

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИВОДА МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ КРУПНОГАБАРИТНОГО УКРЫТИЯ ЭКРАННОГО ТИПА

Усольцев С.Ф., Нестяк В.С., Ивакин О.В., Нестяк Г.В., Гончаренко Ю.В.

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

**Для цитирования:** 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

**For citation:** Usoltsev S.F., Nestyak V.S., Ivakin O.V., Nestyak G.V., Goncharenko Yu.V. Obosnovanie privoda mekhanizma upravleniya ventilyatsiei krupnogabaritnogo ukrytiya ekranного типа [Feasibility evaluation of the ventilation control mechanism drive of a large screen canopy] *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoy nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2019, vol. 49, no. 3, pp. 79–86. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-3-10

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Проведены исследования по повышению эффективности использования солнечной энергии и снижению технологических рисков при выращивании крупноплодных высокорослых сортов томатов в условиях недостаточной теплообеспеченности за счет автоматического управления приточно-вытяжной вентиляцией. Высокая вероятность поздних возвратных и ранних осенних заморозков в Западной Сибири создает угрозу полной потери урожая теплолюбивых овощных культур. Повышение теплообеспеченности периода вегетации возможно за счет использования парникового эффекта, возникающего в укрытиях и теплицах. В летний период дополнительная энергия создает опасность перегрева, которую можно устранить за счет автоматически управляемой приточно-вытяжной вентиляции. Проведенные в лабораторных условиях исследования показали, что автоматическое устройство за счет изменения ширины вытяжного проема стабильно удерживает температуру воздуха в пределах 26–27 °С, соответствующих биологическим требованиям растений. Открытие приточного проема повышает интенсивность потоков воздуха внутри укрытия. Гидравлический привод механизма управления вентиляцией путем автоматического регулирования ширины вытяжного проема устойчиво поддерживает температуру воздуха внутри установки в процессе нагрева,

## FEASIBILITY EVALUATION OF THE VENTILATION CONTROL MECHANISM DRIVE OF A LARGE SCREEN CANOPY

Usoltsev S.F., Nestyak V.S., Ivakin O.V., Nestyak G.V., Goncharenko Yu.V.

*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences*

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

The study was carried out on how to enhance the effectiveness of solar energy and reduce technological risks connected with growing large-fruited tall tomato varieties in conditions of insufficient heat supply by using automatically controlled inflow-and-exhaust ventilation. High probability of late recurring and early autumn frosts in Western Siberia poses a threat of complete harvest loss of thermophilic vegetable crops. Improvement of the heat supply during the growing period is possible due to the greenhouse effect occurring in canopies and greenhouses. In summer, additional energy creates the danger of overheating, which can be eliminated by an automatically controlled inflow-and-exhaust ventilation. Laboratory experiments showed that the automatic device consistently maintains air temperature within 26–27°C, which meets biological requirements of plants, by changing the width of the exhaust air aperture. Opening of the inflow air aperture increases the intensity of air flow inside the canopy. The hydraulic drive of the ventilation control mechanism consistently maintains the air temperature inside the canopy in the process of heating by means of automatic regulation of exhaust air aperture width, but it is ineffective in the cooling process due to high thermal inertia. Changing the height of the inflow

но неэффективен в процессе охлаждения из-за высокой тепловой инерции. Изменение высоты приточного проема от 0 до 0,3 м способствует повышению интенсивности воздухообмена и снижению температуры воздуха.

**Ключевые слова:** вентиляция, вентиляционный проем, воздушный поток, температура воздуха, лабораторная установка

air aperture from 0 to 0.3 m makes the intensity of air exchange increase and the air temperature decrease.

**Keywords:** ventilation, ventilation aperture, airflow, air temperature, laboratory installation

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях Сибири при выращивании теплолюбивых овощных культур основным источником технологических рисков является недостаток тепла. По климатическим условиям лесостепной зоны Западной Сибири для теплолюбивых овощных культур на первое место выходит фактор теплообеспеченности. Высокая вероятность поздних возвратных и ранних осенних заморозков создает реальную угрозу полной потери урожая [1–3].

На втором месте среди рисков находится влагообеспеченность. Недостаток влаги, особенно в период приживаемости рассады и интенсивного роста плодов, не приводит к гибели растений, но существенно снижает урожайность.

На третьем месте находится наличие питательных веществ, запасы которых в почве всегда присутствуют. Однако контроль за соотношением количества различных элементов питания в почве затруднен необходимостью выполнения большого количества химических анализов, поэтому в некоторых случаях значение фактора может повышаться.

На четвертое место можно поместить наличие солнечной радиации, которой в нашей зоне достаточно для развития растений.

В соответствии с предложенным ранжированием факторов следует подбирать

технологические процессы и комплексы технических средств, необходимые для приближения лимитирующих факторов к зоне оптимума.

Научная гипотеза заключается в том, что если в состав теплового баланса системы «почва – растение – приземный слой воздуха» ввести дополнительный элемент «парниковый эффект», снижающий отток тепла из системы за счет отражения части уходящей энергии внутрь, а также управляемый элемент «вентиляция», который изменяет отток энергии из системы за счет воздухообмена с внешней средой, то можно более эффективно использовать возобновляемый природный ресурс «солнечная энергия» для снижения технологических рисков потери урожая от недостатка тепла в начале и в конце вегетационного периода и избытка тепла – в середине<sup>1</sup> [4, 5].

Цель исследования – повысить эффективность использования солнечной энергии и снизить технологические риски при выращивании крупноплодных высокорослых сортов томатов в крупногабаритных укрытиях за счет автоматического управления приточно-вытяжной вентиляцией.

Задача исследования – изучить взаимосвязь температуры и скорости воздушных потоков с размерами вентиляционных проемов крупногабаритного укрытия экранного типа.

<sup>1</sup>Бурлаков В.С. Разработка и исследование принципиальных конструкций гелеоэлектрических установок для подогрева воды и воздуха // Сб. науч. трудов ХЗВИ. Харьков, 2001. Вып. 9. Ч. 3. С. 261–264.

Повышение температуры воздуха в зоне роста растений достигается путем использования различных защитных сооружений – от простейших укрытий, устанавливаемых на период угрозы заморозков, до автоматизированных тепличных комплексов [6].

Крупногабаритные укрытия занимают промежуточное положение между укрытиями экранного типа, разработанными в СибИМЭ, и грунтовыми арочными теплицами с поликарбонатным покрытием, получившими широкое распространение в Сибири. Все три типа защитных сооружений предназначены для повышения температуры воздуха в зоне растений в течение всего периода вегетации.

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 укрытий с помощью естественной управляемой приточно-вытяжной вентиляции [7–9].

Для осуществления естественной приточно-вытяжной вентиляции необходимо иметь два управляемых проема: приточный и вытяжной. Процесс управления вентиляцией заключается в открытии и закрытии проемов в зависимости от температуры воздуха внутри укрытия. В качестве исполнительных механизмов можно применять:

- электропривод;
- тепловое объемное расширение жидкости или твердого тела;
- линейное расширение биметаллических пластин.

Применение теплового расширения жидкости в гидроцилиндрах – наиболее простой и дешевый способ управления от-

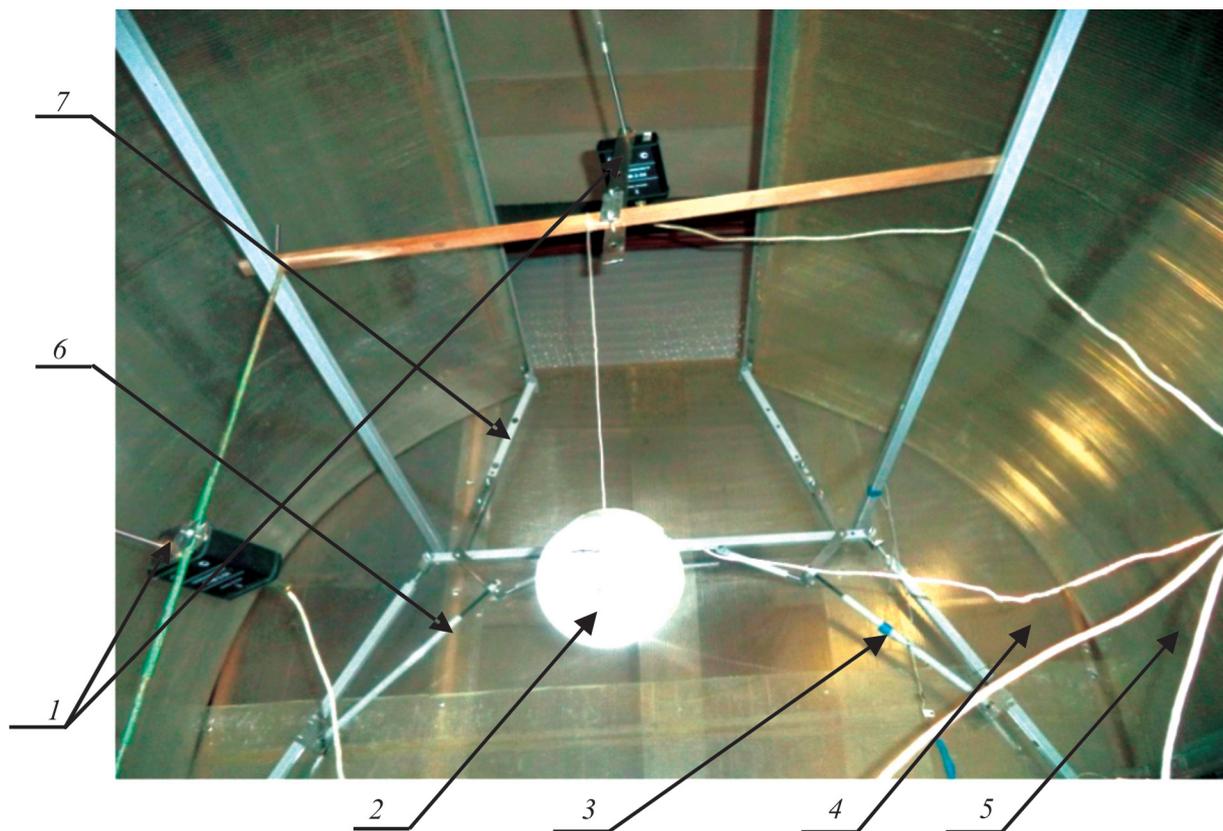
крытием вентиляции. Данный способ применяют в теплицах, парниках и в других культивационных сооружениях. Обратный ход механизма при охлаждении происходит за счет пружин, сжимаемых при открытии вентиляционных проемов. Ветровые колебания двери блокируются гидравлическим амортизатором [10].

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Лабораторная установка (см. рис. 1) для обоснования параметров механизма открытия вентиляции спроектирована и изготовлена на основе патента на способ моделирования температурных полей [11]. Корпус установки состоит из боковых и торцовых стенок. Промежуток между верхними краями боковых стенок образует верхний вытяжной проем. Края боковых стенок через плоский рычажный механизм связаны с управляющими гидроцилиндрами. Выход штока гидроцилиндра зависит от температуры находящегося внутри рабочего вещества. В установке использован готовый термопривод для открывания дверей [12]:

- регулируемая длина устройства 33–44 см;
- величина хода штока 10 см;
- температурный диапазон  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\dots +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- температура открытия  $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- температура закрытия  $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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 архивирования результатов измерений использовали комплект приборов, в который входят модуль сбора данных МСД 100, адаптеры RS485-USB, ноутбук.



**Рис. 1.** Лабораторная установка:

1 – термоанемометры ТТМ 2-04; 2 – датчик температуры воздуха внутри укрытия; 3 – датчик температуры корпуса гидроцилиндра; 4 – торцевая стенка; 5 – боковая стенка; 6 – гидроцилиндр; 7 – рычажный механизм

**Fig. 1.** Laboratory installation:

1 – heat loss anemometers TTM 2-04; 2 – sensor of the air temperature inside the canopy, 3 – temperature sensor of the hydraulic cylinder frame; 4 – back wall, 5 – side wall; 6 – hydraulic cylinder; 7 – leverage mechanism

Высоту приточного (нижнего) проема устанавливали вручную и изменяли от 0 до 0,3 м с интервалом 0,1 м. Пределы варьирования фактора выбраны исходя из рекомендаций площади вентиляционных проемов в теплицах – 25% от площади ограждения [11].

Температура воздуха в помещении, где проходил эксперимент, составляла 18–20 °С, поэтому в исходном состоянии вытяжной проем был полностью закрыт. Нагрев воздуха внутри установки осуществляли за счет нагревательных лент «теплый пол». Опыты проводили следующим образом.

После установки высоты приточного проема включали нагревательные элементы и через каждые 5 мин проводили изме-

рение ширины вытяжного проема. Опыт длился до тех пор, пока не прекращался рост измеряемой ширины проема. После этого нагревательные элементы отключали, а измерения продолжали до полного закрытия вытяжного проема. Результаты измерения остальных параметров автоматически записывались в память компьютера. Обработку результатов измерений проводили с помощью программы «Excel».

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате опытов получена динамика изменения температуры и скорости воздушных потоков внутри укрытия при изменении ширины вытяжного проема. Из приведенного на рис. 2 графика следует, что открытие приточного проема повыша-

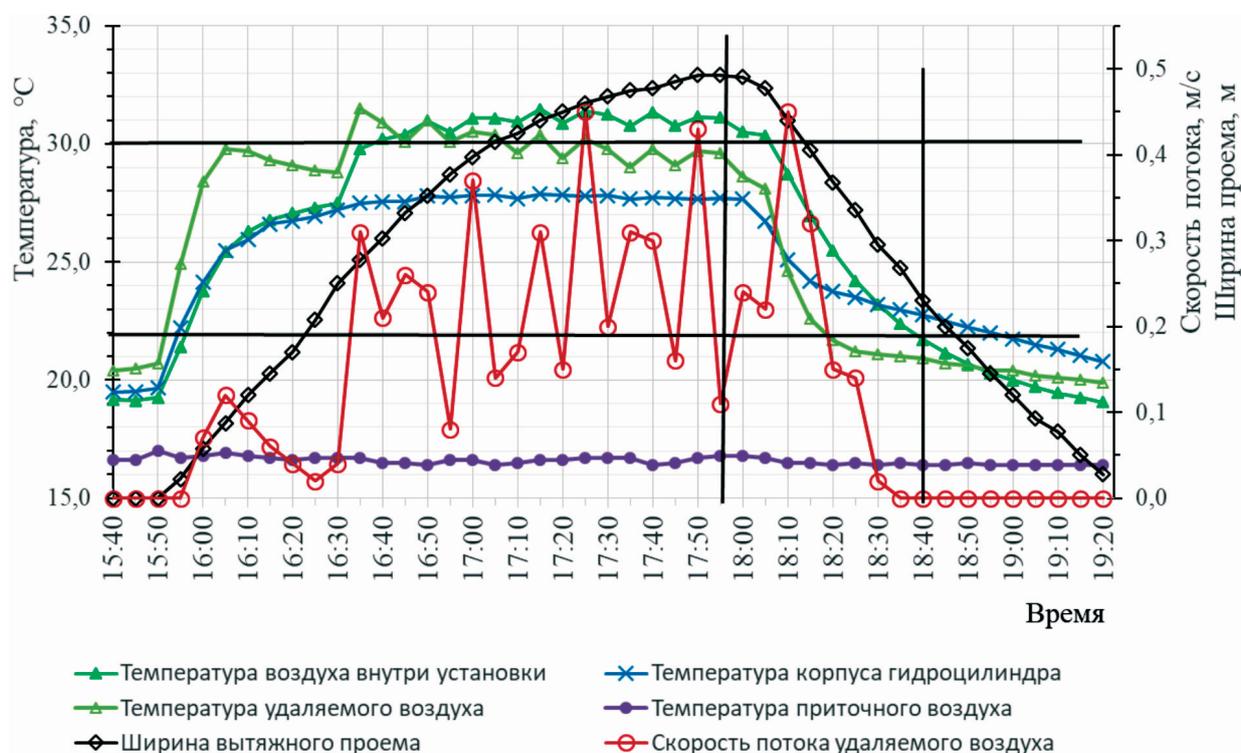
ет интенсивность потоков воздуха внутри укрытия. В результате равновесное состояние между притоком тепла от нагревателей и его выносом устанавливается при температуре воздуха в укрытии около 30 °С и ширине вытяжного проема 0,5 м. Длительность периода снижения температуры удаляемого воздуха после выключения нагрева составляет 45 мин.

Зависимости параметров воздушного потока и ширины вытяжного проема от высоты приточного проема приведены на рис. 3.

С увеличением высоты приточного проема до 0,2–0,3 м скорость воздушного потока стабилизируется в диапазоне 0,15–0,17 м/с. Температура воздуха в установившемся режиме не превышает 25 °С при ширине вытяжного проема не более 0,3 м. Длительность периода снижения температуры удаляемого воздуха после выключения нагрева составляет 30 мин. Отсюда следует, что управление размером приточного проема оказывает существен-

ное влияние на интенсивность вентиляции и является необходимым элементом автоматической системы приточно-вытяжной вентиляции. Недостаток заключается в высокой инерции системы. После выключения нагревателей корпус гидроцилиндра остывает медленнее воздуха, поэтому закрытие вентиляции заканчивается при температуре воздуха 20 °С, что существенно ниже оптимальной.

Из приведенных графиков следует, что ширина вытяжного проема, а также скорости и температуры воздушных потоков в укрытии линейны и обратно пропорциональны размерам приточного проема. Это объясняется тем, что температура внешнего воздуха значительно ниже температуры воздуха внутри укрытия. Справедливость полученных зависимостей при более высокой температуре внешнего воздуха требует дальнейшей экспериментальной проверки.



**Рис. 2.** Динамика изменения характеристик воздушного потока при закрытом приточном проеме  
**Fig. 2.** Dynamics of the change in the parameters of the air flow with the inflow aperture closed

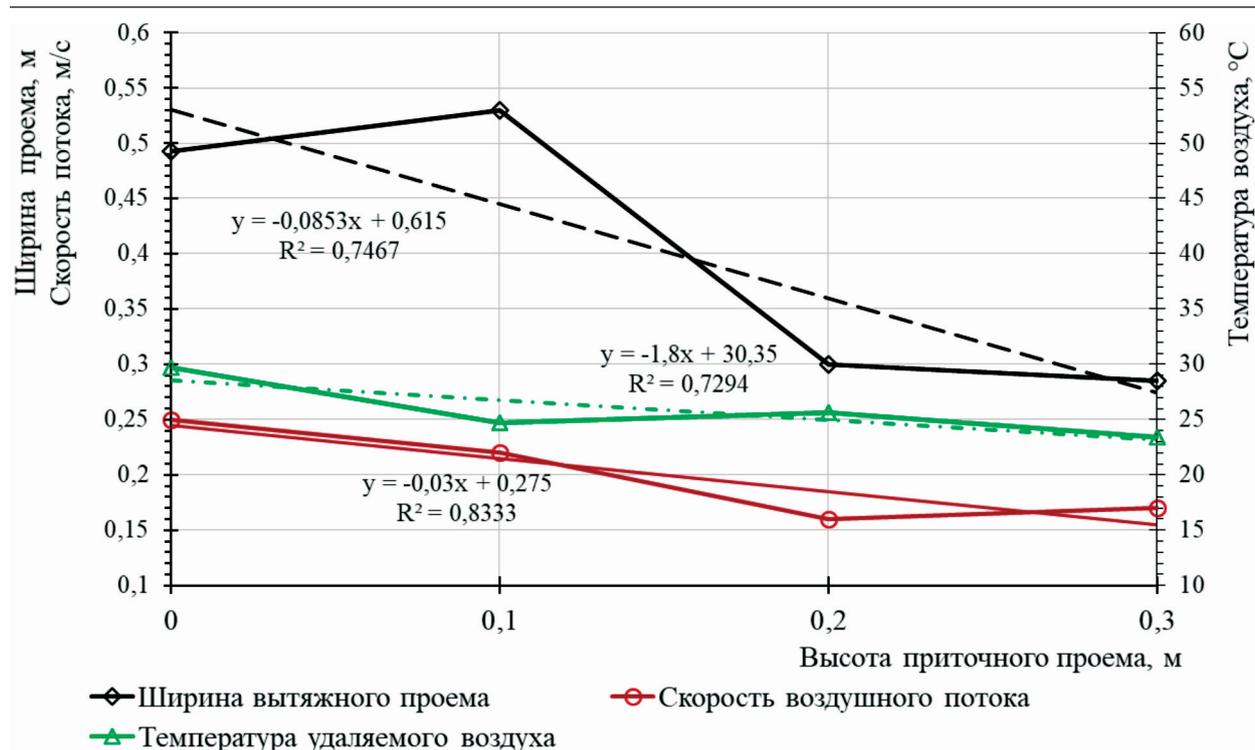


Рис. 3. Зависимости параметров воздушного потока и ширины вытяжного проема от высоты приточного проема

Fig. 3. Dependencies of the parameters of the air flow and exhaust aperture width on the height of the inflow aperture

## ВЫВОДЫ

1. Гидравлический привод механизма управления вентиляцией путем автоматического регулирования ширины вытяжного проема устойчиво поддерживает температуру воздуха внутри установки в процессе нагрева, но неэффективен в процессе охлаждения из-за высокой тепловой инерции.

2. Изменение высоты приточного проема от 0 до 0,3 м способствует повышению интенсивности воздухообмена и снижению температуры воздуха. Требуется экспериментальная проверка в реальных условиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усольцев С.Ф., Нестяк В.С. Применение фитомониторинга для оценки индекса водного стресса // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 77–85.

2. Ларионов Ю.С. Закон плодородия почв – основа новой парадигмы сельскохозяйственного производства // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2015. № 4 (32). С. 120–133.
3. Конев А.В., Ломакин В.С., Матвеевко, Якушев В.В. Структура представления производственных процессов в системе поддержки принятия агротехнологических решений // Агрофизика. 2018. № 1. С. 24–36.
4. Голуб Г.А. Микроклимат сооружений для выращивания грибов // Вестник аграрной науки. 2003. № 10. С. 46–49.
5. Тайсаева В.Т., Мазаев Л.Р. Солнечные теплицы в условиях Сибири: монография. Улан-Удэ: Издательство БГСХА, 2011. 200 с.
6. Нестяк В.С., Чепурин Г.Е., Ивакин О.В., Усольцев С.Ф. Защитные экраны – резервные возможности для овощеводства // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 8. С. 83–86.
7. Гудевич И.Г. Теплотехнический расчет теплицы для выращивания рассады табака //

- Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2005. № 10. С. 8–10.
- Цанава В.Ш., Иванов И.А. Современные пленочные теплицы // Вестник овощевода. 2009. № 3. С. 26–30.
  - Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент / Е.В. Аметистов, В.А. Григорьев, Б.Т. Емцев и др. / под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. 512 с.
  - Данилова И.А. Анализ известных конструкций теплиц с точки зрения возможности их автоматизации // Теория и практика создания тренажеров: накопление и обработка информации, информационные модели, средства информатизации. Пенза: Издательство Пензенского государственного технологического университета, 2015. С. 130–137.
  - Арюпин В.В., Усольцев С.Ф., Нестяк В.С. Обоснование конструктивно-технологических параметров укрытия для выращивания овощных культур в Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2009. № 9 (201). С. 87–92.
  - Колчина Л.М. Тенденции развития производства овощной продукции в защищенном грунте // Техника и оборудование для села. 2016. № 9. С. 12–16.
  - in the back-up system of decision-making in agriculture]. *Agrofizika* [Agrophysics], 2018, no. 1, pp. 24–36. (In Russian).
  - Golub G.A. Mikroklimat sooruzhenii dlya vyrashchivaniya gribov [Microclimate of the structures for growing mushrooms]. *Vestnik agrarnoi nauki Buryatskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Vestnik of Agrarian Science of Buryat State Academy of Agriculture], 2003, no. 10, pp. 46–49. (In Russian).
  - Taisaeva V.T., Mazaev L.R. Solnechnye teplitsy v usloviyakh Sibiri [Solar greenhouses in the conditions of Siberia], *Ulan-Ude: Izdatel'stvo Buryatskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Ulan-Ude: publishing house of Buryat State Academy of Agriculture], 2011, 200 p. (In Russian).
  - Nestyak V.S., Chepurin G.E., Ivakin O.V., Usol'tsev S.F. Zashchitnye ekrany – rezervnye vozmozhnosti dlya ovoshchevodstva [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).
  - Gudevich I.G. Teplotekhnicheskii raschet teplitsy dlya vyrashchivaniya rassady tabaka [Thermotechnical calculation of the greenhouse for tobacco growing], *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva* [Mechanization and Electrification of Agriculture], 2005, no. 10, pp. 8–10. (In Russian).
  - Tsanava V.Sh., Ivanov I.A. Sovremennye ple-nochnye teplitsy [Modern plastic film greenhouse], *Vestnik ovoshchevoda* [Bulletin of the Vegetable Grower], 2009, no. 3, pp. 26–30. (In Russian).
  - Ametistov E.V., Grigor'ev V.A., Emtsev B.T. pod obshch. red. Grigor'eva V.A. i Zorina V.M. Teplo- i massoobmen. Teplotekhnicheskii eksperiment [Heat and mass exchange. Thermotechnical experiment], M.: Energoizdat Publ., 1982. 512 p. (In Russian).
  - Danilova I.A. Analiz izvestnykh konstruktssii teplits s tochki zreniya vozmozhnosti ikh avtomatizatsii [Analysis of the known greenhouses structures in terms of possible automating]. *Teoriya i praktika sozdaniya trenazherov: nakoplenie i obrabotka informatsii, informatsionnye modeli, sredstva informatizatsii* [The theory and practice of creation of simulators: information accumulation and processing, in-

## REFERENCES

- Usol'tsev S.F., Nestyak V.S. Primenenie fitomonitoringa dlya otsenki indeksa vodnogo stressa [Application of phytomonitoring for estimating the water stress index] *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 77–85. (In Russian).
- Larionov Yu.S. Zakon plodorodiya pochv – osnova novoi paradigmy sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva [Soil fertility law – the basis of new paradigm of agricultural production]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii* [Vestnik of Siberian State University of Geosystems and Technologies], 2015, no. 4 (32), pp. 120–133. (In Russian).
- Konev A.V., Lomakin V.S., Matveenko, Yakushev V.V. Struktura predstavleniya proizvodstvennykh protsessov v sisteme podderzhki priyatya agrotekhnologicheskikh reshenii [The structure of production processes presentation

- formational models, information system development]. Penza: Izdatel'stvo Penzenskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Penza: publishing house of Penza State Technological University], 2015, pp. 130–137. (In Russian).
11. Arypin V.V., Usol'tsev S.F., Nestyak V.S. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh para-metrov ukrytiya dlya vyrashchivaniya ovoshchnykh kul'tur v Sibiri [Feasibility evaluation of constructive and technological parameters of canopies for growing vegetables in Siberia]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2009, no. 9 (201), pp. 87–92. (In Russian).
12. Kolchina L.M. Tendentsii razvitiya proizvodstva ovoshchnoi produktsii v zashchishchenom grunte [Development trends in production of vegetables in protected ground]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and equipment for the countryside], 2016, no. 9, pp. 12–16. (In Russian).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

**Нестяк В.С.**, доктор технических наук, заведующий лабораторией

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

**Нестяк Г.В.**, старший научный сотрудник

**Гончаренко Ю.В.**, младший научный сотрудник

#### Финансовая поддержка

Исследования выполнены за счет бюджетного финансирования по теме 0778-2016-0084.

#### AUTHOR INFORMATION

✉ **Usoltsev S.F.**, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: sergey.usolczev@yandex.ru

**Nestyak V.S.**, Doctor of Science in Engineering, Laboratory Head

**Ivakin O.V.**, Doctor of Science in Engineering, Lead Researcher

**Nestyak G.V.**, Senior Researcher

**Goncharenko Yu.V.**, Junior Researcher

*Дата поступления статьи 27.04.2019*

*Received by the editors 27.04.2019*