

Анализ перспектив внедрения маломасштабных крышных солнечных электростанций в Казахстане

¹**МИНАЖОВА Саулеш Аманбаевна**, PhD, ассоциированный профессор, *s.minazhova@satbayev.university,*

¹**БЕКБАЕВ Амангельды Бекбаевич**, д.т.н., профессор, *a.bekbayev@satbayev.university,*

²**КОЖАГЕЛДИ Болат Жарылкапович**, к.т.н., зав. кафедрой, *bolat.kozhageldi@mail.ru,*

¹**АБИТАЕВА Рахимаш Шанракбаевна**, магистр, старший преподаватель, *r.abitayeva@satbayev.university,*

¹***НУРЖИГИТ Нурсултан Кайратулы**, магистрант, *nuursl12@gmail.com,*

¹НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», ул. Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан,

²НАО «Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации», ул. Сатпаева, 28, Тараз, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Солнечная энергетика в Казахстане развивается быстрыми темпами, занимая лидирующие позиции среди возобновляемых источников энергии благодаря обширной территории и высокой интенсивности солнечного излучения. Основную долю генерации обеспечивают крупные солнечные электростанции. Однако для полноценного развития необходимы и маломасштабные установки, в том числе крышные солнечные панели. В исследовании рассмотрены перспективы развития таких установок, с использованием компьютерного моделирования в программах PVsyst и Ansys Mechanical для оценки эффективности работы панелей при высоких температурах и прочностного анализа их каркасов. На основе результатов предложены рекомендации по повышению эффективности и оптимизации конструктивных характеристик.

Ключевые слова: возобновляемая энергия, солнечная энергия, эффективность панелей, крышные панели, тепловой анализ, потери, прочность каркаса.

Введение. Согласно последним нововведениям в Закон «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам поддержки использования возобновляемых источников энергии и электроэнергетики», подписанный Президентом РК 19 июня 2024 г., для развития возобновляемой энергетики малой генерации введено понятие «маломасштабный объект по использованию ВИЭ» [1]. К таким объектам относятся технические устройства мощностью не более 200 киловатт, производящие электрическую и/или тепловую энергию с использованием ВИЭ. Владельцы таких объектов получают право использовать энергию для себя и продавать излишки. Это особенно важно для малого и среднего бизнеса, которые теперь смогут полностью обеспечить свои объекты автономной электроэнергией. Более того, данные поправки положительно скажутся

на росте доли ВИЭ в энергобалансе страны.

Ожидается, что в качестве маломасштабных объектов ВИЭ в основном будут развиваться крышные солнечные электростанции (далее – СЭС). Это объясняется тем, что крышные солнечные установки представляют собой эффективное решение для использования солнечного потенциала при ограниченности земельного участка, будь то в городских и жилых районах или в частных домашних хозяйствах. Кроме того, возможность продажи избыточной электроэнергии энергоснабжающим организациям служит дополнительным стимулом для граждан к установке солнечных панелей на крышах [2]. Например, в Европе крышные солнечные системы способны генерировать электроэнергию по цене, ниже действующих тарифов для населения, что делает их экономически эффективным решением [3]. В Малайзии приведённые затраты на энергию

для крышных солнечных установок существенно ниже по сравнению с традиционными сетевыми системами, особенно в условиях благоприятной государственной политики [4]. Страны, такие как Индия, получают преимущества от децентрализованных крышных солнечных установок, которые уменьшают потери при передаче электроэнергии и повышают доступность электроэнергии, особенно в регионах с ограниченным подключением к сети [5]. Домохозяйства в Таиланде получают значительную выгоду от крышных солнечных систем благодаря продаже электроэнергии через одноранговую торговлю [6].

Тем не менее, солнечные крышные установки, как и другие технологии, имеют свои недостатки в использовании. К примеру, сложности при обслуживании, ограничение по несущей способности крыши, влияние факторов окружающей среды на эффективность работы, в том числе нагрев солнечных панелей, загрязнение, затенение и т.д. В связи с чем, актуальностью данного исследования является анализ влияния нагрева солнечных крышных панелей на ее эффективность, а также анализ прочности каркаса солнечных панелей, установленных на крыше.

Методы и материалы исследования.

В исследовании использован метод компьютерного моделирования с ПО PVSyst и Ansys Mechanical. PVSyst позволяет оценить эффективность системы в различных климатических условиях, оптимизировать расположение панелей и выбрать оборудова-

ние, минимизируя затраты. Моделирование в PVSyst включает настройку угла наклона панелей, количества стрингов и панелей с учётом площади, а также подбор электрооборудования.

Анализ прочности каркасной конструкции солнечных панелей выполнен с использованием Ansys Mechanical. Создана 3D-модель, на которую действовала нагрузка, эквивалентная весу панели. Результаты анализа показали зоны с наибольшей деформацией, что позволяет оптимизировать конструкцию и повысить её надёжность, минимизируя риски разрушения и увеличивая срок службы системы.

Объектом исследования выбран южный регион Казахстана, село Бурное, с высокой температурой в летний период, превышающий стандартные условия эксплуатации солнечных панелей (STC). В этом регионе продолжительность солнечного сияния составляет около 2700 часов в год, что создает благоприятные условия для использования солнечных систем. Самый жаркий месяц – июль, когда температура достигает 45-48°C. Годовое количество осадков – 324 мм, с неравномерным распределением: около 40% осадков выпадает весной, а летом их почти нет [7].

Научные результаты. Путем введения координат выбранной местности (42.71°N, 70.83°E) получены метеорологические условия из базы данных Meteonorm 8.1, интегрированной в ПО PVSyst (рисунок 1).

При введении координат также автоматически настраивается угол наклона сол-



PVsyst V7.4.2

Satbayev University (Kazakhstan)

Geographical Site		Situation												
Burnooktyabr'skoye Kazakhstan		Latitude	42.71 °N											
		Longitude	70.83 °E											
		Altitude	978 m											
		Time zone	UTC+5											
Monthly Meteo Values														
Source Meteonorm 8.1 (1991-2000), Sat=100%														
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Horizontal global	68	105	153	189	260	291	296	259	207	135	78	58	175	W/m ²
Horizontal diffuse	34	50	69	74	98	88	87	82	68	55	37	32	65	W/m ²
Extraterrestrial	159	224	305	394	456	484	472	421	341	253	177	141	319	W/m ²
Clearness Index	0.426	0.471	0.503	0.480	0.569	0.602	0.628	0.616	0.608	0.534	0.444	0.415	0.550	ratio
Ambient Temper.	-3.4	-2.0	5.5	11.3	17.3	22.1	24.5	23.0	16.7	9.9	3.1	-2.4	10.5	°C
Wind Velocity	1.4	1.6	1.9	2.0	1.9	1.8	1.8	1.9	1.7	1.5	1.5	1.5	1.7	m/s

Рисунок 1 – Метеорологические данные с. Бурное, Жамбылская область

нечной панели. Угол наклона солнечной панели сохраняется равным широте местности. В нашем случае это: угол наклона – 38°, азимут – 0°, что является наиболее оптимальным для максимальной выработки электроэнергии в данной местности. Далее производится выбор соответствующего электрооборудования для СЭС мощностью 5 кВт (таблица 1).

После ввода всех параметров системы программа PVsyst запускает симуляцию ра-

боты СЭС, в результате которой автоматически генерируется диаграмма потерь. Она показывает, какая часть энергии теряется из-за различных факторов, таких как затенение, перегрев панелей, неэффективная работа инверторов, потери на кабелях и другие. Диаграмма отображает процентные потери для каждой категории относительно общей теоретической производимой энергии (рисунок 2).

Согласно диаграмме потерь, суммарная

Таблица 1 – Электрооборудование СЭС

№	Наименование электрооборудования	Модель	Количество, шт.
1	Солнечные панели	SolarWorld, Si-mono, 280 Wp 60 ячеек	18 (2x9)
2	Инвертор	Huawei SUN2000-5KTL-L1 5 кВт, 90-560V	1
3	MPPT контроллеры	18 A	2

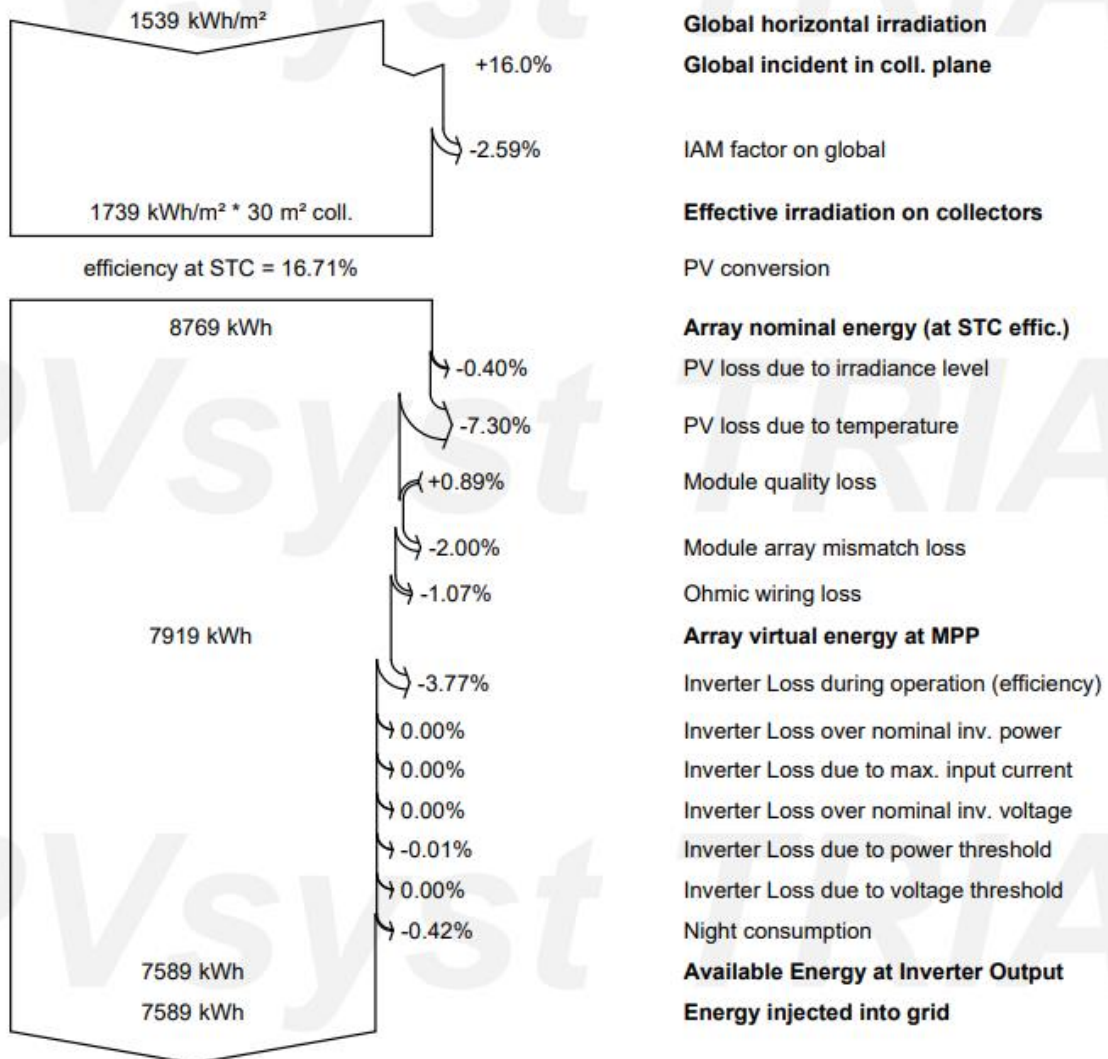


Рисунок 2 – Диаграмма потерь СЭС

выработка энергии солнечными панелями составила 7919 кВтч/год, из которых 7589 кВтч/год направляется потребителям в качестве полезной энергии. Годовые потери системы составляют 17%, при этом 7% из них вызваны перегревом солнечных панелей из-за повышения температуры окружающей среды. Анализируя результаты симуляции, можно сделать вывод, что повышение температуры солнечных панелей значительно влияет на эффективность работы системы. Предполагается, что использование панелей с большей мощностью и увеличенной площадью для поглощения солнечного света поможет уменьшить их нагрев. Для проверки этого предположения было проведено аналогичное моделирование с применением монокристаллической солнечной панели мощностью 500 Вт. Сравнительные резуль-

таты двух вариантов представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы, использование более мощной солнечной панели приводит к снижению потерь, обусловленных нагревом, что способствует увеличению выработки энергии. Однако стоит учитывать, что панель с большей мощностью и большими габаритами имеет значительно больший вес по сравнению с маломощной панелью. Это, в свою очередь, создает дополнительную нагрузку на каркас конструкции, а также на несущие элементы крыши здания. В связи с этим было проведено исследование прочностных характеристик каркаса с использованием программного обеспечения Ansys Mechanical. Результаты исследования показаны на рисунке 3.

На рисунке показаны результаты анали-

Таблица 2 – Сравнительный анализ двух вариантов моделирования		
Параметр	Панель монокристаллическая 280 Вт	Панель монокристаллическая 500 Вт
Количество панелей, шт.	2x9	2x5
Площадь, м ²	30	24
Выработанная годовая энергия, кВтч/год	7919	8025,7
КПД (СЭС)	0.843	0.858
Потери из-за нагрева солнечных панелей, %	-7,3	-6
Стоимость 1 панели, тг	60 000	120 000
Общая стоимость, тг	1 080 000	1 200 000
Окупаемость, лет (при тарифе 22 тг/кВтч)	6,3	6,8

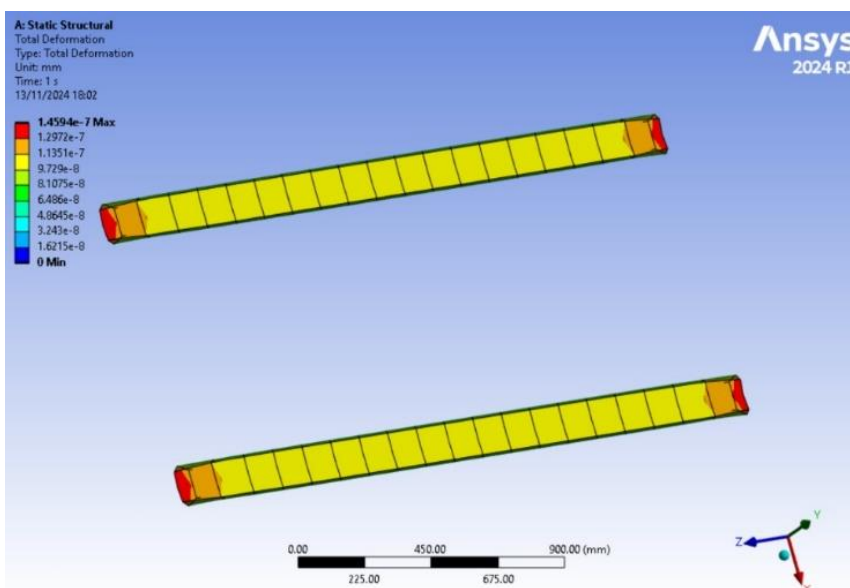


Рисунок 3 – Прочностная характеристика каркаса крышной солнечной панели

за общей деформации (Total Deformation) двух несущих элементов, предназначенных для установки солнечной панели массой 26 кг. Давление от панели, равное 0,003 МПа, было приложено равномерно по поверхности каждого элемента размером 1700 мм × 50 мм. Максимальная деформация составила $1,4594 \cdot 10^{-7}$ мм и наблюдается на концах элементов, отмеченных красным цветом. В остальных областях элементов деформация находится в пределах допустимых значений, что свидетельствует о достаточной жесткости конструкции.

Выводы. Оценка эффективности мало-мощных крышных СЭС в выбранной местности показала снижение их производительности при экстремально жаркой погоде, что может замедлить развитие данной технологии в Казахстане. Замена солнечных панелей

на более мощные не является оптимальным решением из-за длительного воздействия высоких температур, особенно летом. Требуется рассмотреть технические решения для охлаждения панелей, что потребует дополнительного анализа существующих технологий. Что касается нагрузки на каркас, минимальные деформации ($1,4594 \times 10^{-7}$ мм) показывают, что усиление краев не требуется для текущей нагрузки. Однако при динамических нагрузках усиление концов может повысить долговечность системы, что можно достичь с помощью ребер жесткости или утолщения концов элементов.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Грант № BR21882294.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам поддержки использования возобновляемых источников энергии и электроэнергетики» от 19 июня 2024 года № 96-VIII ЗПК. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2400000096>
2. Омаров Ж.Т., Кожаягелди Б.Ж., Налибаев Н.Ж., Ташимбетов М.А., Минажова С.А. Экспериментальное исследование опытного образца многоуровневого защитного устройства инверторной системы // Труды университета. 2024. 3 (96). С. 373-380.
3. K. Bódis, I. Kougias, A. Jäger-Waldau, N. Taylor, S. Szabó. A high-resolution geospatial assessment of the rooftop solar photovoltaic potential in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 114, 109309. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109309>
4. K.Y. Lau, C.W. Tan, K.Y. Ching. The implementation of grid-connected, residential rooftop photovoltaic systems under different load scenarios in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 316, 128389. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128389>
5. P. Kumar Singh Rathore, D. Singh Chauhan, R. Pratap Singh. Decentralized solar rooftop photovoltaic in India: On the path of sustainable energy security. *Renewable Energy*, 2019, 131, 297-307. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.049>
6. P. Gamonwet, Sh. Dhakal. The Assessment of the Value of Electricity Saving and Economic Benefit to Residential Solar Rooftop PV Customer: The Case of Thailand. SSRN, 2023: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4416430>
7. Туганова А.Б. Разработка схемы зонирования земель населенного пункта Б. Момышулы Жуалинского района Жамбылской области: Автореф. ... дис. – Алматы: 2019. – 48 с.

Қазақстанда шағын көлемді шатырлы күн электр станцияларын енгізу перспективаларын талдау

¹**МИНАЖОВА Сәулеш Аманбайқызы**, PhD, қауымдастырылған профессор, s.minazhova@satbayev.university,

¹**БЕКБАЕВ Амангелді Бекбайұлы**, т.ғ.д., профессор, a.bekbayev@satbayev.university,

²**ҚОЖАГЕЛДІ Болат Жарылқапұлы**, т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, bolat.kozhageldi@mail.ru,

¹**АБИТАЕВА Рахимаш Шанрақбайқызы**, магистр, аға оқытушы,

r.abitayeva@satbayev.university,

¹***НҰРЖІГІТ Нұрсұлтан Қайратұлы**, магистрант, nuursl12@gmail.com,

¹«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 22, Алматы, Қазақстан,

²«Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 28, Тараз, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Қазақстанда күн энергетикасы кең ауқымда дамып, кең аумағы мен жоғары күн радиациясы арқасында жаңартылатын энергия көздері арасында жетекші орын алады. Электр энергиясының негізгі бөлігін ірі күн электр станциялары қамтамасыз етеді. Дегенмен толыққанды даму үшін шағын масштабты қондырғылар, оның ішінде шатырлы күн панельдері де қажет. Зерттеуде осындай қондырғылардың даму болашағы қарастырылып, PVsyst және Ansys Mechanical бағдарламаларында компьютерлік модельдеу қолданылып, панельдердің жоғары температураларда жұмыс тиімділігі бағаланды және олардың құрылымдық анализі жасалды. Алынған нәтижелер негізінде тиімділікті арттыру және құрылымдық сипаттамаларды оңтайландыру бойынша ұсыныстар берілді.

Кілт сөздер: жаңартылатын энергия, күн энергиясы, панельдердің тиімділігі, шатырлы панельдері, термиялық талдау, шығындар, тіректің беріктігі.

Analysis of The Prospects for The Implementation of Small-Scale Rooftop Solar Power Plants in Kazakhstan

¹**MINAZHOVA Saulesh**, PhD, Associate Professor, s.minazhova@satbayev.university,

¹**BEKBAYEV Amangeldy**, Dr. of Tech. Sci., Professor, a.bekbayev@satbayev.university,

²**KHOZHAGELDI Bolat**, Cand. of Tech. Sci., Head of Department, bolat.kozhageldi@mail.ru,

¹**ABITAYEVA Rakhimash**, Master's Degree, Senior Lecturer, r.abitayeva@satbayev.university,

¹***NURZHIGIT Nursultan**, Master's Student, nuursl12@gmail.com,

¹NPJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Satpayev Street, 22, Almaty, Kazakhstan,

²NPJSC «Kazakh National University of Water Management and Irrigation», Satpayev Street, 28, Taraz, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. Solar energy in Kazakhstan is developing rapidly, taking a leading position among renewable energy sources due to the country's vast territory and high solar radiation intensity. Large solar power plants provide the majority of generation. However, for full development, small-scale installations, including rooftop solar panels, are also necessary. The study examines the prospects for the development of such installations, using computer modeling in PVsyst and Ansys Mechanical software to assess the performance of the panels under high temperatures and conduct a structural analysis of their frames. Based on the results, recommendations are provided to improve efficiency and optimize the structural characteristics.

Keywords: renewable energy, solar energy, panel efficiency, rooftop panels, thermal analysis, losses, frame strength.

REFERENCES

1. Zakon «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v nekotorye zakonodatel'nye akty Respubliki Kazahstan po voprosam podderzhki ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenergii i jelektrojenergetiki» [Law "On Amendments and Additions to Certain Legislative Acts of the Republic of Kazakhstan on Issues of Supporting the Use of Renewable Energy Sources and Electric Power Industry"] dated June 19, 2024 No. 96-VIII ZRK. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2400000096>
2. Omarov Zh., Khozhageldi B., Nalibayev N., Tashimbetov M., Minazhova S. Experimental study of a multi-level protective device for an inverter system // University Proceedings. 2024. 3 (96). Pp. 373-380.
3. K. Bódis, I. Kougias, A. Jäger-Waldau, N. Taylor, S. Szabó. A high-resolution geospatial assessment of the rooftop solar photovoltaic potential in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 114, 109309. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109309>
4. K.Y. Lau, C.W. Tan, K.Y. Ching. The implementation of grid-connected, residential rooftop photovoltaic systems under different load scenarios in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 316, 128389. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128389>
5. P. Kumar Singh Rathore, D. Singh Chauhan, R. Pratap Singh. Decentralized solar rooftop photovoltaic in India: On the path of sustainable energy security. *Renewable Energy*, 2019, 131, 297-307. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.049>
6. P. Gamonwet, Sh. Dhakal. The Assessment of the Value of Electricity Saving and Economic Benefit to Residential Solar Rooftop PV Customer: The Case of Thailand. SSRN, 2023: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4416430>
7. Tuganova A.B. Razrabotka shemy zonirovaniya zemel' naselennogo punkta B. Momyshuly Zhualinskogo rajona Zhambylskoj oblasti [Development of a zoning scheme for the lands of the settlement of B. Momyshuly, Zhualy district, Zhambyl region]: Avtoref. ... dis. – Almaty: 2019. – 48 p.