	МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ
	Министерство сельского хозяйства Иркутской области
	Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
	Институт экономики, управления и прикладной информатики

Материалы Всероссийской научно-практической конференции для преподавателей и научных сотрудников

«Цифровые технологии и математическое моделирование в науке, образовании и производстве»

26-27 сентября 2024 г.



Молодежный 2024

УДК 004
ББК 16

Цифровые технологии и математическое моделирование в науке, образовании и производстве / Материалы Всероссийской научно-практической конференции для преподавателей и научных сотрудников. – Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2024. – 175 с

В материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием вошли статьи студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений разных регионов России по вопросам применения математического моделирования и цифровых технологий в образовательной деятельности, научных исследованиях и сельском хозяйстве. Материалы конференции полезны студентам, аспирантам и молодым ученым аграрных вузов.

Сборник подготовлен с использованием средств Российского научного фонда, проект № 24-21-00502.

Редакционная коллегия:
Иваньо Я.М. – проректор по цифровой трансформации Иркутского ГАУ.
Полковская М.Н. – доцент кафедры информатики и математического моделирования Иркутского ГАУ.

© Коллектив авторов, 2024
© Издательство Иркутский ГАУ, 2024

научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. – Красноярск, 2022. – С. 151–153.

3. Миндалев И.В. Модель данных системы автоматизированной разработки рабочих программ дисциплин на платформе 1с:предприятие / И. В. Миндалев // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. материалы международной научно-практической конференции. – Красноярский государственный аграрный университет, 2019. – С. 284–287.

4. Романова Д.С. Применение кейс-технологии на занятиях по дискретной математике / Д.С. Романова. – Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Материалы международной научно-практической конференции. – Красноярск, 2023. – С. 59–62.

5. Романова Д.С. Применение проблемного метода обучения для подготовки занятий по информатике в Красноярском ГАУ / Д. С. Романова, Н. С. Романова // Инновационные тенденции развития российской науки. Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Красноярск, 2023. – С. 856–859.

6. Шевцова Л.Н. Графическое моделирование бизнес-процессов в исследовании влияния химических средств защиты растений как основы для проектирования информационной системы / Л.Н. Шевцова, А.В. Бобровский // Научно-практические аспекты развития АПК. Материалы национальной научной конференции. – Красноярск, 2023. – С. 327–330.

УДК 621.311.001.57; 536.79

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

[1,2]Грачева Н.Н., [1]Токарева А.Н., [1]Демченко М.С.

[1]Азово–Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, *Зерноград, Ростовская область, Россия*
[2]Донской Государственный технический университет, *Ростов–на–Дону, Россия*

Рассмотрены примеры использования многофакторного компьютерного эксперимента по определению рациональных параметров теплоэнергетических систем с последующей обработкой в программе Statistica. Представлены уравнения регрессии и их поверхности отклика, дан анализ полученных математических моделей. Применение программы Statistica позволяет уменьшить объем проводимых исследований за счет выявления незначимых факторов с помощью корреляционного и регрессионного анализа исходных данных. Графическая интерпретация полученных зависимостей позволяет определить оптимальные параметры систем без проведения исследований на экстремум.

Ключевые слова: план эксперимента, уравнение регрессии, моделирование процессов, теплоэнергетические системы.

USING APPLICATION SOFTWARE FOR MODELING PROCESSES IN HEAT ENERGY SYSTEMS IN AGRICULTURE

[1,2]Gracheva N.N., [1]Tokareva A.N., [1]Demchenko M.S.

[1]Azov-black Sea Engineering Institute FGBOU VO Donskoy GAU, *Zernograd, Rostov region, Russia*
[2]Don State Technical University, *Rostov-on-Don, Russia*

Examples of using a multifactorial computer experiment to determine rational parameters of heat and power systems with subsequent processing in the Statistica program are considered. Regression equations and their response surfaces are presented, and an analysis of the resulting mathematical models is given. The use of the Statistica program allows you to reduce the volume of research by identifying insignificant factors using correlation and regression analyses of the initial data. Graphic interpretation of the obtained dependencies allows you to determine the optimal parameters of the systems without conducting extreme value studies.

Keywords: experimental design, regression equation, process modeling, heat and power systems.

При проведении исследований теплоэнергетических систем часто приходится сталкиваться с такими проблемами, как отсутствие возможности провести эксперимент на натурном образце из-за сложности и громоздкости оборудования. Помимо этого, на рассматриваемый критерий оптимизации оказывают влияние несколько факторов, и для оценки совместного влияния этих факторов необходимо выполнить большой объем проводимых опытов, что также вызывает затруднение в определении рациональных параметров систем и их оптимального сочетания. Поэтому для сокращения объемов проводимых исследований используют метод компьютерного моделирования с последующей обработкой в программе Statistica.

Рассмотрим применение теории планирования многофакторного эксперимента с последующей обработкой в программе Statistica в рамках магистерских диссертаций на следующих примерах.

Пример 1. Трассировка газораспределительной сети сельского населенного пункта проводилась тремя различными графическими методами (метод наименьших квадратов, метод Штейнера и метод Прима) [1]. В результате построения получились три различные по конфигурации схемы газовой сети. За критерий оптимизации для выбора наиболее рациональной схемы были приняты потери давления в магистральной линии, которая в каждой полученной схеме состоит из четырех участков. Потери давления на каждом участке зависят от его длины и диаметра. Диаметры участков варьируются в широких пределах.

Поэтому в качестве факторов приняты диаметры участков. Уровни варьирования назначены в соответствии с рекомендуемыми размерами газопроводов по номограммам для гидравлического расчета. Для всех трех схем диаметры газопроводов изменялись на участках 1 и 2 от минимального значения d_{min} =0,2 *м* до максимального d_{max} =0,3 *м* и на участках 3 и 4 от d_{min} =0,15 *м* до d_{max} =0,25 *м*.

Компьютерное моделирование рассматриваемого теплоэнергетического процесса было проведено по плану Бокса–Бенкина для 4 факторов [2].

В программе Statistica проверены значимости коэффициентов в уравнении регрессии и отсеяны незначимые факторы и все эффекты взаимодействия. В результате обработки данных получены коэффициенты трёх уравнений регрессии (см. рисунок 1).

Regr. Coefficients; Var.:Y; R-sqr=,96146; Adj:,95445

Continue...

4 3-level factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=1,100361
DV: Y

Factor		Regressn Coeff.	Std.Err.	t(22)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.		140,454	10,1401	13,8513	,000000	119,425	161,484
(3)X3	(L)	-682,915	66,6192	-10,2510	,000000	-821,075	-544,755
X3	(Q)	1451,379	165,8584	8,7507	,000000	1107,410	1795,349
(4)X4	(L)	-485,827	66,6192	-7,2926	,000000	-623,987	-347,667
X4	(Q)	1019,229	165,8584	6,1452	,000003	675,260	1363,199

а

Regr. Coefficients; Var.:Y; R-sqr=,98031; Adj:,97673

Continue...

4 3-level factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=1,636031
DV: Y

Factor		Regressn Coeff.	Std.Err.	t(22)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.		257,12	12,3644	20,7952	,000000	231,48	282,762
(3)X3	(L)	-1059,05	81,2321	-13,0374	,000000	-1227,52	-890,587
X3	(Q)	2273,27	202,2394	11,2405	,000000	1853,85	2692,690
(4)X4	(L)	-1121,99	81,2321	-13,8121	,000000	-1290,45	-953,522
X4	(Q)	2408,82	202,2394	11,9107	,000000	1989,40	2828,240

б

Regr. Coefficients; Var.:Y; R-sqr=,97109; Adj:,96584

Continue...

4 3-level factors, 1 Blocks, 27 Runs; MS Residual=1,012085
DV: Y

Factor		Regressn Coeff.	Std.Err.	t(22)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.		163,437	9,7249	16,8060	,000000	143,269	183,605
(3)X3	(L)	-614,368	63,8911	-9,6159	,000000	-746,870	-481,866
X3	(Q)	1304,962	159,0664	8,2039	,000000	975,079	1634,846
(4)X4	(L)	-758,367	63,8911	-11,8697	,000000	-890,869	-625,865
X4	(Q)	1627,412	159,0664	10,2310	,000000	1297,529	1957,296

в

Рисунок 1 – **Результаты регрессионного анализа многофакторного эксперимента для схемы газораспределительной сети сельского населенного пункта**
а –для схемы построенной по методу наименьших квадратов, б–для схемы, построенной по методу Прима; в –для схемы, построенной по методу Штейнера

1. Для схемы, построенной методом наименьших квадратов, потери давления ΔP ($кПа^2$) описываются выражением

$$\Delta P = 140{,}454 - 682{,}915 d_3 + 1451{,}379 d_3^2 - -485{,}827 d_4 + 1019{,}229 d_4^2 \qquad (1)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}954$;

2. Для схемы, построенной по методу Прима, математическая модель изменения потерь давления ($кПа^2$) имеет вид

$$\Delta P = 257{,}12 - 1059{,}05 d_3 + 2273{,}27 d_3^2 - -1121{,}99 d_4 + 2408{,}82 d_4^2 \qquad (2)$$

с коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}977$;

3. Для схемы, построенной по методу Штейнера, потери давления ($кПа^2$) изменяются по зависимости

$$\Delta P = 163{,}437 - 614{,}368 d_3 + 1304{,}962 d_3^2 - 758{,}367 d_4 + 1627{,}412 d_4^2 \qquad (3)$$

с коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}966$.

Из представленных выражений (1)-(3) видно, что диаметры газопроводов d_1 и d_2 не влияют на потери давления в магистральной линии. Следовательно, диаметры труб на участках 1 и 2 с учетом материальных затрат на приобретение и монтаж принимаются по минимальной возможной величине, т.е. равными 0,2 *м*.

Диапазон исследований при этом сузился, и в дальнейшем рассматривались вопросы, связанные с использованием только газопроводов на участках 3 и 4.

Для уравнений (1)-(3) посредством программы Statistica построены поверхности отклика, представленные на рисунке 2. Из представленных графических зависимостей (рисунок 2) видно, что поверхности отклика представляю собой «впадину» с экстремумом в зоне эксперимента [2]. Наименьшие потери давления получаются при использовании на участках 3 и 4 диаметров газопроводов, равных $d_3=d_4=0{,}25м$.

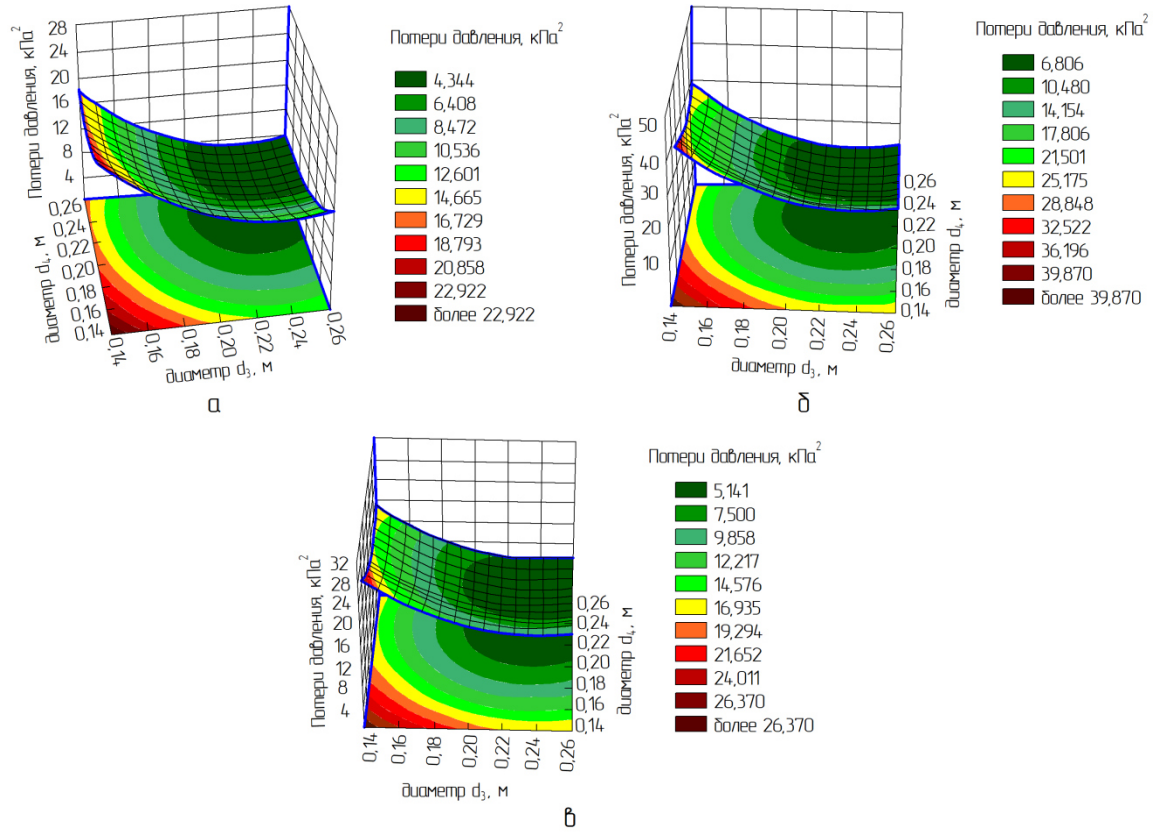


Рисунок 2 – **Поверхности отклика целевой функции потерь давления от диаметров трубопроводов d_3 и d_4**

а –для схемы построенной по методу наименьших квадратов, б–для схемы, построенной по методу Прима; в –для схемы, построенной по методу Штейнера

Графическая интерпретация полученных регрессионных моделей (1)-(3) позволяет выявить экстремальные значения диаметров трубопроводов без определения частных производных.

Таким образом, сокращается объем проведения исследований за счет выявления незначимых факторов и за счет того, что отпадает необходимость в исследовании полученных функций на экстремум.

Пример 2. В цеху по ремонту сложной сельскохозяйственной техники используется энергосберегающая система отопления общей мощностью 194 *кВт* на базе горелок инфракрасного излучения мощностью 2,9 *кВт*. Необходимо определить оптимальную схему расположения инфракрасных излучателей. За критерий оптимизации была принята величина облученности, которая в соответствии с санитарными требованиями не должна превышать $q_{доп} \le 70 \frac{кВт}{м^2}$.

Горелки могут быть расположены как в коридорном, так и шахматном порядке. Облученность зависит от высоты подвеса и от расстояния между горелками [4]. Расстояние между горелками, в свою очередь, зависит от числа рядов излучателей.

За первый фактор x_1 было принято число рядов излучателей n, которое из соблюдения условий неравномерности облучения варьировалось от x_{1min}=2 до x_{1max}=4.

Вторым фактором x_2 являлась высота подвеса H. Минимальная величина данного фактора, в соответствии с рекомендациями [4], составила x_{2min}=4*м*, максимальная величина высоты подвеса зависит от высоты помещения и равна x_{2min}=7*м*.

В характерных точках рассчитана при данных параметрах максимальная облученность и по плану полного факторного эксперимента [3] был проведён компьютерный эксперимент для двух факторов. Результаты реализации эксперимента обработаны при помощи программы Statistica. Облученность $\left(\frac{Вт}{м^2}\right)$ в характерных точках описывается уравнениями.

В характерной точке 1 для коридорного расположения инфракрасных излучателей

$$q_1 = 485{,}27 - 47{,}45n - 57{,}24H + 6{,}08 \qquad (4)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}977$.

В характерной точке 2 для коридорного расположения горелок

$$q_2 = 291{,}15 + 5{,}07n - 35{,}91H \qquad (5)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}927$.

В характерной точке 1 для шахматного расположения обогревательных приборов

$$q_2 = 571{,}75 - 56{,}3n + 0{,}92n^2 - 65{,}74H + 6{,}42nH \qquad (6)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}970$.

В характерной точке 2 для шахматного расположения горелок

$$q_3 = 251{,}82 + 23n - 1{,}88n^2 - 33{,}92H \qquad (7)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}963$.

Графическая интерпретация полученных результатов приведена на рисунке 3. Поверхности отклика на рисунках 3а, б, в и г представляют собой «возвышающийся гребень» с отсутствием точек экстремума. Минимальная облученность достигается при максимальной высоте подвеса и минимальном количестве рядов. Однако при использовании шахматной схемы расположения инфракрасных излучателей в рассматриваемом диапазоне наименьшая облученность превышает предельно допустимое значение.

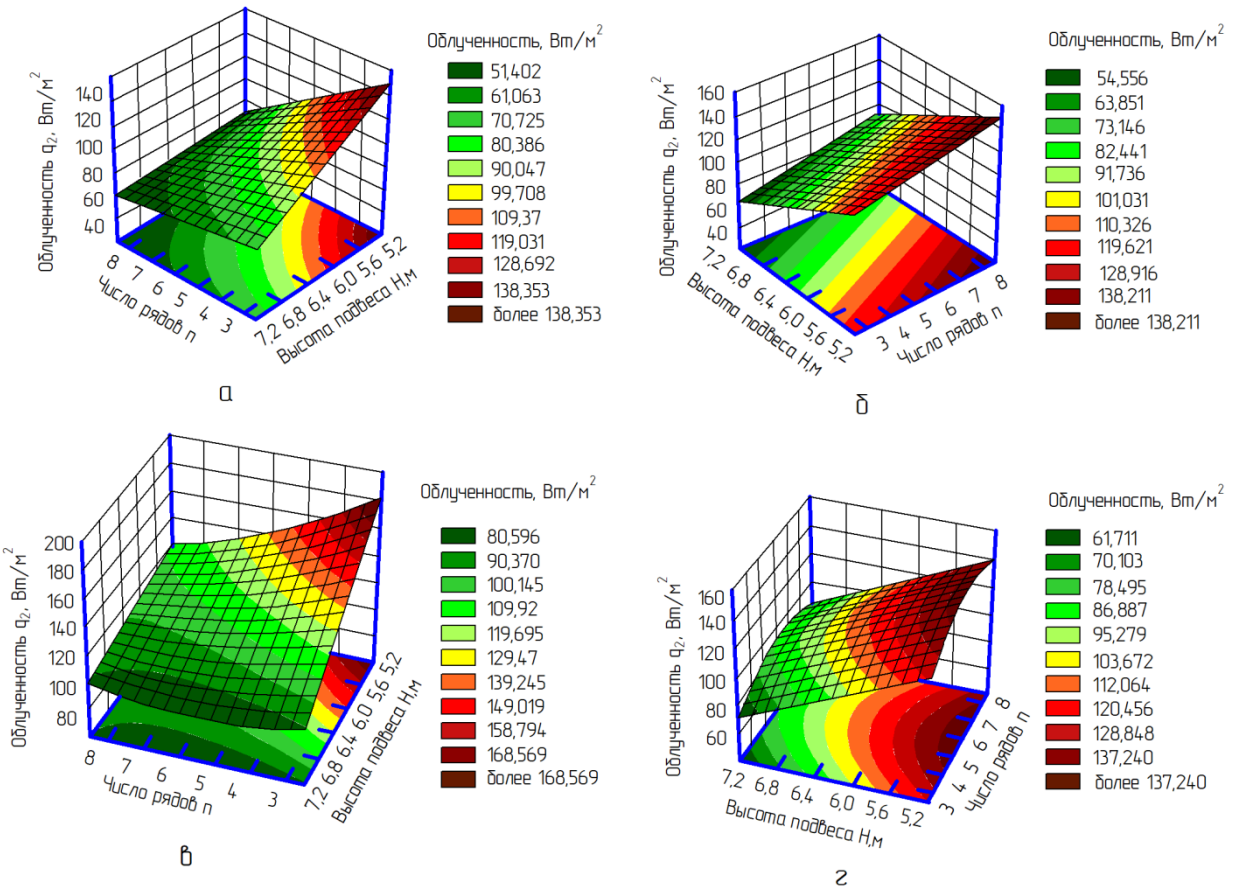


Рисунок 3– **Поверхности отклика целевой функции изменения облученности в характерных точках**

а –облученность в характерной точке при коридорном расположении горелок;
б–облученность в характерной торчке 2 при коридорном расположении горелок;
в–облученность в характерной точке 1 при шахматном расположении горелок;
г–облученность в характерной точке 2 при шахматном расположении горелок

Поверхность на рисунке 3в, соответствующая шахматному расположению инфракрасных излучателей, представляет собой «минимакс» [2], который характеризуется тем, что экстремум находится вблизи центра эксперимента. Таким образом, при увеличении высоты подвеса можно получить минимальное значение облученности, соответствующее нормативным требованиям. Однако в данном случае увеличение высоты

подвеса ограничено размерами здания. Поэтому в рассматриваемом диапазоне факторов также не достигается нормативная облученность. Следовательно, рассматривать шахматное расположение горелок инфракрасного излучения не целесообразно.

Таким образом, в данном случае проведение дальнейших исследований также сужается до рассмотрения вариантов с коридорным расположением обогревательных приборов.

Пример 3. Рассматриваются конструкции наружных стен в ранее указанной мастерской с усиленной теплозащитой. В качестве теплоизоляционного материала используется пеноплэкс. Минимальная толщина пеноплэкса в соответствии с требованиями к термическому сопротивлению ограждающих конструкций составила для стен δ_{1min}=0,03 *м*, для кровли δ_{2min}=0,05 *м*. Максимальная толщина пеноплэкса, как для стен, так и для кровли принята равной максимальной стандартной толщине пеноплэкса $\delta_{1max}= \delta_{2max}$=0,1*м*.

Необходимо определить, при каком сочетании толщин изоляционных слоев стен и кровли достигается максимальная экономическая эффективность.

Для решения данной задачи проведен компьютерный эксперимент по такому же плану, как и при решении задачи в примере 2. За первый фактор принята $x_1(\delta_1)$ - толщина теплоизоляционного слоя стены, за второй фактор $x_2(\delta_2)$ – толщина теплоизоляционного слоя кровли. Уровни варьирования этих факторов соответствуют ранее приведенным данным.

В результате обработки посредством программы Statistica получено уравнение регрессии изменения тепловой мощности $\Delta\Phi_{от}$ ($кВт$) затрачиваемой на отопление мастерской, от толщин теплоизоляционных слоев наружных стен и кровли:

$$\Delta\Phi_{от} = 204{,}47 + 155{,}19\delta_1 + 2178{,}128\delta_2^2. \qquad (8)$$

Поверхность отклика функции (8) представляет собой также «возвышающийся гребень», не имеющий области экстремальных значений в рассматриваемой области исследований. Увеличение экономии тепловой энергии возрастает с увеличением толщин теплоизоляционного материала стен и кровли. При этом следует отметить, что изменение тепловой нагрузки зависит от квадрата толщины δ_2, в то время как увеличение экономии энергетических затрат прямо пропорционально толщине теплоизоляционного слоя стен δ_1. При этом следует отметить, что коэффициент регрессии величины δ_2 в выражении (8) на порядок больше, чем коэффициент регрессии величины δ_1. Из этого можно сделать вывод, что влияние толщины теплоизоляционного слоя стен на изменение тепловой нагрузки незначительно по сравнению с толщиной тепловой изоляции кровли.

В связи с этим, дальнейшая технико-экономическая оценка проведена только с учетом изменения толщины теплоизоляционного слоя кровли, а

толщина пеноплэкса стен была принята равной минимально допустимой толщине, которая составляет 0,03м.

Таким образом, использование программы Statistica и в данном примере позволяет сузить диапазон проводимых исследований.

На основании рассмотренных примеров можно сделать вывод, что моделирование теплоэнергетических процессов и систем с использованием программы Statistica позволяет:

– провести предварительные эксперименты для исключения факторов, влияние которых на протекание процессов не значимо;

– получить математические модели, описывающие процессы, происходящие в теплоэнергетических системах;

– отсеять схемы расположения оборудования, не обеспечивавшие нормативные требования;

– определить рациональные параметры и их оптимальное сочетание для достижений максимального энергетического и экономического эффектов.

Список литературы

1. Меликов Д.И. Методы оптимизации схемы газораспределительной сети / Д.И. Меликов и [др.] // Современные научные исследования: проблемы и перспективы. Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Киров, 2022. – С. 219-226.

2. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Ленинград: Колос, 1980. – 168 с.

3. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – Москва: Альянс, 2011. – 350 с.

4. Серегин А.А. Обоснование схемы расположения инфракрасных излучателей в помещении ремонтного цеха с использованием программы STATISTICA / А.А. Серегин [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2021. – №3(131). – С.57-63.

УДК 519-7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИАЛЬНЫХ ТУРБОМАШИН С РАССТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРОВ

Хоанг Динь Кыонг

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

На практике изменение геометрических форм рабочих лопаток турбомашин всегда имеет место в реальных конструкциях из-за технологии изготовления, дефектов сборки, износа при эксплуатации и других факторов. Измененная геометрия и параметры лопаток значительно влияют на ресурсные характеристики колеса и работоспособность конструкции всей турбомашины. Эти отклонения нарушают циклическую симметрию