этот параметр зависит от

скорости изменения внешних условий и в среднем составляет 15 мин. Из построений схемы механизма следует, что $A_{\max} = 90^\circ$, $A_{\min} = 0$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Снижение недостатка и избытка тепла в культивационном сооружении может быть достигнуто за счет изменения ширины вытяжного проема от 0 до 900 мм. Разработана кинематическая схема плоского рычажного механизма управления шириной вытяжного

проема с приводом от электрического линейного актуатора с длиной хода штока не менее 225 мм. Предложен алгоритм изменения ширины вытяжного проема в зависимости от температуры воздуха внутри культивационного сооружения в режиме реального времени. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании системы естественной вентиляции культивационного сооружения, обеспечивающей последовательное приближение температуры воздуха к биологическим требованиям растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинов С.С., Разин А.Ф., Иванова М.И., Мещерякова Р.А., Разин О.А. Состояние, проблемы, перспективы и риски развития овощеводства России в условиях санкций // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 25–29.
2. Колчина Л.М. Тенденции развития производства овощной продукции в защищенном грунте // Техника и оборудование для села. 2016. № 9. С. 12–16.
3. Чернова Т.В., Огнев В.В., Авдеенко С.С., Габимова Е.Н., Корсунов Е.И. Совершенствование технологии возделывания томата и конструкции весенних теплиц для получения экологически безопасной продукции // Картофель и овощи. 2020. № 5. С. 11–16.
4. Аутко А.А., Гануш Г.И., Долбик Н.Н. Овощеводство защищенного грунта: монография. М.: Издательство «ВЭВЭР», 2006. 320 с.
5. Панова Г.Г., Драгавцев В.А., Желтов Ю.И., Судakov В.Л., Черноусов И.Н., Канаш Е.В., Аникина Л.М., Удалова О.Р. Стратегия наукоемкого ресурсосберегающего круглогодичного производства высококачественной растительной продукции // Аграрная Россия. 2009. № 51. С. 7–10.
6. Кайтмазов Т.В. Обеспечение параметров микроклимата в каркасных строительных конструкциях // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2006. № 11. С. 14–20.
7. Малышев Н.А., Логинов И.А. Исследование температурного и тепловлажностного режима культивационных сооружений в теплый период года // Приволжский научный журнал. 2010. № 4 (16). С. 106–113.
8. Нестяк В.С., Чепурин Г.Е., Ивакин О.В., Усольцев С.Ф. Защитные экраны – резервные возможности для овощеводства // До-

стижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 8. С. 83–86.

9. Круг Г. Овощеводство: монография / пер. с нем. В.И. Леунова. М.: Колос, 2000. 576 с.
10. Молчанов А.Г., Авдеева В.Н. Оптимизация параметров микроклимата теплиц // Техника и оборудование для села. 2009. № 9. С. 39–40.
11. Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства: монография. М., 2008. 771 с.
12. Уайт В. Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации: монография. М.: Клинрум, 2002. 304 с.
13. Усольцев С.Ф., Нестяк В.С., Ивакин О.В., Нестяк Г.В., Гончаренко Ю.В. Обоснование привода механизма управления вентиляцией крупногабаритного укрытия экранного типа // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 3. С. 79–86. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-3-10.

REFERENCES

1. Litvinov S.S., Razin A.F., Ivanova M.I., Meshcheryakova R.A., Razin O.A. State, problems, prospects, risks of development of vegetable growing in Russia under sanctions. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and vegetables*, 2016, no. 2, pp. 25–29. (In Russian).
2. Kolchina L.M. Development trends in production of vegetables in protected ground. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*, 2016, no. 9, pp. 12–16. (In Russian).
3. Chernova T.V., Ognev V.V., Avdeenko S.S., Gabimova E.N., Korsunov E.I. Improving tomato cultivation technology and spring greenhouse construction to produce ecologically safe products. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and vegetables*, 2020, no. 5, pp. 11–16. (In Russian).
4. Autko A.A., Ganush G.I., Dolbik N.N. *Protected ground vegetable growing*. Moscow, VEVER Publ., 2006, 320 p. (In Russian).
5. Panova G.G., Dragavtsev V.A., Zheltov Yu.I., Sudakov V.L., Chernousov I.N., Kanash E.V., Anikina L.M., Udalova O.R. Providing strategy of science-intensive resource-saving year-round production of high-quality plant products. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*, 2009, no. 51, pp. 7–10. (In Russian).

6. Kaitmazov T.V. Building materials, equipment, technologies of the XXI century. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka = Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*, 2006, no. 11, pp. 14–20. (In Russian).
7. Malyshev N.A., Loginov I.A. Study of temperature and thermal-humidity conditions of cultivation facilities during the warm period of the year. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal = The Privolzhsky scientific journal*, 2010, no. 4 (16), pp. 106–113. (In Russian).
8. Nestyak V.S., Chepurin G.E., Ivakin O.V., Usoltsev S.F. Protecting screens as spare capacities for vegetable growing. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2016, vol. 30, no. 8, pp. 83–86. (In Russian).
9. Krug G. *Vegetable growing*. Translated from German V.I. Leunova. Moscow, Kolos Publ., 2000, 576 p. (In Russian).
10. Molchanov A.G., Avdeeva V.N. Parameter optimization of greenhouse microclimate. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*, 2009, no. 9, pp. 39–40. (In Russian).
11. Litvinov S.S. *Scientific bases of modern vegetable growing*. Moscow, 2008, 771 c. (In Russian).
12. White V. *Clean room technology. Basis of design, testing and operation*. Moscow, Klinrum Publ., 2002, 304 p. (In Russian).
13. Usoltsev S.F., Nestyak V.S., Ivakin O.V., Nestyak G.V., Goncharenko Yu.V. Feasibility evaluation of the ventilation control mechanism drive of a large screen canopy. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2019, vol. 49, no. 3, pp. 79–86. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2019-3-10.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Усольцев С.Ф.**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: sergey.usoltzev@yandex.ru

Ивакин О.В., доктор технических наук, ведущий научный сотрудник

Рыбаков Р.В., младший научный сотрудник

Подолец А.М., младший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Sergey F. Usoltsev**, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russia; e-mail: sergey.usoltzev@yandex.ru

Oleg V. Ivakin, Doctor of Science in Engineering, Lead Researcher

Roman V. Rybakov, Junior Researcher

Andrey M. Podolets, Junior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 04.02.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 11.04.2022
Дата публикации / Published 25.07.2022