

загальної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, Україна,
e-mail: eechaikovskaya@gmail.com.

Молодковець Богдан Іванович, кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: mrbohdan@gmail.com.

Чайковская Евгения Евстафьевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент, кафедра теоретической,

общей и нетрадиционной энергетики, Одесский национальный политехнический университет, Украина.

Молодковець Богдан Іванович, кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, Україна.

Chaikovskaya Eugene, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: eechaikovskaya@gmail.com.

Molodkovets Bogdan, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: mrbohdan@gmail.com

УДК 697.112.2

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37202

Овчаров С. В.,
Стребков А. А.,
Буряк А. В.

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ И КОММУНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

В статье рассмотрена проблема создания комбинированной системы отопления жилых домов и коммунальных объектов в сельской местности, альтернативной системе отопления при использовании природного газа. Проведен поиск возможных вариантов источников энергии, разработана методика оптимизации режима работы комбинированной системы отопления. Для этого определено необходимое количество энергии и составлен алгоритм работы системы автоматизации.

Ключевые слова: отопление, комбинированная система, источники энергии, автоматизация, алгоритм.

1. Введение

В Украине существует народно-хозяйственная проблема энергосбережения. Суть проблемы заключается в том, что собственными энергетическими ресурсами Украина обеспечена примерно лишь на 40 %. Одним из существенных потребителей энергии является жилищно-коммунальный сектор, который потребляет более 30 % покупаемого и добываемого природного газа на нужды теплоснабжения.

Закон Украины «Про енергозбереження» [1] и Программа Кабинета Министров [2] предполагают с целью экономии энергетических ресурсов оптимальное их использование и поиск альтернативных источников тепла для потребителей жилищно-коммунального сектора.

При теплоснабжении жилищно-коммунального сектора от централизованных источников большое количество тепловой энергии теряется в тепловых сетях, а также на транспортировку теплоносителя (например, горячей воды).

Поэтому одним из возможных направлений экономии энергии на цели отопления является разработка индивидуальных систем отопления, как для отдельных коммунальных объектов, так и для отдельных жилых домов или квартир. В этом случае остается нерешенным вопрос выбора источника энергии (природного газа, электрической энергии, твердого топлива), так как стоимость единиц указанной энергии зависит от величины ее потребления в течение месяца (для электрической) и с начала года (для газа), а также рыночной стоимости твердого топлива.

Поэтому в сельской местности необходима разработка комбинированной системы теплоснабжения жилых домов и коммунальных объектов.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Сегодня учеными в отрасли теплоснабжения разрабатываются и исследуются несколько направлений решения поставленной проблемы.

При централизованном теплоснабжении многоквартирных жилых домов:

- установка электрических котельных с аккумулярованием тепла в ночной период;
- установка модульных котельных на твердом топливе;
- использование энергоустановок на альтернативном топливе [3, 4];
- комбинированное использование гелиосистем с тепловыми насосами.

При децентрализованном теплоснабжении многоквартирных жилых домов:

- использование электрического отопления с аккумулярованием тепла в ночной период;
- использование энергоустановок с альтернативными источниками энергии;
- интегрированное использование существующих и разнородных возобновляемых источников с компенсирующими возможностями дефицита друг друга [5, 6].

Все указанные направления позволяют решить в некоторой мере проблему альтернативного децентрализованного теплоснабжения, но имеют некоторые недостатки.

Использование ночного тарифа на электроэнергию для аккумулирования тепла в этот период на нужды отопления может быть целесообразным для зданий с двухпериодным режимом электроснабжения. Такой режим обычно используется в зданиях общественного назначения [7]:

- учебные заведения;
- заведения культурного досуга;
- административные здания;
- студенческие общежития и так далее [8].

В таких зданиях температура в нерабочее время может быть снижена до 10 °С, что приводит к значительному уменьшению нагрузки на системы отопления. В ночные часы без существенного увеличения максимума нагрузки на электрические сети может быть выполнена зарядка теплового аккумулятора за счет электроэнергии. В рабочий период происходит разрядка аккумулятора тепла на нужды отопления [9].

Использование гелиосистем для теплоснабжения в зимний период может уменьшить потребление энерго-ресурсов, но ее удельная часть достаточно мала (обычно не более 10 %).

Атомные электростанции генерируют в Украине около 50 % всей вырабатываемой энергии. Существует большая проблема заполнения ночных провалов их электрической нагрузки.

Поэтому наиболее реальной альтернативой природному газу может стать электроэнергия, но для этого необходимо провести анализ существующих вариантов альтернативных систем теплоснабжения и обосновать наиболее целесообразные технические решения.

С другой стороны необходимо разработать методику оптимизации комбинированной системы отопления.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследования является процесс преобразования электрической энергии, энергии газообразного и твердого топлива, ветровой энергии в тепловую энергию.

Целью исследования является разработка комбинированной системы отопления жилых домов и коммунальных объектов в сельской местности.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- поиск возможных вариантов источников энергии для комбинированной системы отопления;
- разработка методики оптимизации режима работы комбинированной системы отопления.

4. Анализ возможных вариантов источников энергии для комбинированной системы отопления

Возможным источником энергии для системы отопления многоквартирных жилых домов и коммунальных объектов является централизованная система теплоснабжения. Для индивидуальных жилых домов в сельской местности может быть применена комбинированная система отопления и горячего водоснабжения.

Источниками энергии для комбинированной системы отопления и горячего водоснабжения жилых домов

и коммунальных объектов в сельской местности возможны: централизованные электротехнические системы, централизованные системы газоснабжения, индивидуальные твердотопливные котлы, альтернативные источники энергии — ветроэнергетические и гелиоустановки.

Предполагается при использовании солнечной энергии преобразовывать ее в энергию переменного синусоидального тока существующей частоты.

В течение календарного года количество часов с высокой интенсивностью солнечной энергии приходится в основном на период с апреля по октябрь месяцы и составляет примерно от 2500 до 3500 часов.

Если за счет этой полученной электрической энергии покрывать потребление электрической энергии жилым домом, то уменьшение количества электрической энергии, потребляемой от существующей электрической сети, может быть найдено следующим образом:

$$W_c = n \cdot P_c, \quad (1)$$

где n — число часов солнечной активности в году, ч; P_c — средняя активная мощность преобразованной солнечной энергии в течение времени солнечной активности, Вт.

В течение календарного года интенсивность ветрового потока систематически изменяется и зависит от скорости ветра.

Получим выражение мощности ветрового потока.

Ветер представляет собой механическое движение воздушных масс.

Запишем выражение кинетической энергии ветра:

$$W_b = \frac{m \vartheta_b^2}{2}, \quad (2)$$

где m — масса воздуха, кг; ϑ_b — скорость ветра, м/с.

Массу воздуха, который проходит за одну секунду через определенную площадь пространства, запишем следующим образом:

$$m = \rho S \vartheta_b, \quad (3)$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м³; S — площадь пространства, м².

Подставим (3) в (2) и получим выражение мощности воздушного потока:

$$P_b = \frac{1}{2} \rho S \vartheta_b^3. \quad (4)$$

Принимаем для определенных условий: $\rho = 1,32$ кг/м³. Тогда выражение (4) запишется следующим образом:

$$P_b = \frac{S \vartheta_b^3}{1500}, \quad (5)$$

где P_b — мощность ветрового потока, кВт.

Так как в течение времени t скорость ветра ϑ_b непрерывно изменяется, то количество ветровой энергии,

преобразованной в электрическую, за определенное время может быть найдено следующим образом:

$$W_B = \frac{S}{1500} \int_0^t \vartheta_B^3 \cdot dt. \quad (6)$$

Если за счет этой полученной электрической энергии покрывать потребление электрической энергии жилым домом, то уменьшение количества электрической энергии, потребляемой от существующей электрической сети, будет меньше на эту величину (до 20 %).

Для уменьшения стоимости электрической энергии, используемой для электроотопления жилого дома, можно воспользоваться многоставочным тарифом, используя электрическую энергию только в ночное время, когда провалы нагрузки в энергетической системе составляют до 40–50 %, а температура наружного воздуха в этот период самая низкая.

В сельской местности в качестве альтернативы может быть использовано твердое топливо: уголь, дрова, разнообразные горючие отходы сельскохозяйственного производства [10].

5. Разработка методики оптимизации режима работы комбинированной системы отопления

Рассмотрим два основных вопроса методики оптимизации режима работы комбинированной системы отопления: определение необходимого количества энергии для теплоснабжения жилого дома или коммунального объекта и работы системы автоматизации управления отопительным котлом.

Известно, что энергия, поступающая в жилой дом или коммунальный объект, расходуется в двух направлениях: идет на нагрев помещений и отдается в окружающую среду.

Энергия, которая идет на нагрев помещений, может быть выражена следующим образом:

$$W_H = Cdt, \quad (7)$$

где C — теплоемкость нагреваемого помещения, Дж/°С; τ — превышение температуры отопляемого помещения над температурой окружающей среды, °С.

Энергия, которая отдается в окружающую среду, может быть выражена следующим образом:

$$W_{cp} = L\tau dt, \quad (8)$$

где L — теплоотдача отопляемого помещения в окружающую среду, Дж/с·°С; t — текущее время, с.

Энергия, которая поступает в помещение, может быть выражена следующим образом:

$$W_H = Pdt, \quad (9)$$

где P — мощность источника теплоты, Вт.

Запишем дифференциальное уравнение энергетического баланса помещения:

$$Cd\tau + L\tau dt = Pdt. \quad (10)$$

Введем следующие обозначения:

$$\frac{C}{L} = T, \quad (11)$$

$$\frac{P}{L} = \tau_y. \quad (12)$$

Величина T называется постоянной времени нагрева помещения.

Величина τ_y называется установившимся превышением температуры помещения.

С учетом введенных обозначений уравнение (10) перепишем следующим образом:

$$T \frac{d\tau}{dt} + \tau = \tau_y. \quad (13)$$

Решение уравнения (13) дает выражение процесса нагрева (охлаждения) отопляемого помещения:

$$\tau = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_{нач} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (14)$$

где $\tau_{нач}$ — начальное превышение температуры отопляемого помещения над температурой окружающей среды, °С.

В установившемся режиме уравнение (10) принимает следующий вид:

$$L\tau_y = P, \quad (15)$$

$$\tau_y = \vartheta_y - \vartheta_{cp}, \quad (16)$$

где ϑ_y — установившаяся температура отопляемого помещения, °С; ϑ_{cp} — температура окружающей среды, °С.

Известно [11], что температура окружающей среды в течение суток изменяется по синусоидальному закону:

$$\vartheta_{cp} = \vartheta_0 + \vartheta_m \sin(\omega t + \psi_\vartheta), \quad (17)$$

где ϑ_0 — среднесуточная температура наружного воздуха, °С; ϑ_m — амплитуда колебания температуры наружного воздуха, °С; ω — круговая частота колебательного процесса, рад/ч; t — текущее время, ч; ψ_ϑ — начальная фаза колебания температуры наружного воздуха, рад.

Запишем выражение круговой частоты колебания температуры наружного воздуха:

$$\omega = 2\pi f, \quad (18)$$

$$f = \frac{1}{T}, \quad (19)$$

где f — частота колебания температуры наружного воздуха, $1/ч$; T — период колебания температуры наружного воздуха, ч.

Принимаем период колебаний температуры наружного воздуха равным 24 часам. Тогда частота колебания температуры наружного воздуха равна $1/24$ колебаний за час.

Определяем значение круговой частоты колебания температуры наружного воздуха:

$$\omega = \frac{2\pi}{24} = \frac{\pi}{12} \text{ рад/с.} \quad (20)$$

Тогда превышение температуры помещения над температурой окружающей среды запишем следующим образом:

$$\tau = \vartheta_y - \left(\vartheta_0 + \vartheta_m \sin \left(\frac{\pi}{12} t + \psi_{\vartheta} \right) \right). \quad (21)$$

В результате получаем выражение мощности теплоносителя, поступающего в помещение, во времени:

$$P = L \left(\vartheta_y - \left(\vartheta_0 + \vartheta_m \sin \left(\frac{\pi}{12} t + \psi_{\vartheta} \right) \right) \right), \quad (22)$$

где t — текущее время суток, ч.

Требуемое значение мощности теплоносителя в течение суток в зависимости от температуры окружающей среды и заданной температуры отапливаемого помещения запишется следующим образом:

$$P_{cp} = L(\vartheta_y - \vartheta_{cp}). \quad (23)$$

Графически указанная зависимость приведена на рис. 1.

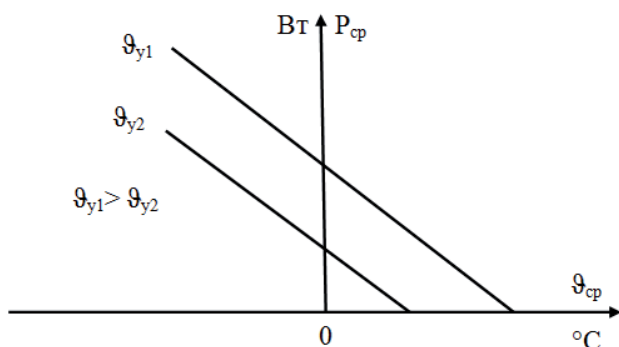


Рис. 1. Зависимости мощности теплоносителя P_{cp} от температуры окружающей среды ϑ_{cp} и заданной температуры отапливаемого помещения ϑ_{yi}

Теплоотдача отапливаемого помещения L может быть рассчитана или определена экспериментально.

Суммарная мощность теплоносителей при комбинированной системе отопления жилых домов и коммунальных объектов, как было показано ранее, может складываться из: мощности электрического котла, мощ-

ности газового котла, мощности твердотопливного котла, мощности ветроэнергетической установки, мощности гелиоустановки:

$$P = P_{\text{Э}} + P_{\text{Г}} + P_{\text{Т}} + P_{\text{В}} + P_{\text{С}}, \quad (24)$$

где $P_{\text{Э}}$ — мощность электрического котла, Вт; $P_{\text{Г}}$ — мощность газового котла, Вт; $P_{\text{Т}}$ — мощность твердотопливного котла, Вт; $P_{\text{В}}$ — мощность ветроэнергетической установки, Вт; $P_{\text{С}}$ — мощность гелиоустановки, Вт.

Варианты отопительных котлов, используемых для отопления помещений, могут быть приняты в зависимости от местных условий, то есть от одного до трех: из электрического, газового и твердотопливного с учетом мощности альтернативных источников (ветроэнергетической установки и гелиоустановки), которые добавляют мощность электрическому котлу.

Условием оптимального режима работы комбинированной системы отопления жилых домов и коммунальных объектов является минимальная стоимость суммарного количества энергии от различных источников.

Реализация указанного условия возможна за счет того, что стоимость электрической энергии и стоимость газа зависят от величины их потребления в течение месяца и в течение года (табл. 1). Регулируя мощности указанных выше котлов, а так же используя ветро- и гелиоустановки можно добиться минимизации стоимости суммарной энергии, расходуемой на отопление помещений.

Таблица 1

Цены на энергоносители в 2014 году

Цена электрической энергии по дневному тарифу, грн/кВт·ч	Цена электрической энергии по ночному тарифу, грн/кВт·ч	Цена газа при заданных лимитах, грн/м ³
0,3084 (до 150 кВт·ч в месяц)	0,1234 (до 150 кВт·ч в месяц)	1,089 (до 2500 м ³ в год)
0,4194 (от 150 кВт·ч до 800 кВт·ч в месяц)	0,1678 (от 150 кВт·ч до 800 кВт·ч в месяц)	1,788 (от 2500 м ³ до 6000 м ³ в год)
1,3404 (свыше 800 кВт·ч в месяц)	0,5362 (свыше 800 кВт·ч в месяц)	3,645 (свыше 6000 м ³ в год)

Предполагается при любых источниках энергии с целью ее экономии вводить в работу системы автоматического регулирования потребления тепловой энергии как жилым домом или коммунальным объектом в целом, так и отдельными их комнатами или помещениями.

Для регулирования мощности котла, необходимой для отопления жилого дома или коммунального объекта в целом в системе управления электрическим или газовым котлом использовать следующий алгоритм:

- измерение температуры окружающей среды (в течение часа — один раз);
- определение температуры отапливаемого помещения;
- расчет мощности котла в течение очередного часа работы по выражению:

$$P_{cp} = L(\vartheta_y - \vartheta_{cp}); \quad (25)$$

— регулирование мощности котла для очередного часа работы.

Для регулирования количества тепловой энергии, необходимой для отопления отдельных комнат или помещений, использовать терморегуляторы отопительных батарей.

6. Обсуждение результатов исследования комбинированной системы отопления жилых домов и коммунальных объектов в сельской местности

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке энергосберегающих систем отопления в сельской местности. Они помогают обосновать выбор вариантов источников энергии для комбинированной системы отопления: таких как электротехнические системы, системы газоснабжения, индивидуальные твердотопливные котлы, альтернативные источники энергии — ветроэнергетические и гелиоустановки.

Проведенные исследования являются продолжением исследований, изложенных в статье «Порівняльний аналіз систем децентралізованого тепlopостачання житлових будівель із використанням електроенергії» [7], в которой обосновываются мероприятия, необходимые при переводе отопления на использование электрической энергии. Реализация таких мероприятий требует значительных затрат.

Предложенная нами комбинированная система отопления жилых домов и коммунальных объектов в сельской местности при ее реализации не требует больших капитальных вложений на реконструкцию систем электроснабжения, так как использует ряд других видов энергии.

Предполагается разработка автоматизированной компьютерной системы управления процессом преобразования энергии в тепловую, которая обеспечит экономное расходование энергии.

7. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Были обоснованы возможные варианты источников энергии для комбинированной системы отопления: такие как электротехнические системы, системы газоснабжения, индивидуальные твердотопливные котлы, альтернативные источники энергии — ветроэнергетические и гелиоустановки.

2. Получено выражение мощности ветрового потока. Для многих районов Украины имеются большие потенциальные возможности использования ветровой энергии, особенно для южных и горных районов, что может существенно (до 20 %) покрывать потребности в энергии на цели отопления.

3. Показано, что использование электрической энергии на цели отопления может быть эффективным в ночное время, когда провалы нагрузки в энергетической системе составляют до 40–50 %, а температура наружного воздуха в этот период самая низкая.

4. Установлено, что температура окружающей среды в течение суток изменяется по синусоидальному закону, что следует учитывать при определении необходимой мощности теплоносителя.

5. Предложен метод определения требуемой мощности теплоносителя в течение времени суток (один раз в час) в функции температуры окружающей среды и заданной температуры в отапливаемом помещении.

6. Выбрано условие оптимального режима работы комбинированной системы отопления жилых домов и коммунальных объектов — минимальная стоимость суммарного количества энергии от различных источников.

7. Предложено с целью экономии энергии вводить в работу системы автоматического регулирования потребления тепловой энергии как жилым домом или коммунальным объектом в целом, так и отдельными их комнатами или помещениями.

Литература

1. Про енергозбереження [Текст]: Закон України № 74/94 від 01.07.1994 р. / Закони України. — Київ, 1997. — Т. 7. — С. 281–291.
2. Про стимулювання споживачів природного газу та теплової енергії до переходу на використання електричної енергії для опалення і підігріву води [Електронний ресурс]: Постанова від 16.10.2014 № 540 / Кабінет Міністрів України. — Режим доступу: \www/URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/540-2014-p>
3. Sivaramakrishna, N. Hybrid Power Generation through combined solar — wind power and modified solar panel [Text] / N. Sivaramakrishna, Ch. Kasi Ramakrishna Reddy // International Journal of Engineering Trends and Technology. — 2013. — Vol. 4, Iss. 5. — P. 1414–1417.
4. Zeghici, R. M. Energy performance assessment of a complex district heating system which uses gas-driven combined heat and power, heat pumps and high temperature aquifer thermal energy storage [Text] / R. M. Zeghici, A. Damian, R. Frunzulică, F. Iordache // Energy and Buildings. — 2014. — Vol. 84. — P. 142–151. doi:10.1016/j.enbuild.2014.07.061
5. Li, H. Performance investigation of a combined solar thermal heat pump heating system [Text] / H. Li, L. Sun, Y. Zhang // Applied Thermal Engineering. — 2014. — Vol. 71, № 1. — P. 460–468. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.07.012
6. White, J. Investigation of a Combined Air Source Heat Pump and Solar Thermal Heating System Within a Low Energy Research Home [Text] / J. White, M. Gillott, R. Gough // Progress in Sustainable Energy Technologies: Generating Renewable Energy. — Springer International Publishing, 2014. — P. 355–368. doi:10.1007/978-3-319-07896-0_19
7. Мазуренко, О. А. Порівняльний аналіз систем децентралізованого тепlopостачання житлових будівель із використанням електроенергії [Текст] / О. А. Мазуренко, О. А. Климчук, О. М. Шраменко, О. А. Сичова // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2014. — № 5/8(71). — С. 21–25. doi:10.15587/1729-4061.2014.28012
8. Денисова, А. Е. Аккумуляция энергии в гелиосистемах теплоснабжения [Текст] / А. Е. Денисова // Эко-технологии и ресурсосбережение. — 2002. — № 2. — С. 9–14.
9. Мишин, М. А. Тепловой режим жилых зданий [Текст] / М. А. Мишин // Ползуновский вестник. — 2011. — № 1. — С. 104–115.
10. Денисова, А. Е. Оцінка ефективності біогазових електростанцій [Текст] / А. Е. Денисова, Нго Мінь Хієу // Збірник наукових праць національний університет кораблебудування ім. НУК ім. адм. Макарова. — 2014. — № 5–6. — С. 118–122.
11. Овчаров, В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве [Текст] / В. В. Овчаров. — Киев: УСХ, 1990. — 168 с. — ISBN 5-7987-0044-5.

РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ І КОМУНАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ В СІЛЬСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ

В статті розглянута проблема створення комбінованої системи опалення житлових будинків і комунальних об'єктів в сільській місцевості, альтернативній системі опалення при використанні природного газу. Проведено пошук можливих варіантів джерел енергії, розроблена методика оптимізації режиму роботи комбінованої системи опалення. Для цього визначена необхідна кількість енергії та складено алгоритм роботи системи автоматизації.

Ключові слова: опалення, комбінована система, джерела енергії, автоматизація, алгоритм.

Овчаров Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической и общей электротехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина.

Стребков Александр Андреевич, аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина, e-mail: sashko@yandex.ru.

Буряк Анна Васильевна, аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина.

Овчаров Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической та загальної електротехніки, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, Україна.

Стребков Александр Андреевич, аспирант, кафедра теоретической та загальної електротехніки, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, Україна.

Буряк Анна Васильевна, аспирант, кафедра теоретической та загальної електротехніки, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, Україна.

Ovcharov Sergey, Tavia State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine.

Strebkov Alexandr, Tavia State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: sashko@yandex.ru.

Buriak Anna, Tavia State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine