



004617816

На правах рукописи

Б.З.81

Ахмед Торки Ахмед Джайлани

**Автономные системы электроснабжения фермерских хозяйств
Египта с использованием возобновляемых источников энергии**

Специальность 05.20.02 – «Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве»

Автореферат

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

16 ДЕК 2010

Москва 2010 г

Работа выполнена в ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина» и ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства».

Научный руководитель	доктор технических наук, академик РАСХН, профессор Стребков Дмитрий Семёнович
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Ильяхин Михаил Степанович доктор технических наук, профессор Коломиец Алексей Петрович
Ведущая организация	ФГОУ ВПО «Российский государственный аграрный заочный университет»

Защита диссертации состоится «13» декабря 2010 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д220.044.02 при ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина» по адресу: 127550, Москва, ул. Лиственничная аллея, д.16 А, корп. 3, конференц-зал ИНТК.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО МГАУ.

Автореферат разослан « 11 » ноября 2010 г.

и размещен на сайте www.msau.ru « 11 » ноября 2010 г

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.И. Загинайлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационной работы. Новые сельские регионы в Египте, являются типичными примерами энергоснабжения удаленных потребителей. Наличие большого количества рассредоточенных потребителей, электроснабжение которых может осуществляться только от автономных источников энергии, и проблемы в существующей децентрализованной системе энергообеспечения требуют решения актуальных вопросов развития и оптимизации электроснабжения изолированных потребителей. Таким образом, оптимизация систем энергообеспечения децентрализованных районов Египта с повышенными требованиями к надежности работы источников энергии является весьма актуальной задачей. Внедрение технологий возобновляемой энергетики при рациональном использовании может оказать помощь в энергообеспечении районов с недостаточной топливной базой и плохими транспортными условиями; решить проблему эффективного использования потребляемых ресурсов и вовлечения в энергетический баланс регионов неиспользуемых источников энергии и ресурсов; улучшить экологическую обстановку в местах производства электрической энергии, что будет способствовать ускоренному экономическому развитию регионов и улучшению социально-бытовых условий жизни населения.

Для решения вопросов оптимизации электроснабжения автономных потребителей требуется проведение ресурсных, технико-экономических, экологических и других обоснований целесообразности использования ВИЭ в децентрализованном электроснабжении и масштабов их внедрения в систему электроснабжения.

Целью данной диссертационного исследования является разработка автономных систем комбинированного электроснабжения фермерских хозяйств в Египте с использованием возобновляемых источников энергии и резервной жидко-топливной электростанции.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить потребность в электроэнергии автономными сельскими потребителями и климатические условия, главным образом, местные ресурсы возобновляемых источников энергии (ветра и солнца).
2. Разработать комбинированную электростанцию для автономного потребителя на базе солнечной фото-ветроэлектрической установки.
3. Провести оптимизацию и выбор оборудования системы электроснабжения сельских потребителей и исследовать возможность повышения надежности электроснабжения с использованием резервной жидко-топливной электростанции.
4. Провести исследования разработанной комбинированной солнечно-ветродизельной электростанции в реальных условиях эксплуатации.
5. Провести технико-экономический анализ.

Предметом исследования является обеспечение электроснабжения автономных сельских потребителей на основе использования возобновляемых источников энергии.

Объектом исследования является децентрализованная комбинированная солнечная фото-ветроэлектрическая установка, находящаяся в Московской области на ветрополигоне ВИЭСХ с учетом технических, экономических, экологических условий и потенциала ВИЭ на территории области.

Методы исследования.

1. Анализ и обобщение данных, приведенных в сборе работ научнотехнической литературе.
2. Методология системных исследований в энергетике.
3. Методы исследования надежности систем энергетики и техникоэкономического анализа систем на основе возобновляемых источников энергии.
4. Теории математического моделирования, позволяющей оценивать целесообразность использования различных энергисточников.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Обоснована эффективность использования комбинированных автономных систем электроснабжения фермерских хозяйств, позволяющая увеличить коэффициент обеспеченности электроснабжения.
2. Разработана математическая модель оптимизации подбора оборудования, необходимого для автономных комбинированных электростанций на основе возобновляемых источников энергии.
3. Получены результаты обследований потенциалов солнечной и ветровой энергии в районах расположения фермерских хозяйств в Египте.
4. Разработана солнечная электростанция с концентратором, позволяющая снизить площадь фотоприемника солнечной электростанции в 3-7 раз.

Получен патент РФ на изобретение № 2396493.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Анализ разработки комбинированной электростанции в климатических условиях Египта.
2. Математическая модель оптимизации выбора оборудования для использования возобновляемых источников энергии в составе комбинированной электростанции.
3. Результаты экспериментальных исследований комбинированной электростанции на базе солнечной фото-ветроэлектрической установки.
4. Результаты разработки солнечной установки с концентраторами.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Разработана автономная комбинированная электростанция для гарантированного электроснабжения автономных потребителей с использованием возобновляемых источников энергии.

2. Предложена методика оптимизации подбора оборудования комбинированной электростанции, обеспечивающая повышение надежности электроснабжения автономного потребителя.
3. Данные рекомендации по расчету параметров автономной солнечно-ветродизельной электростанции.

Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается использованием данных анализа научно-технической литературы; методологии системных исследований в энергетике; технико-экономического анализа систем на основе возобновляемых источников энергии; теории математического моделирования, позволяющей оценивать целесообразность использования различных энергоисточников.

Апробация работы. Материалы диссертации были использованы в научном отчете отдела «Возобновляемые источники энергии ГНУ ВИЭСХ 2009». Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждались на международной научно-технической конференции ГНУ ВИЭСХ (2010); заседании кафедры «Возобновляемая энергетика и электрификация сельского хозяйства» ФГОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина и заседании секции ученого совета ГНУ ВИЭСХ.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 2 статьи в журнале «Альтернативная энергетика и экология», 4 статьи в Вестнике ФГОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина (журналы, рекомендованные ВАК), в двух трудах международной научно-технической конференции ГНУ ВИЭСХ (2010) и получен патент РФ на изобретение № 2396493.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 144 страницы, включает 23 таблицы, 57 рисунок и 2 приложения. Список литературы включает 119 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, изложено краткое содержание глав диссертации, приведены цель и задачи исследования.

В первой главе рассматриваются современное состояние систем электроснабжения на базе ветроэлектрических и солнечных фотоэлектрических станций в мире, системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей в Египте, ресурсы местных источников энергии в Египте, преимущества и барьеры при использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Развитие ветроэнергетики непосредственно связано с общим процессом диверсификации, наблюдаемом сегодня на 16 рынках мира, установленная ветроэнергетическая мощность каждого из которых превышает 1000 МВт, причем в 2007 году таких стран было всего 13. Установленная мощность национальных ветроэнергетических секторов в 32 странах мира превысила более

100 МВт, три года назад этот показатель равнялся 24 странам. В США темпы роста ветроэнергетики составили 50%, а в Китае - 107%. Болгария продемонстрировала наибольшие темпы роста ветроэнергетики в мире - 177%, стартовав, практически, с низкого уровня. Кроме того, динамика роста ветроэнергетической отрасли выше средней наблюдалась и на рынках таких стран как Австралия, Польша, Турция и Ирландия.

Достоинством фотоэлектрических СЭС является низкие эксплуатационные расходы 0,07 цента/кВт.ч, и могут устанавливаться в горной местности, на крышах и фасадах зданий, в пустынях и в странах с влажным тропическим климатом. Концентраторы увеличивают эффективность СЭ и приводят к снижению потребления дорогостоящего полупроводникового материала на единицу мощности, однако при этом возникают дополнительные расходы на производство концентраторов, системы охлаждения СЭ и системы слежения. Кроме того, концентраторы обычно используют только прямую солнечную радиацию, которая в условиях средней полосы России составляет 50% от суммарной солнечной радиации. Это означает, что концентраторный солнечный модуль будет при одинаковом КПД вырабатывать в 2 раза меньше энергии, по сравнению с солнечным модулем без концентратора. Поэтому солнечные электростанции с концентраторами необходимо использовать в пустынях и других районах, где прямая солнечная радиация близка к суммарной солнечной радиации, а диффузная компонента солнечной радиации незначительна. Современные технологии полупроводниковой электроники и нанотехнологии позволяют увеличить КПД СЭ в ближайшие годы до 25-30% и снизить стоимость фотоэлектрических СЭС с концентраторами и кремниевыми СЭ до уровня 2000 долл./кВт.

Системы электроснабжения на территории Египта можно разделить по источникам на две основные системы:

1. Системы электроснабжения на базе традиционных источников энергии (ТИЭ): эти системы главным образом зависят от природного газа и используют дизельных электростанций (ДЭС). Эти электростанции обычно подключаются в централизованной сети. Однако маломощные ДЭС, которые используют фермеры, не подключены в сети.
2. Системы электроснабжения на базе ВИЭ: эти системы, главным образом, на базе гидравлических электростанций (ГЭС), ветровых станций и солнечных тепловых электростанций. Несколько из них уже подключены в сети. Что касается СФЭУ, то эти системы ещё мало распространены из-за их высокой стоимости, но следует подчеркнуть, что и на индивидуальном и на государственном уровне возникло несколько направлений применения СФЭУ, в то время как ГЭС и ВЭС до сих пор являются только государственной собственностью.

Основными энергоресурсами в Египте вплоть до 2009 г. были нефть, природный газ, гидравлические энергоресурсы, ветровая энергия и солнечная энергия. Общая выработка электроэнергии в Египте в 2008/2009 составляла

131040 ГВт.ч. Доля ВИЭ была 931 ГВт.ч от ветровых электростанций и 14682 ГВт.ч от гидроэлектростанций, т.е. доля ВИЭ в производстве электроэнергии составила 12%, в том числе 0,7% от ветровых электростанций и 11,3% от гидроэлектростанций.

Во второй главе приведена методология разработки комбинированных электростанций (Комб.ЭС), методы исследования надежности систем энергетики и технико-экономического анализа систем электроснабжения, позволяющей оценивать целесообразность использования Комб.ЭС на основе ВИЭ.

Мощность солнечной фотоэлектрической установки (СФЭУ) ($P_{\text{СФЭУ}}$, Вт_{пик}), определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{СФЭУ}} = P_{\text{ном,СФЭУ}} \times f_{\text{СФЭУ}} \times \left[\frac{G_T}{G_{\text{н.у}}} \right] \times [1 + \alpha_p (T_c - T_{\text{н.у}})], \quad (1)$$

где: $P_{\text{ном,СФЭУ}}$ - номинальная мощность СФЭУ, Вт; $f_{\text{СФЭУ}}$ - Коэффициент снижения выработки мощности СФЭУ, учитывающий потери электроэнергии без использования АБ; G_T - солнечная радиация, поступающая на фотоэлектрические модули, Вт/м²; $G_{\text{н.у}}$ - солнечная радиация, поступающая на фотоэлектрические модули при нормальных условиях (1000 Вт/м²); α_p - температурный коэффициент мощности, °C⁻¹; T_c - температура поверхности СФЭУ, °C; $T_{\text{н.у}}$ - температура при нормальных условиях (25°C).

Выработка электроэнергии от СФЭУ выражается следующим образом:

$$E_{\text{СФЭУ}} = P_{\text{СФЭУ}} \times t_{\text{сол.}} \quad (2)$$

При использовании АБ в системе нужно учитывать потери в зарядном устройстве и АБ. Таким образом, номинальная мощность СФЭУ определяется выражением:

$$P_{\text{ном,СФЭУ}} = \frac{E_{\text{СФЭУ}}}{K_{\text{СФЭУ}} \times t_{\text{пик,осв.}} \times [1 + \alpha_p (T_c - T_{\text{н.у}})]}, \quad (3)$$

где: $t_{\text{пик,осв.}}$ - расчётные среднесуточные освещённости в пиковых часах при стандартной солнечной радиации $G_{\text{н.у}} = 1000$ Вт/м², определяющиеся выражением:

$$t_{\text{пик,осв.}} = \left[\frac{G_T}{G_{\text{н.у}}} \right] \times t_{\text{сол.}}, \quad (4)$$

$t_{\text{сол.}}$ - среднесуточные солнечные часы, ч; $K_{\text{СФЭУ}}$ - общий коэффициент, учитывающий все потери при передаче энергии от ФЭУ к потребителю, который определяется по формуле:

$$K_{\text{СФЭУ}} = f_{\text{СФЭУ}} \times \eta_{\text{з.у}} \times \eta_{\text{АБ}}, \quad (5)$$

$\eta_{\text{з.у}}$ - КПД зарядного устройства АБ; $\eta_{\text{АБ}}$ - КПД АБ.

Таким образом, номинальная мощность СФЭУ определяется следующим образом:

$$P_{\text{ном,СФЭУ}} = \frac{H}{K_{\text{СФЭУ}} \times t_{\text{пик,осв.}}}, \quad (6)$$

где: H - величина суточного потребления электроэнергии в доме (Вт.ч/сутки); P_i - номинальная мощность прибора, Вт; t_i - суточный режим эксплуатации

бытового прибора, ч/сутки;

С одной стороны, средняя мощность на валу ВЭУ может быть определена из выражения:

$$P_{ВЭУ} = 0,5 \times \xi \times \rho_{воз} \times v_{мин}^3 \times p(v) \times A_{ом}, \quad (7)$$

где: ξ - коэффициент полезного действия ВЭУ; $\rho_{воз}$ - плотность воздуха на уровне ступицы ветроколеса (кг/м^3); $v_{мин}$ - среднемесячная скорость ветра на уровне ступицы ветроколеса, м/с (минимальная в пределах выбранного промежутка времени); $p(v)$ - коэффициент распределения скорости ветра; A - ометаемая площадь ветроколеса, м^2 ;

С другой стороны:

$$P_{ВЭУ} = \frac{N}{t_{сут.эк} \times K_{ВЭУ}}, \quad (8)$$

где: $t_{сут.эк}$ - число часов в сутки, в течение которых эксплуатируется ВЭУ, ч; $K_{ВЭУ}$ - общий коэффициент, учитывающий все потери при передаче энергии от ВЭУ к потребителю, который определяется по формуле:

$$K_{ВЭУ} = \eta_{yx} \times \eta_{зв} \times \eta_{AB} \times \eta_{инв}, \quad (9)$$

η_{yx} - коэффициент, учитывающий ухудшение номинальных характеристик ВЭУ из-за влияния погодных условий; $\eta_{инв}$ - КПД инвертора.

Таким образом, получим следующую формулу для определения минимальной требуемой ометаемой площади ветроколеса:

$$A_{ом} = \frac{N}{Z_{ВЭУ} \times v_{мин}^3 \times K_{ВЭУ}}, \quad (10)$$

$Z_{ВЭУ}$ - коэффициент (кг.ч/м^3), который определяется выражением:

$$Z_{ВЭУ} = 0,5 \times \xi \times p(v) \times T_{сут} \times \rho, \quad (11)$$

Если КПД ВЭУ составляет около 0,25; число часов в сутки, в течение которых эксплуатируется ВЭУ 24 часа, плотность воздуха $1,225 \text{ кг/м}^3$ и распределение скоростей ветра за год имеет типичный характер т.е. $p(v) = 6/\pi$, то величина $Z_{ВЭУ}$ составит около 7 кг.ч/м^3 .

Минимальная требуемая мощность СФЭУ в комбинированной электрической установке для автономного потребителя определяется следующим образом:

$$P_{СФЭУ} = A_{ом} \times K_{Комб.ЭС}, \quad (12)$$

$K_{Комб.ЭС}$ - относительный коэффициент комбинированной системы, Вт/м^2 который выражается:

$$K_{Комб.ЭС} = Z_{ВЭУ} \times \frac{K_{ВЭУ}}{K_{СФЭУ}} \times \frac{(V_{мин}^3 - V_{макс}^3)}{(t_{пик,осв 1} - t_{пик,осв 2})}, \quad (13)$$

где: $t_{пик,осв 1}$ - минимальные расчётные среднесуточные освещённости, пиковых часов; $t_{пик,осв 2}$ - максимальные расчётные среднесуточные освещённости, пиковых часов.

Ометаемая площадь ветроколеса выражается следующим образом:

$$A_{ом} = \frac{N}{Z_{ВЭУ} \times K_{ВЭУ} \times V_{макс}^3 + K_{Комб.ЭС} \times E_{мин} \times K_{СФЭУ}} \quad (14)$$

Расчетная ёмкость АБ (q_{AB}) для гарантированного электроснабжения определяется по формуле:

$$q_{AB} = \frac{H \times K_{\Sigma} \times T_{рез}}{U_{AB} \times D_{ур}}, \quad (15)$$

где: K_{Σ} - коэффициент запаса энергии АБ $K_{\Sigma} > 1,0$; $T_{рез}$ - время резервного электроснабжения, сутки; $D_{ур}$ - коэффициент уровня допустимого разряда АБ ($0,5 < \mu < 1,0$).

Жидко-топливная электростанция (ЖТЭ) является резервным источником энергии, повышающим надёжность автономной системы в условиях отсутствия достаточной солнечной радиации или ветра, а так же осуществляющий зарядку АБ. Расчет требуемой мощности ЖТЭ проводится следующим:

$$E_{ЖТЭ} = 2H_r - (E_{ВЭУ} + E_{СФЭУ}) \quad (16)$$

где: $E_{ВЭУ,г}$ - годовая выработка электроэнергии ВЭУ, кВт.ч/г; $E_{СФЭУ,г}$ - годовая выработка электроэнергии СФЭУ, кВт.ч/г; $E_{ЖТЭ,г}$ - необходимая выработка электроэнергии ЖТЭ, кВт.ч/г; H_r - годовое потребление электроэнергии, кВт.ч/г.

Зависимость потребности в топливе для ЖТЭ от нагрузки выражается:

$$F = F_0 + F_1 P_{ЖТЭ}, \quad (17)$$

где: F - потребность в топливе, л/ч; $P_{ЖТЭ}$ - мощность ЖТЭ, кВт; F_0 - расход топлива в режиме холостого хода, л/ч; F_1 - удельный расход топлива, л/кВт.ч;

Аккумуляторная батарея (АБ) рассматривается как источник. Определение энергии, запасённой в АБ во время зарядки и разрядки:

1. Во время зарядки, когда выработка электроэнергии от СФЭУ и ВЭУ больше, чем энергия, запасённая в АБ:

$$E_{AB}(t) = E_{AB}(t-1) \times (1 - \sigma) + [E_{СФЭУ}(t) + E_{ВЭУ}(t) - \frac{H(t)}{\eta_{инв}}] \times \eta_{AB,з}, \quad (18)$$

2. Во время разрядки, когда общее потребление превышает производство электроэнергии СФЭУ и ВЭУ, электроэнергия АБ определяется следующим образом:

$$E_{AB}(t) = E_{AB}(t-1) \times (1 - \sigma) - \left[\frac{H(t)}{\eta_{инв}} - (E_{СФЭУ}(t) + E_{ВЭУ}(t)) \right] \times \frac{1}{\eta_{AB,р}}, \quad (19)$$

где: $E_{AB}(t)$ и $E_{AB}(t-1)$ - электроэнергия в АБ (Вт.ч) при времени t и $(t-1)$, ч; $\eta_{AB,з}$ - КПД АБ во время зарядки; $\eta_{AB,р}$ - КПД АБ во время разрядки; σ - коэффициент саморазряда АБ; $E_{СФЭУ}(t)$ - выработка электроэнергии от СФЭУ в конце периода t , Вт.ч; $E_{ВЭУ}(t)$ - выработка электроэнергии от ВЭУ в конце периода t , Вт.ч; $H(t)$ - общее потребление в период t ; $\eta_{инв}$ - КПД инвертора; Δt - шаг времени, ч.

Мощность ВЭУ $P_{ВЭУ}$ должно быть моделироваться в зависимости от её мощностных характеристик следующим образом:

$$P_{взв} = P(v) = \begin{cases} 0, v < v_{\min} \\ a_1 v^3 + a_2 v^2 + a_3 v + a_4, v_{\min} \leq v < v_1 \\ b_1 v^3 + b_2 v^2 + b_3 v + b_4, v_1 \leq v \leq v_{\max} \\ 0, v > v_{\max} \end{cases} \quad (20)$$

где: v - скорость ветра на высоте флюгера, м/с; v_1 - расчетная скорость ветра, м/с; $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3$ и b_4 - константы.

Скорость ветра (v) на высоте (h) (высота ВЭУ на месте испытания) отличается от скорости ветра на (v_o) высоте (h_o), на которой производились измерения:

$$v_1 = v_o \left[\frac{h_1}{h_o} \right]^m, \quad (21)$$

где: v_1 - скорость ветра на высоте ветроагрегата h_1 ; v_o - измеряемая скорость ветра на высоте анемометра h_o . m - Для условий континентальной России, Главная Геофизическая Обсерватория им. Воейкова рекомендует использовать степенной коэффициент $m = 0,20$.

Для достижения оптимальной конфигурации комбинированных электростанций была разработана модель расчета в зависимости от известного научно-технического подхода, определяющего вероятность дефицита электроснабжения (рис. 1). Метод состоит из следующих процедур расчета:

Общая выработка электроэнергии Комб.ЭС определяется:

$$E_{\text{Комб.ЭС}}(t) = E_{\text{СФЭУ}}(t) + E_{\text{взу}}(t), \quad (22)$$

Неиспользуемая электроэнергия ($E_{\text{неисп.}}$) определяется следующим образом:

$$E_{\text{неисп.}}(t) = E_{\text{Комб.ЭС}}(t) - \left\{ E_{\text{инв}}(t) + \left[\frac{E_{\text{АБ макс}}(t) - E_{\text{АБ}}(t-1)}{\eta_{\text{АБ,э}}} \right] \right\}, \quad (23)$$

где: $E_{\text{инв}}$ - исходная электроэнергия инвертора:

$$E_{\text{инв}} = \frac{N}{\eta_{\text{инв}}}, \quad (24)$$

Дефицит электроснабжения за шаг времени можно рассчитать:

$$E_{\text{деф.}}(t) = N(t) - [(E_{\text{СФЭУ}}(t) + E_{\text{взу}}(t)) + E_{\text{АБ}}(t-1) - E_{\text{АБ мин}}(t)] \times \eta_{\text{инв}}, \quad (25)$$

Вероятность дефицита электроснабжения ($L_{\text{деф.}}$) может быть определена отношением:

$$L_{\text{деф.}} = \sum_{n=1}^{8760} E_{\text{деф.}}(t) / \sum_{n=1}^{8760} E_{\text{инв}}, \quad (26)$$

Для анализа Комб.ЭС можно использовать две концепции:

1. коэффициент обеспеченности электроснабжения потребителей ($K_{\text{об}}$):

$$K_{\text{об}} = 1 - L_{\text{деф.}}, \quad (27)$$

2. коэффициент неиспользуемой электроэнергии ($K_{\text{неисп.}}$):

$$K_{\text{неисп.}} = \sum_{n=1}^{8760} E_{\text{неисп.}}(t) / \sum_{n=1}^{8760} E_{\text{Комб.ЭС}}(t), \quad (28)$$

Для данной величины $K_{\text{об}}$ в течение определенного периода может удовлетворять необходимые требования к надежности энергоснабжения, и оптимальная конфигурация будет получена путем достижения низкой стоимости 1кВт.ч.

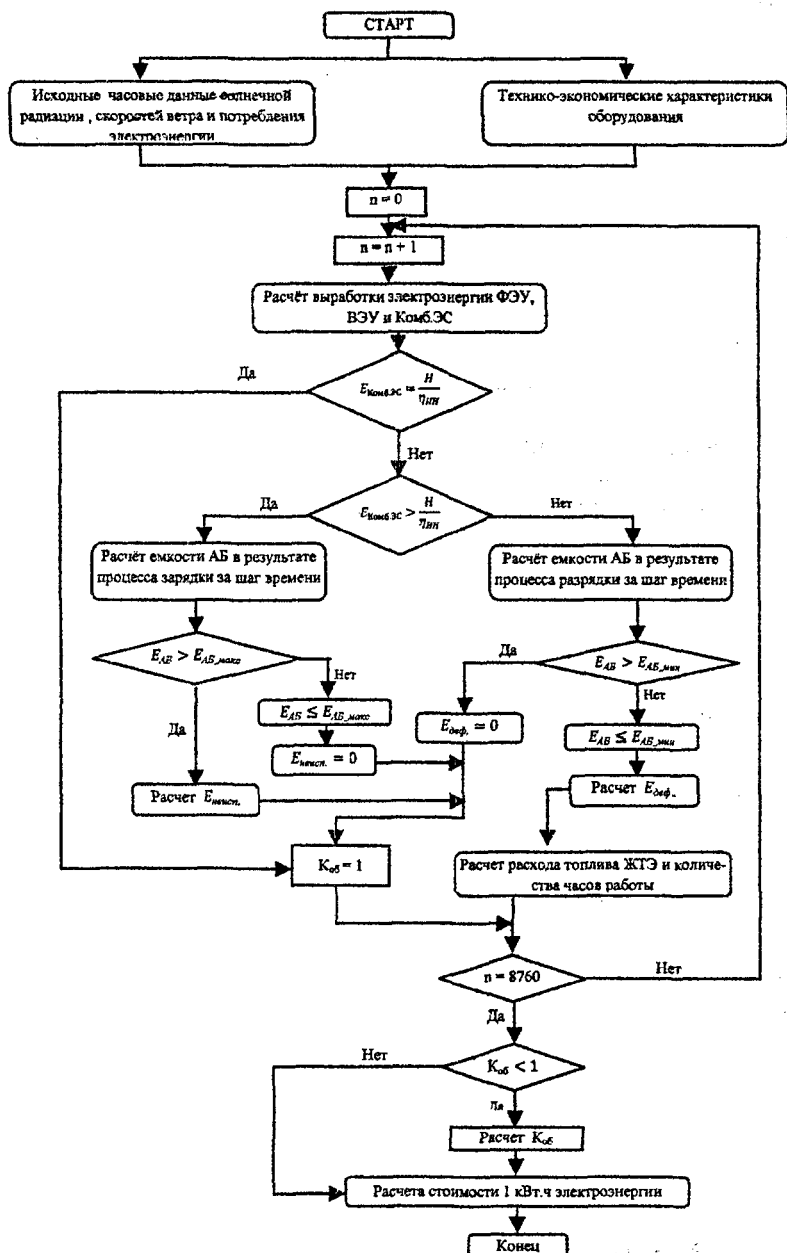


Рис. 1. Математический алгоритм оптимизация подбора оборудования Комб.ЭС

Расчет стоимости электроэнергии определяется следующим способом:

$$C_{OE} = \frac{C_{общ,г}}{H_f}, \quad (29)$$

где: C_{OE} - стоимость электроэнергии, денежных единиц/кВт.ч; $C_{общ,г}$ - общие годовые капиталовложения, денежных единиц /год;

В третьей главе определено потребление электроэнергии, существующего в домах крестьян в новых сельских районах в Египте, на севере Египта западнее Александрии, Южнее долины и Севернее Сайнаия. Установлено что минимальное потребление автономного сельского дома составляет 2,8 кВт.ч/сутки.

Разработана блок-схема и алгоритм работы комбинированной электростанции (рис. 2).

В зависимости от результатов испытаний оборудования, составляющего Комб.ЭС, установлено, что:

1. При исследовании характеристик СФЭУ в условиях г. Истры было замечено, что как и в других областях России, рабочий ток редко достигает пикового значения. На Истринском ветрополигоне измерения

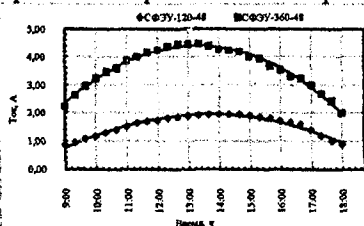


Рис. 3. Ток заряда АБ при максимальной солнечной радиации $E \sim 700 \text{ Вт/м}^2$

($U_{AB} = 50,80-58 \text{ В}$)

напряжения и тока заряда от фотоэлектрической установки СФЭУ-120-48 проводились в течение большей части светового дня: с 9 утра до 18 часов в течение трёх дней; 10, 12 и 14 июля 2009 года, когда большая часть дня была солнечной и также от СФЭУ-360-48 в течение трёх дней; 19, 21 и 23 июля 2009 года (рис. 3). Установлено, что максимальная экспериментальная выработка мощности СФЭУ-120-48 равна 112,5 Вт при токе зарядке 1,94 А.ч, а выработка мощности СФЭУ-360-48 равна 258,9 Вт при токе зарядке 4,48 А.ч.

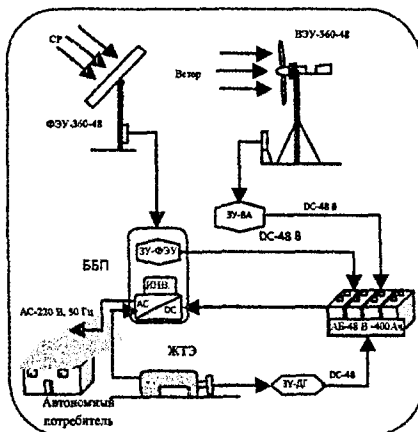


Рис.2. Блок-схема и алгоритм работы система электроснабжения автономного потребителя

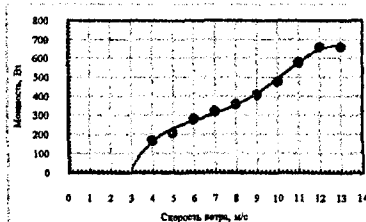


Рис. 4. Результаты испытаний ВЭУ УВЭ-700.

2. Зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра (рис. 4):

$$P_{вэу}(v) = \begin{cases} 0, & v < 3 \\ -0,373v^4 + 12,335v^3 - 143,78v^2 + 749,97v - 1232,1, & 3 \leq v \leq 13 \\ 660, & 13 \leq v < 25 \\ 0, & v \geq 25 \end{cases} \quad (30)$$

3. Емкость АБ определяется следующим уравнением:

$$q_{\text{доп}} = -56,32 \ln(I_{\text{раз}}) + 522,07, \quad (31)$$

4. Зависимость расхода топлива от мощности ДГ определяется уравнением:

$$F = 0,3158P_{\text{дг}} + 0,1605, \quad (32)$$

5. Зависимость расхода топлива от мощности БГ определяется уравнением:

$$F = 0,8296P_{\text{бг}} + 0,18, \quad (33)$$

Оптимизация подбора необходимого оборудования для Комб.ЭС на базе ВИЭ (ветра и солнца) проведена в зависимости от климатических условий для ветрополигона ВИЭСХ в г. Истра.

При моделировании учитывали несколько вариантов в зависимости от мощности СФЭУ, емкости АБ и изменения высоты ВЭУ (рис. 5, 6, 7). Установлено, что:

1. Коэффициент обеспеченности электроснабжения $K_{об}$ увеличивается при увеличении емкости АБ и мощности СФЭУ. при увеличении мощности СФЭУ от 360 Вт до 480 Вт стоимость 1 кВт.ч электроэнергии не изменяется. Минимальная стоимость 1 кВт.ч достигается при емкости АБ 220 А.ч и 400 А.ч, однако $K_{об}$ гораздо выше. Эти результаты получаются при увеличении высоты ВЭУ до 15 м с увеличением $K_{об}$ при высоте 15 м. Следовательно, использование АБ емкостью 400 А.ч является приемлемым вариантом, хотя при этом $K_{об}$ не достигает максимального значения.

2. Стоимость 1 кВт.ч возрастет при увеличении высоты ВЭУ, а при изменении мощности СФЭУ от 360 Вт по 480 Вт не изменяется. При емкости АБ 400 А.ч и при увеличении мощности СФЭУ стоимость 1 кВт.ч уменьшается постепенно до минимального значения, затем возрастет. Стоимость 1 кВт.ч при высоте ВЭУ 15 м меньше, чем при высоте ВЭУ 10 м для уровня мощности СФЭУ 240 Вт. Минимальная стоимость 1 кВт.ч имеет место при высоте ВЭУ 10 м.

Таким образом, Комб.ЭС мощностью 1180 Вт, которая состоит из СФЭУ мощностью 480 Вт, АБ емкостью 400 А.ч и ВЭУ мощностью 700 Вт, установленной на высоте 10 м и Комб.ЭС мощностью 1060 Вт, которая состоит из СФЭУ мощностью 360 Вт, АБ емкостью 400 А.ч и ВЭУ мощностью 700 Вт, установленной на высоте 15 м, являются лучшими вариантами с коэффициентами обеспеченности электроснабжения 81% - 85%. для климатических условий места испытания на ветрополигоне ВИЭСХ в г. Истра.

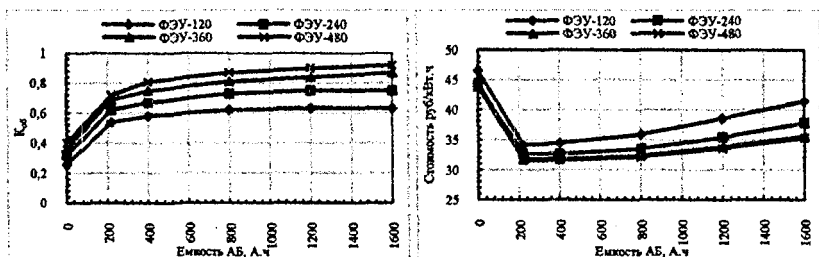


Рис. 5. Влияние увеличения емкости АБ и мощности СФЭУ на $K_{об}$ и стоимости 1 кВт.ч электроэнергии при использовании УВЭ-700 на высоте 10 м

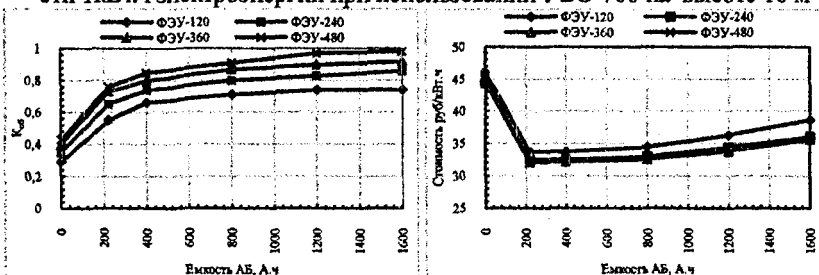


Рис. 6. Влияние увеличения емкости АБ и мощности СФЭУ на $K_{об}$ и стоимости 1 кВт.ч электроэнергии при использовании УВЭ-700 на высоте 15 м

Экспериментальная работа Комб.ЭС на ветрополигоне ВИЭСХ включает:

1. Исследование работы Комб.ЭС для обеспечения электроснабжения во время отсутствия ветра. Установлено, что выработка энергии от СФЭУ составляет 1485 Вт.ч/сутки в летний солнечный день, что покрывает 48% суточной потребности и 1051 Вт.ч/сутки в зимний день, т.е. покрывает 34% суточной потребности. А это значит, что ДГ должен покрывать 52 – 66% суточного электропотребления.

2. Исследование работы Комб.ЭС для обеспечения электроснабжения во время отсутствия Солнца. Установлено, что Средняя выработка электроэнергии от ВЭУ 1305 Вт.ч/сутки при скорости ветра 7,65 м/с. Максимальная мощность ВЭУ составила 218 Вт. Режим работы системы электроснабжения на основе ВЭУ не может обеспечивать электроснабжение сельского потребителя. выработка электроэнергии от ВЭУ составляет в 1305 Вт.ч/сутки, т.е. по-

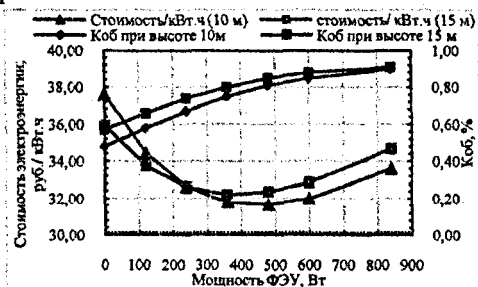


Рис. 7. Результаты оптимизации подбора оборудования Комб.ЭС при емкости АБ 400 А.ч

крывает 43 % суточной потребности или 1172,2 Вт·ч/сутки, что покрывает 38 % суточной потребности. Это означает, что ДГ должен покрывать 57–62% электроэнергии.

- Исследование работы Комб.ЭС для обеспечения электроснабжения на основе СФЭУ и ВЭУ. Установлено, что предлагаемая Комб.ЭС мощностью 1060 Вт может обеспечивать электроснабжение при среднегодовой потребности до 1232 кВт·ч/г при $K_{\text{об}} = 80\%$.

Предложена Солнечная установка с концентраторами, солнечного излучения для выработки электричества и тепла (рис. 8). Зависимость расчёта геометрического коэффициента концентрации ($k_{\text{кон}}$):

$$k_{\text{кон}} = ((R/r + 1)^2) / (2(h/r + 1)), \quad (34)$$

где: R- радиус большей четвертей окружности; r- радиус меньшей четвертей окружности; h- высота приемника.

Высота цилиндрического приемника зависит от отношения R/r, в зависимости от этого определяется геометрический коэффициент концентрации (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость h от R/r и расчет геометрического коэффициента концентрации

R/r	3	4	5	6	7	8	9	10
h/r	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
$k_{\text{кон}}$	5,3	6,3	7,2	8,2	9,1	10,1	11,1	12,1

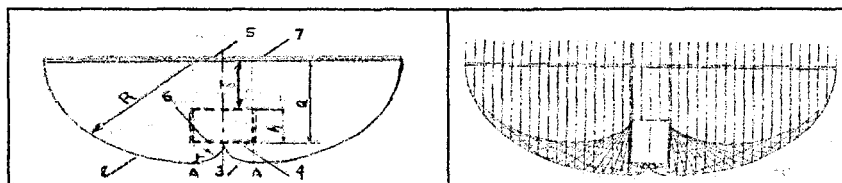


Рис. 8. Солнечная установка с концентратором и ход лучей

В четвертой главе приведено технико-экономическое обоснование комбинированной электростанции.

В качестве базы сравнения и оптимизации было принято 2 варианта системы автономного электроснабжения на основе ВИЭ (СФЭУ и ВЭУ) и ЖТЭ (ДГ или БГ). ДГ имеет электростартер для автоматической работы при управлении от ББП в зависимости от состояния электроснабжения в системы. БГ малой мощности не имеет электростартера. Результаты технико-экономических расчетов для систем электроснабжения можно сформулировать следующим образом:

- При использовании ДГ или БГ в системах электроснабжения $K_{\text{об}}$ составляет 100% и доля ВИЭ в производстве электроэнергии составляет 80% - 83%.
- Стоимость 1 кВт·ч для первого варианта (Комб.ЭС -1180 Вт) меньше, чем для второго варианта (Комб.ЭС -1060 Вт) при использовании ДГ и БГ, а для каждого варианта стоимость 1 кВт·ч при использовании ДГ составляет меньше,

чем для БГ.

Эти варианты показывают высокую эффективность использования ВИЭ с целью экономии жидкого топлива в комбинированной электростанции. Кроме того, на основании результатов расчета выработки электроэнергии можно гибко решать задачу оптимизации состава оборудования Комб.ЭС.

В климатических условиях Египта были приведены примеры перспективных сельскохозяйственных мест для использования Комб.ЭС на основе ВИЭ западнее Александрии, Южнее Долины и Севернее Сайная (рис. 9 и 10), в которых есть проблемы электроснабжения.

Результаты расчетов разработки системы показывают, что для трех сельских районов можно использовать Комб.ЭС средней мощностью 721 Вт, состоящей из СФЭУ 473Вт и ВЭУ 248 Вт, АБ емкостью 281 А.ч. Варианты ДГ и БГ будут использованы для повышения $K_{об}$ до 100 %.

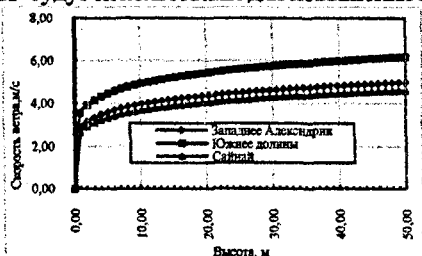


Рис. 9. Расчет средних скоростей ветра в сельских районах на разных высотах

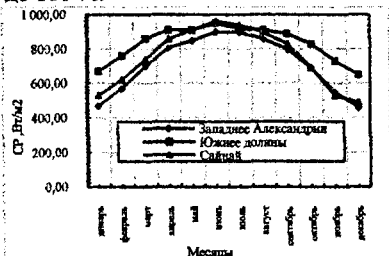


Рис. 10. Солнечная радиация в сельских районах

Установлено что, стоимость 1 кВт.ч электроэнергии составляет в пределах 3,32 до 3,88 £/кВт.ч. Южнее Долины стоимость 1 кВт.ч дешевле, чем стоимость 1 кВт.ч Западнее Александрии и Севернее Сайнай благодаря большему участию ВИЭ в производстве электроэнергии, составляющей 99% и низкому участию ЖТЭ, составляющей 1%. При исключении ЖТЭ из системы $K_{об}$ составляет 99,73% и вероятность дефицита электроснабжения $L_{деф.}$ составляет 0,27%. Следовательно, система мало зависит от ЖТЭ для гарантированного электроснабжения сельского потребителя.

Эти коэффициенты изменяются на севере Египта в Западной Александрии и Севернее Сайнай, при этом $K_{об}$ составляет от 87% до 81% и $L_{деф.}$ составляет от 13% до 19 %. Повышение $K_{об}$ до 100% происходит за счет ЖТЭ, что приводит к увеличению стоимости 1 кВт.ч.

Программа развития и использования ВИЭ в Египте включает: внедрение культуры защиты окружающей среды; поддержка граждан в удаленных сельских районах в использовании ВИЭ; строительство электростанций по производству электроэнергии из ВИЭ в удаленных районах; поощрение правительством Египта частных компаний к инвестициям в области ВИЭ и за счёт выделения 126000 гектаров земли в восточной пустыне к западу от Суэцкого залива, частным компаниям для создания электростанций с целью производст-

ва электроэнергии из энергии ветра и установления выгодных тарифов для закупки электроэнергии.

Заключение

1. Анализ показал, что в Египте существует возможность использования энергии солнца и ветра в сельскохозяйственных местах западнее Александрии, Южнее Долины и Севернее Сайная, в которых есть проблемы электроснабжения благодаря большому участию ВИЭ в производстве электроэнергии, составляющей 99% и низкому участию ЖТЭ, составляющей 1%. При этом рекомендуется использовать Комбинированную электростанцию средней мощностью 721 Вт, состоящей из СФЭУ 473Вт и ВЭУ 248 Вт, АБ емкостью 281 А.ч для обеспечения электроснабжения автономного сельского потребителя.
2. Разработана математическая модель оптимизации подбора оборудования, которая учитывает мощности оборудования, существующего на рынках, коэффициент обеспеченности электроснабжения и стоимость 1 кВт.ч электроэнергии, поэтому рекомендуется использовать её для подобных целей.
3. В соответствии с разработанной математической моделью разработана схема комбинированной электростанции, которая состоит из ВЭУ, СФЭУ, АБ и ББП. Результаты испытания комбинированной электростанции показали, что несмотря на введение в расчеты климатических данных солнечных и ветровых ресурсов, потребления электроэнергии автономного потребителя, ожидаемых потерь энергии в результате экологических факторов в окружающей среды и самой системы, разработанная система не является достаточной для обеспечения электроснабжения автономного потребителя, поэтому возникает необходимость использования жидко-топливной электростанции для повышения надежности электроснабжения.
4. Разработана солнечная установка с концентратором, установлена зависимость расчёта геометрического коэффициента концентрации в зависимости от геометрических параметров концентратора. В результате использования солнечной установки с концентратором увеличивается концентрация излучения 3-7 раз на приемнике солнечного излучения, поэтому рекомендуется для использования в составе комбинированной солнечной фото-ветроэлектрической электростанции.
5. Результаты экспериментальных исследований показали, что использование одиночных автономных систем на базе ВЭУ или СФЭУ не эффективно в районах с большими перепадами скоростей ветра и прихода СР, т.к. их приходится рассчитывать на наихудшие условия относительно энергетического источника, что приводит, в свою очередь, к значительному удорожанию системы энергоснабжения в целом.
6. Разработана методика расчета для выбора оборудования, которая показала высокую эффективность в выборе оборудования, необходимого для использования в составе комбинированной электростанции на базе ВИЭ.
7. Экономический анализ комбинированной электростанции показал, что при использовании разработанной схемы на месте испытания в Московской об-

ласти стоимость 1 кВт.ч электроэнергии составляет 31,8 - 34,3 руб. А в сельских районах Египта стоимость 1кВт.ч электроэнергии составляет в пределах 3,32 - 3,88 £/кВт.ч (1£ = 5,3 руб.) с низким уровнем участия ЖТЭ в обеспечении электроснабжения.

Основное положение диссертации опубликовано в следующих работах

Статьи в сборниках научных трудов, рекомендованных ВАК РФ

1. Ахмед Т.А. Джайлани. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве Египта / Ахмед Т.А. Джайлани // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2009. – № 1. – С. 30 - 32.
2. Ахмед Т.А. Джайлани. Комбинированные электростанции для автономных сельскохозяйственных потребителей в Египте / Стребков Д.С., Сокольский А.К., Ахмед Т.А. Джайлани // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2009. – № 3. – С. 42 - 44.
3. Ахмед Т.А. Джайлани. Система электроснабжения автономных потребителей малой мощности на базе дизель-фотоэлектрической установки / Ахмед Т.А. Джайлани, Сокольский А.К. // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2009. – № 4. – С.43 - 45.
4. Ахмед Т.А. Джайлани. Ветро-фотоэлектрическая установка малой мощности в климатических условиях Подмосквья (Г. Истра) / Стребков Д.С., Сокольский А.К., Ахмед Т.А. Джайлани // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2010. – № 1. – С. 11- 14.
5. Ахмед Т.А. Джайлани. Состояние и перспективы развития солнечных электростанций с концентраторами / Стребков Д.С., Ахмед Т.А. Джайлани //Альтернативная энергетика и экология.– 2009. – № 11(97). – С. 81- 85.
6. Ахмед Т.А. Джайлани. Повышение надежности электроснабжения автономных сельских потребителей на основе использования возобновляемых источников энергии / Ахмед Т.А. Джайлани // Альтернативная энергетика и экология. –2010. – № 2(82). – С. 35 - 38.
7. Стребков Д.С., Росс М.Ю., Ахмед Т.А. Джайлани, Митина И.В. Солнечная установка с концентратором // Патент РФ № 2396493, опубли. 10-08-2010 г, Бюл. № 22.

Статьи в других изданиях

8. Ахмед Т.А. Джайлани. Рекомендации по использованию комбинированных электростанций на основе возобновляемых источников энергии в сельских районах в Египте / Стребков Д.С., Ахмед Т.А. Джайлани // Труды 7-ой международной научно-технической конференции 18-19 мая. М., ГНУ ВИЭСХ. – 2010. – С. 146 - 153.
9. Ахмед Т.А. Джайлани. Оценка системы автономного электроснабжения фермерского хозяйства мощностью 1 кВт на основе возобновляемых источников энергии / Стребков Д.С., Сокольский А.К., Ахмед Т.А. Джайлани // Труды 7-ой международной научно-технической конференции 18-19 мая. М., ГНУ ВИЭСХ. – 2010. – С. 154 -158.

Подписано в печать 03.11.2010.

Формат 60×84/16.

Усл.-печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз.

Заказ № 567.

Отпечатано в издательском центре

ФГОУ ВПО МГАУ

127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 58.