

DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-53-58

**Блажнов А.А.**

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина  
Россия, 302019, г. Орёл, ул. Генерала Родина, 69  
E-mail:blazhnov47@mail.ru

## ПОЛИКАРБОНАТНЫЕ ТЕПЛИЦЫ С ТРАНСФОРМИРУЕМОЙ КРОВЛЕЙ

**Аннотация.** Рассмотрены однопролётные арочные и рамные теплицы с поликарбонатной кровлей. Культивационные сооружения такого типа поставляются заводами-изготовителями для малых форм хозяйствования. Поликарбонатная кровля имеет ряд преимуществ перед плёночным и стеклянным ограждением: обеспечивает энергосбережение в холодное время года, хорошо сопротивляется ударным нагрузкам, не требует эксплуатационных затрат. Однако в летний период вследствие парникового эффекта в поликарбонатной теплице возможно значительное повышение температуры, снижающее выход сельскохозяйственной продукции и ухудшающее её качество. Максимальное понижение температуры в сооружении возможно при естественном воздухообмене через ленточный вентиляционный проём, создаваемый посредством подъёма коньковой части кровли. По результатам эксперимента на модели теплицы установлены необходимые для снижения внутренней температуры аэрационные параметры – ширина ленточного проёма и высота подъёма кровли, выраженные в функции пролёта культивационного сооружения. Рассмотрена возможность снижения затрат на строительство теплицы в хозяйствах малых форм собственности по сравнению с затратами на теплицы заводской поставки. Предложена конструктивная схема однопролётной рамной теплицы построения с каркасом из прокатных профилей с узловыми соединениями на сварке и ограждающими конструкциями из поликарбонатных панелей. Выведены зависимости для определения энергоэкономичных объёмно-планировочных размеров сооружения и расхода стали на элементы каркаса в функции влияющих на него параметров. Для первых трёх снеговых районов обоснован шаг рам каркаса, соответствующий минимуму расхода стали.

**Ключевые слова:** поликарбонатная теплица, аэрация теплицы, параметры каркаса теплицы.

**Введение.** Ограждающие конструкции теплиц из поликарбонатных панелей имеют ряд преимуществ по сравнению с плёночным и стеклянным ограждением (основное преимущество – снижение энергозатрат в холодное время года), что обусловило распространение поликарбонатных теплиц как в России, так и за рубежом [1–14]. Однако в летнее время при отсутствии естественной вентиляции температура в сооружении может значительно превышать технологически требуемую и губительно отражаться на выращиваемых культурах, что определяет необходимость обеспечения эффективной аэрации теплицы. Заводская поставка поликарбонатных теплиц требует от застройщика значительных единовременных затрат, увеличивает срок окупаемости сооружения и снижает рентабельность производства. В связи с этим экономически приемлемым решением является изготовление каркаса теплицы в построечных условиях из прокатных стальных профилей с узловыми соединениями на сварке с последующей укладкой поликарбонатных панелей, позволяющее значительно сократить затраты на строительство и не требующее специального оборудования. Для практической реализации такого технического решения необходимо обоснование оптимальных строительных параметров каркаса.

**Основная часть.** Поликарбонатные теплицы круглогодичного и сезонного использования находят всё большее применение в хозяйствах различных форм собственности. Спрос на теплицы обусловлен значительным увеличением выхода сельскохозяйственной продукции из культивационного сооружения по сравнению с открытым грунтом, а также экономией энергозатрат на отопление в холодный период года. Одним из факторов, отрицательно влияющим на выход тепличной продукции, является высокая внутренняя температура воздуха в тёплый период года. Так, по требованиям норм технологического проектирования теплиц НТП 10–95 температура воздуха для плодоношения огурцов и томатов должна находиться в пределах 22–26 °С. Однако в летнее время температура в теплицах с поликарбонатной кровлей при отсутствии вентиляции вследствие парникового эффекта может достигать 45–50 °С, что значительно снижает урожайность выращиваемых культур.

Эффективно снизить внутреннюю температуру можно посредством удаления перегретого воздуха через ленточный аэрационный проём в верхней части покрытия теплицы [15]. Регулирование температуры в сооружении осуществляется подъёмом коньковой части кровли.

Необходимые для требуемого снижения внутренней температуры аэрационные параметры (ширина проёма в верхней части покрытия, высота подъёма коньковой части кровли) определялись на модели теплицы, изготовленной в масштабе 1:5 применительно к теплице пролётом 9 м (рис. 1, а). Устанавливаемые в процессе исследования параметры считались достаточными, если температура воздуха внутри модели незначительно отличалась от наружной. Для определения рациональных параметров варьировались ширина проёма (а) в покрытии модели теплицы и высота (h) подъёма верхней части кровли (рис. 1, б). Для измерения наружной и внутренней температуры воздуха использовался дистанционный пирометр. На рис. 1, б на отдельных осях абсцисс указаны соотношения исследованных аэрационных параметров, по оси ординат – перепад температур между наружным и внутренним воздухом



$$\Delta t = t_{\text{НАР}} - t_{\text{ВН}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{НАР}}$  – температура воздуха на открытой местности, °С;  $t_{\text{ВН}}$  – температура воздуха внутри модели теплицы при открытом вентиляционном проёме, °С.

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

- температура воздуха в модели сооружения примерно соответствовала наружной температуре (разность температур  $\approx 1$  °С) при ширине открытого вентиляционного проёма равной 0,2 пролёта (ширины) модели – график 1 на рис. 1, б;
- примерное равенство наружной и внутренней температур (разность температур  $\approx 1$  °С) обеспечивалось при высоте подъёма (h) коньковой части кровли равной 0,5 ширины вентиляционного проёма (a) равной 0,2L – график 2 на рис. 1, б.

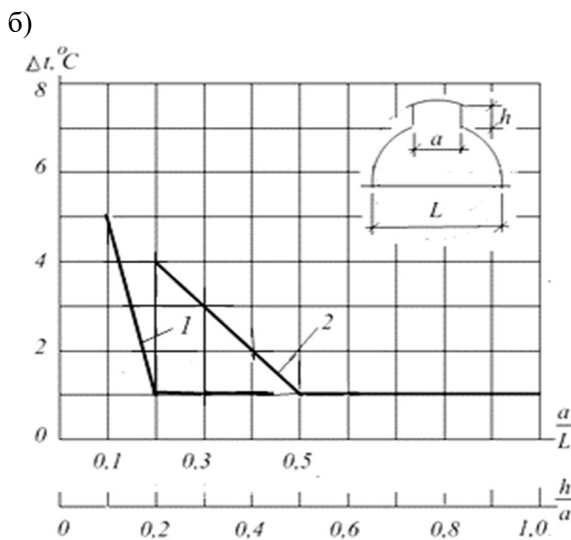


Рис. 1. а – модель теплицы; б – результаты исследования:

- 1 – влияние соотношения ширины проёма (а) к пролёту модели (L) на перепад температур  $\Delta t$ , °С;
- 2 – влияние соотношения высоты подъёма кровли (h) к ширине проёма (a) на перепад температур  $\Delta t$ , °С

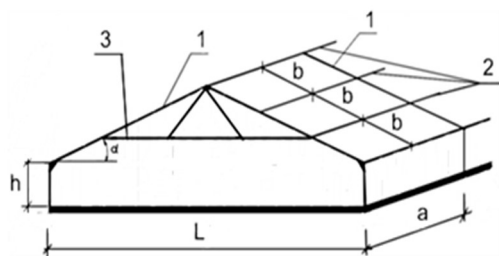


Рис. 2. Конструктивная схема теплицы:

- 1 – сплошная рама из швеллеров;
- 2 – прогоны из гнутых или прокатных профилей;
- 3 – затяжка

Полученные результаты могут быть экстраполированы на реальные культивационные сооружения, в том числе и рамной конструкции

(рис. 2), характеризуемой лучшим коэффициентом ограждения (отношением площади ограждающих конструкций к площади застройки), чем арочная теплица. Так, для рамной теплицы площадью 500 м<sup>2</sup> с оптимальными объемно-планировочными параметрами коэффициент ограждения равен 1,55, для арочной теплицы такой же площади – 1,65. То есть, примерно на 6 % площадь поликарбонатного ограждения и теплопотери в холодное время года у рамной теплицы будут меньше.

Заводская поставка и монтаж теплиц требуют значительных единовременных затрат, изменяющихся в зависимости от типа сооружения и его инженерного оснащения от 2 до 5 тысяч руб/м<sup>2</sup> [6], что в дальнейшем может обусловить

нерентабельность производства. Значительно сократить затраты на строительство (в 2–3 раза) возможно при изготовлении теплицы непосредственно в хозяйстве. С целью снижения затрат обосновывались объёмно-планировочные параметры сооружения, разрабатывалась и оптимизировалась конструктивная схема теплицы построения из прокатных профилей с узловыми соединениями на сварке (рис. 2). Площадь теплицы в соответствии с номенклатурой теплиц для фермерских хозяйств в нормах технологического проектирования теплиц НТП10-95 принималась равной 500 м<sup>2</sup>. Определялся оптимальный пролёт сооружения, соответствующий минимуму коэффициента ограждения (Когр)

$$K_{огр} = \frac{2h}{L} + \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{2h}{A} + \frac{L}{2A} \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где  $h$  – высота продольного светопрозрачного ограждения (в соответствии с СП 107.13330.2012 «Теплицы и парники» для ангарных теплиц минимально равная 1,5 м);  $L$  и  $A$  – соответственно пролёт и длина теплицы ( $A = F/L$ , где  $F$  – принятая площадь теплицы);  $\alpha$  – угол наклона скатов кровли (не менее 25° по СП 107.13330.2012).

Заменив  $A = F/L$  в формуле (2) и про дифференцировав выражение по  $L$ , после преобразований получим кубическое уравнение, из которого после подстановки  $h$  и  $\operatorname{tg} \alpha$  установим пролёт теплицы, соответствующий минимуму коэффициента ограждения:  $L_{опт} = 12$  м.

Для определения оптимальных строительных параметров каркаса устанавливались закономерности изменения расхода металла на основные конструктивные элементы теплицы (прогоны, рамы) в зависимости от влияющих на них факторов. Для прогонов из швеллеров при угле наклона скатов  $\alpha=30^\circ$  установлена зависимость расхода стали на 1 м<sup>2</sup> площади теплицы

$$G_{III} = \frac{q^H a^3}{93,12} + \frac{4,1}{b} \text{ кг/м}^2, \quad (3)$$

где  $a$  – пролёт прогона (шаг рам каркаса), м;  $q^H$  – нормативное значение нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия, кН/м<sup>2</sup>;  $b$  – расстояние между прогонами, м.

Из зависимости (3) следует, что с увеличением шага прогонов расход стали на них снижается (величина  $b$  находится в знаменателе). Максимальный шаг прогонов ( $b_{max}$ ), ограничиваемый предельно допустимой деформацией кровельных поликарбонатных панелей ( $f$ ), определялся из формулы

$$f = \frac{b}{150} = k \frac{q^H b^4}{EI}, \text{ откуда } b_{max} = \sqrt[3]{\frac{0,007EI}{kq^H}}, \quad (4)$$

где  $E$  – модуль упругости поликарбонатных листов равный 2 300 Н/мм<sup>2</sup> по DIN 53457;  $I$  – момент инерции 1 м ширины поликарбонатного листа толщиной 16 мм равный 9,75 см<sup>4</sup> [6];  $k$  – коэффициент, учитывающий прогиб листов при многопролётной схеме опирания, равный 0,0068 [16].

Установлено, что для I снегового района по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» ( $q^H = 0,22$  кН/м<sup>2</sup>)  $b_{max} = 1,20$  м, для II района ( $q^H = 0,424$  кН/м<sup>2</sup>) – 1,0 м, для III района ( $q^H = 0,636$  кН/м<sup>2</sup>) – 0,85 м.

Для нахождения закономерностей расхода стали на рамы каркаса теплицы применялась статистическая обработка результатов вычислений [17–19]. Так, для I – III снеговых районов установлены следующие зависимости расхода стали на рамы каркаса

$$G_I = 1,01 + 0,091L + \frac{5,35}{a} + \frac{0,5L}{a} \text{ кг/м}^2, \quad (5)$$

$$G_{II} = 1,63 + 0,10L + \frac{5,21}{a} + \frac{0,64L}{a} \text{ кг/м}^2, \quad (6)$$

$$G_{III} = 1,63 + 0,12L + \frac{5,21}{a} + \frac{0,76L}{a} \text{ кг/м}^2, \quad (7)$$

Сварные рамы каркаса сплошного сечения рассчитывались как бесшарнирные. По сравнению с более лёгкими сквозными рамами сплошные рамы проще в изготовлении, монтаже и защите от коррозии в условиях фермерского хозяйства. Элементы рам подбирались из прокатных швеллеров по ГОСТ 8240 – 97 «Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент». Расход стали на рамы определялся в основном вертикальной нагрузкой, изменение ветровой нагрузки от 0,20 до 0,40 кН/м<sup>2</sup> расход стали увеличивало незначительно.

Шаг рам, соответствующий минимуму расхода стали на каркас сооружения для конкретного снегового района, устанавливался суммированием зависимости (3) и соответствующей зависимости из (5–7), дифференцированием полученного выражения по  $a$  и подстановкой в производную значений  $L_{опт}$  и  $q^H$ . Так, для I снегового района при  $L_{опт} = 12$  м и  $q^H = 0,22$  кН/м<sup>2</sup> оптимальный шаг рам каркаса  $a_{опт} = 6,35$  м, для II района  $a_{опт} = 5,55$  м, для I II района  $a_{опт} = 5,15$  м. Для установленных оптимальных значений шага рам удельный расход стали на каркас в I, II и III снеговых районах соответственно равен 7,9, 10,0 и 11,8 кг/м<sup>2</sup>.

**Выводы.** Показана возможность аэрации поликарбонатных теплиц арочной и рамной конструктивных форм посредством устройства ленточного вентиляционного проёма в коньковой части сооружения и перемещения верхней части

кровли в вертикальной плоскости. Экспериментом на модели теплицы определены необходимые для требуемого снижения внутренней температуры аэрационные параметры в функции пролёта теплицы.

С целью снижения единовременных затрат для малых форм хозяйствования предложена однопролётная теплица построочного изготовления с рамным каркасом из прокатных профилей с узловыми соединениями на сварке. Обоснованы рациональные строительные параметры сооружения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блажнов А.А. О применении сотового поликарбоната в ограждающих конструкциях зимних теплиц // Вестник строительства и архитектуры. 2017. №6. С. 96–106.
2. Саттарова Р. Сотовый поликарбонат – теплосберегающее покрытие для фермерских теплиц // ГАВРИШ. 2017. №2. С. 48–49.
3. Мухачёв А.Д. Применение поликарбонатов в качестве энергоэффективной светопрозрачной конструкции // Образование, наука, производство: материалы VII Междунар. молодежного форума. БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: Изд-во БГТУ. 2015. С.1326-1329.
4. Нуралин Б.Н., Некрасов В. Г., Мурзагадиев А.Ж., Шевченко С.А., Константинов М.М. Зимние теплицы для континентального климата // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. №3(65). С.81–84.
5. Новикова Ю.К., Голованова Л.А. Обзор современных светопрозрачных материалов // Новые идеи нового века - 2015: материалы XV Междунар. науч. конф. ФАДТОГУ. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет. 2015. Т.3. С. 260–265.
6. Блажнов А.А., Фетисова М.А. Производственные сооружения для фермерских хозяйств. Орёл: ООО ПФ «Картуш». 2017, 132 с.
7. Юдаев И.В. Изучение светопропускающих свойств сотового поликарбоната–покровного материала круглогодичных теплиц // Научный журнал Кубанского ГАУ. 2016. №120(06). С. 239-252.
8. Свойства поликарбоната и его широкое применение в современном мире [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://promresursy.com/materialy/polimery/polikarbonat/svoistva.html> (дата обращения: 14.10.2019).
9. Преимущества поликарбонатных теплиц [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://samostrojka.ru/materialy/preimushhestva-polikarbonatnyh-teplic.html> (дата обращения: 14.10.2019).
10. Теплицы Фермер от производителя [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [msk.teplicy.ru](https://msk.teplicy.ru) (дата обращения: 14.10.2019).
11. Теплицы из поликарбоната: преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://dekoriko.ru/teplica/iz-polikarbonata-preimushchestva-i-nedostatki> (дата обращения: 14.10.2019).
12. Қазақстанда поликарбонаттан жасалған жылыжайлар [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://sat.kz/Teplitsy-iz-polikarbonata.html> (дата обращения: 11.10.2019).
13. Теплиці з полікарбонату в Україні [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://prom.ua/Teplitsy-iz-polikarbonata.html> (дата обращения: 15.10.2019).
14. Цяпліцы беларускай вытворчасці [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://pan.by/dacha-issad/teplitsy-parniki-i-ukryvnoy-material/teplitsy-belarus> (дата обращения: 15.10.2019).
15. Пат.193004, Российская Федерация, МПК А01G9/24(2006.01). Устройство для естественной вентиляции теплиц / А.А. Блажнов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. № 2019102444; заявл. 29.01.2019; опубл. 09.10. 2019, Бюл. №2 8.
16. Справочник проектировщика. Расчётно-теоретический/ под ред. А.А.Уманского. В 2 кн. Кн.1. М.: Стройиздат. 1972, 600 с.
17. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика. 2004, 656 с.
18. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2013, 432 с.
19. Елисеева И.И. Практикум по эконометрике. М.: Финансы и статистика. 2005, 192 с.

### Информация об авторах

**Блажнов Александр Александрович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры агропромышленного и гражданского строительства. E-mail: [blazhnov47@mail.ru](mailto:blazhnov47@mail.ru). Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. Россия, 302019, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69.

Поступила в октябре 2019 г.

© Блажнов А.А. 2019

**Blazhnov A.A.**

Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin

Russia, 302019, Oryol, General Rodina St., 69

\*E-mail: blazhnov47@mail.ru

**POLYCARBONATE GREENHOUSES WITH CONVERTIBLE ROOF**

**Abstract.** Single-span arch and frame greenhouses with polycarbonate roof are considered. Cultivation facilities of this type are supplied by manufacturers for small forms of management. Polycarbonate roof has a number of advantages over plastic and glass fencing: it provides energy saving during the cold season, resists impact loads and does not require operating costs. However, during the summer, due to the greenhouse effect in the polycarbonate greenhouse, a significant temperature increase is possible, reducing the yield of agricultural products and deteriorating its quality. The maximum decrease in temperature in the structure is possible with natural air exchange through a tape ventilation opening created by lifting the ridge part of the roof. According to the results of the experiment, the aeration parameters necessary to reduce the internal temperature are established on the model of the greenhouse - the width of the tape opening and the height of the roof, expressed as a function of the span of the cultivation structure. The possibility of reducing the costs for the construction of a greenhouse in small form of ownership farms compared to the costs for the greenhouse of the factory supply are considered. The constructive scheme of a single-span frame greenhouse of construction production with a frame from rolling profiles with nodal connections on welding and enclosing designs from polycarbonate panels is offered. The dependences for determination of energy-efficient space-planning dimensions of the structure and steel consumption on the frame elements as a function of the parameters influencing it are derived. For the first three snow areas the pitch of frame frames corresponding to the minimum of steel consumption is justified.

**Keywords:** polycarbonate greenhouse, greenhouse aeration, greenhouse frame parameters.

**REFERENCES**

1. Blazhnov A.A. On the application of cellular polycarbonate walling winter greenhouses [O primeneni sotovogo polikarbonata v ograzhdayushchih konstrukciyah zimnih teplic]. Bulletin of construction and architecture No. 6. 2017. Pp. 96–106. (rus)
2. Sattarova R. Polycarbonate – heat-saving coating for farm greenhouses [Sotovyy polikarbonat – teplosberegayushchee pokrytie dlya fermerskih teplic]. GAVRISH. Moscow. Research Institute of vegetable growing of the protected ground. 2017. No. 2. Pp. 48–49. (rus)
3. Muhachyov A.D. Use of polycarbonates as energy-efficient glass design [Primenenie polikarbonatov v kachestve ehnergoehffektivnojsvetoprozrachnoj konstrukcii]. Proceedings VII international youth forum «Education, science, production». Belgorod state technological University named after V. G. Shukhov. 2015. Pp. 1326–1329. (rus)
4. Nuralin B.N., Nekrasov V.G., Murzagaliev A. Zh., Shevchenko S.A., Konstantinov M. M. Winter greenhouses for continental climate [Zimnie teplicity dlya kontinental'nogo klimata]. Bulletin of the Orenburg state agrarian University. 2017. No. 3(65). Pp. 81–84. (rus)
5. Novikova Yu.K., Golovanova L.A. Review of modern translucent materials [Obzor sovremennyh svetoprozrachnyh materialov]. Proceedings of the XV international scientific conference «The new Ideas of New Century – 2015». Khabarovsk. FADTOGU. 2015. V.3, Pp. 260–265. (rus)
6. Blazhnov A.A., Fetisova M.A. Production facilities for farms [Proizvodstvennye sooruzheniya dlya fermerskih hozyajstv]. Orel: Publishing house Kartush. 2017. 132 p. (rus)
7. Yudaev I.V. Investigation of the light transmitting properties of cellular polycarbonate - covering material of year-round greenhouses [Izuchenie svetopropuskayushchih svoystv sotovogo polikarbonata – pokrovnogo materiala kruglogodichnyh teplic]. Scientific journal of the Kuban GAU. 2016. No. 120 (06). Pp. 239–252. (rus)
8. Properties of polycarbonate and its wide application in the modern world. Available at: <https://promresursy.com/materialy/polimery/polikarbonat/svoistva.html> (accessed 14.10.2019). (rus)
9. Advantages of polycarbonate greenhouses. Available at: <https://samostrojka.ru/materialy/preimushhestva-polikarbonatnyh-teplic.html> (accessed 14.10.2019). (rus)
10. Greenhouse Farmer from the manufacturer. Available at: [msk.teplity.ru](http://msk.teplity.ru) (accessed 14.10.2019). (rus)
11. Polycarbonate greenhouses: advantages and disadvantages. Available at: <https://dekoriko.ru/teplica/iz-polikarbonata-preimushchestva-i-nedostatki> (accessed 14.10.2019). (rus)
12. Polycarbonate greenhouses in Kazakhstan. Available at: <https://satu.kz/Teplitsy-iz-polikarbonata.html> (accessed 11.10.2019). (rus)
13. Polycarbonate greenhouses in Ukraine. Available at: <https://prom.ua/Teplitsy-iz-polikarbonata.html> (accessed 15.10.2019). (rus)

14. Greenhouses of Belarusian production. Available at: <https://pan.by/dacha-i-sad/teplitsy-parniki-i-ukryvnoy-material/teplitsy-belarus> (accessed 15.10.2019). (rus)

15. Blazhnov A.A. Device for natural ventilation of greenhouses. Patent RF, no 2019102444, 2019.

16. Directory of the designer. Calculated-theoretical [Spravochnik proektirovshchika. Raschyotno-teoreticheskij]. Edited by A. A. Umansky. In 2 books. Book 1. Moscow: Stroizdat. 1972, 600 p. (rus)

17. Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. General theory of statistics [Obshchaya teoriya statistiki]. Moscow: Finance and statistics. 2004, 656 p. (rus)

18. Ajvazyan S.A. Applied statistics. Basic econometrics [Prikladnaya statistika. Osnovy ehkonometriki]. Moscow: UNITY-DANA. 2013, 432 p. (rus)

19. Eliseeva I.I. Workshop on econometrics [Praktikum po ehkonometrike]. Moscow: Finance and statistics. 2005, 192 p. (rus)

*Information about the authors*

**Blazhnov, Aleksander A.** PhD, Assistant professor. E-mail: [blazhnov47@mail.ru](mailto:blazhnov47@mail.ru). Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin. Russia, 302019, Orel, st. General Rodina, 69.

---

*Received in October 2019*

**Для цитирования:**

Блажнов А.А. Поликарбонатные теплицы с трансформируемой кровлей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 53–58. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-53-58

**For citation:**

Blazhnov A.A. Polycarbonate greenhouses with convertible roof. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 11. Pp. 53–58. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-53-58