

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
КЫРГЫЗСКО – УЗБЕКСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ К 05. 09. 404

На правах рукописи
УДК 662.997.535.8

Бокоев Кутман Амирбаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ВТОРИЧНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ СОЛНЕЧНЫХ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Специальность: 05.14.08 – Энергоустановки на основе
возобновляемых видов энергии

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ош-2011

Работа выполнена в Ошском технологическом и Кыргызско-Узбекском университетах Министерства образования и науки Кыргызской Республики

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
академик ИА КР **Исманжанов А.И.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
академик АН РУз **Захидов Р.А.**
кандидат технических наук, доцент,
Турсунбаев Ж.Ж.

Ведущая организация: **Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина, г.Бишкек**

Защита состоится « 4 » марта 2011 г. в 14-00 часов на заседании Диссертационного совета К.05.09.404 при Кыргызско-Узбекском университете по адресу: 723503, г. Ош, ул. Исанова 79, 2-й уч.корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в научном зале библиотеки Кыргызско-Узбекского университета.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью, просим направлять по адресу: 723503, г.Ош, ул. Исанова 79, Кыргызско-Узбекский университет, диссертационный совет К.05.09.404.

Факс: (00996-3222) 5-70-55, 5-45-42, e-mail: nauka_kuu@mail.ru

Автореферат разослан «01» 02. 2011 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета К.05.09.404, д.т.н., проф.

Р.А. Мендекеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Как известно, средняя поверхностная плотность излучения Солнца составляет около $6,14 \cdot 10^7$ Вт/м², что примерно в 46000 раз больше плотности солнечного излучения у поверхности Земли. Имеется принципиальная возможность получения таких плотностей и на Земле, за счет её оптической концентрации. Проблема заключается в технических сложностях создания крупногабаритных оптически точных концентраторов, и как следствие их реальные концентрации составляют не более 20-40% возможных значений.

Одним из путей решения этой проблемы и в целом увеличения оптического КПД концентраторов, считается применение вторичных концентраторов.

Указанное определяет актуальность темы работы, направленной на исследование оптико-энергетических характеристик (ОЭХ) систем первичный-вторичный концентратор (ПК-ВК), разработки на этой основе методики и рекомендаций по их проектного расчету, разработка вторичного концентратора для солнечных высокотемпературных технологических и энергетических установок.

Связь темы с научно-техническими программами. Работа выполнена в соответствии с тематическими планами научно-исследовательских работ Ошского технологического университета, Научно-производственного центра «Альтерэнерго» Кыргызско-Узбекского университета, а также в рамках договора о содружестве между НПО "Академприбор" АН РУз и Кыргызско-Узбекским университетом.

Целью работы является разработка методов и моделей расчета и исследования систем ПК-ВК для солнечных высокотемпературных технологических и энергетических установок.

Для достижения цели работы в диссертации решены следующие основные задачи:

- Разработка математической модели расчета оптико-энергетических характеристик систем ПК-ВК;
- Исследование предельных и реальных характеристик систем ПК-ВК;
- Разработка методики расчета и оптимизации параметров вторичных концентраторов (ВК).

Научная новизна работы состоит в следующем:

- разработана численная математическая модель для определения ОЭХ систем ПК-ВК;
- определены особенности концентрации широко рекомендуемых в литературе концентраторов типа фоконя и конуса, показана возможность их использования и в качестве первичных микроконцентраторов для солнечных фотоэлектрических установок;
- обнаружена закономерность хода осевых лучей в фоконе, позволяющая в два и более раз сократить время на расчеты их оптико-энергетических характеристик;

- установлено, что коэффициент усиления концентрации систем параболоид-фокон (П-Ф) и параболоид-конус (П-К) практически не зависит от неточностей параболоида;
- показано, что ВК типа фоконна наиболее эффективно для параболоидов с углами раскрытия до 30^0 , далее эффективность фоконна и конуса практически одинаковы;
- впервые разработан и испытан полноразмерный макет конусного ВК.

Основные положения, выносимые на защиту

- математическая модель расчета ОЭХ систем ПК-ВК и результаты расчетно-экспериментального исследования систем П-Ф и ПК;
- методика расчета параметров систем ПК-ВК;
- результаты расчетно-экспериментального исследования систем ПК-ВК.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволяют:

- конкретизировать требования к вторичным концентраторам солнечных высокотемпературных технологических установок;
- проектировать системы ПК-ВК для различного типа солнечных высокотемпературных и энергетических установок;
- разработанные модели, программы и методика расчета могут быть использованы при проектировании вторичных концентраторов для солнечных теплоэнергетических и фотоэлектрических установок.

Разработанные методики и результаты исследований были использованы в научно-технических разработках и при проектировании ВК в НПО "Академприбор" АН РУз для Большой солнечной печи (БСП).

Личное участие автора в получении научных результатов. Автор является непосредственным исполнителем работ разработки и реализации расчетных моделей и проведении расчетных и экспериментальных исследований, а также анализа и обобщения результатов, представленных в диссертации.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на Международных конференциях: "Возобновляемые источники энергии и материаловедение" (Ташкент, 2005), "Фундаментальные и прикладные вопросы физики" (Ташкент, сентябрь 2006), «Актуальные проблемы механики и горного машиноведения, развитие науки и интеграции ВУЗов» (г.Ош, Кыргызско-Узбекский университет, 17-18 апреля, 2009 г). Работа доложена на научно-техническом совете (НТС) Ошского технологического университета, на НТС Кыргызско-Узбекского университета, на расширенном объединенном семинаре кафедр «Электроснабжение» и «Источники энергии, электроэнергетические сети и механика» Жалал-Абадского государственного университета, на расширенном заседании кафедры «Возобновляемые источники энергии» и НТС энергетического факультета Кыргызского государственного технического университета.

Публикации по работе. По теме диссертационной работы опубликовано 10 статей в Международном журнале «Гелиотехника», в научных журналах

«Наука, образование, техника» и «Известия ОшГУ», в материалах международных научных конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения, содержит 126 страниц машинописного текста, включая 55 рисунка, 3 таблицы и библиографию из 95 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражены актуальность проблемы, цели и задачи исследований, а также научная и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассмотрены основные типы вторичных концентраторов их параметры и характеристики, методы и результаты расчетных и экспериментальных исследований. Проведенный обзор литературы показал, что: 1) определены предельные зависимости между КПД и концентрацией для параболоида и систем ПК-ВК с ВК типа фоконя, конуса и вогнутого гиперболоида для случая точного первичного параболоида, утверждается независимость предельных кривых поток - концентрация от эффективного углового радиуса Солнца θ ; 2) основные дальнейшие задачи создания высококонцентрирующих систем ПК-ВК - это необходимость их анализа с учетом неточностей ПК и ВК, развитие моделей расчета - учет распределения яркости по диску Солнца, учет реальных случаев – ВК не полностью перехватывает поток от ПК, отдельный учет неточностей ПК и ВК; 3) в экспериментальных исследованиях системы ПК-ВК не были получены высокие эффективности, отмечается необходимость дальнейших экспериментов.

В заключение главы сформулированы цели и задачи работы.

Во второй главе проводится исследование основных допущений в численных моделях концентрации - модель распределения яркости по диску Солнца, модель учета неточностей ПК на концентрацию в фокусе и проводится исследование собственных ОЭХ фоконя и конуса.

Для определения эффективности системы ПК-ВК её концентрацию сравнивают с концентрацией в фокусе параболоида C_F , которую определяют в виде (R. Winston)

$$C_F = E_A / (E_0 \cdot R_Z) = \sin^2 U_0 / \sin^2 \theta_S \quad (1)$$

где θ_S - эффективный угловой радиус Солнца, равный $\theta_S = \varphi_0 + 2\alpha_m$ (φ_0 - угловой радиус Солнца, α_m - максимальная угловая неточность концентратора – отклонение реальной нормали концентратора относительно расчетной нормали). Известна другая формула для C_F (Захидов Р.А.)

$$C_F = \alpha_i C_F^{ид} = C_F^{ид} \exp(-C_\sigma \cdot \sigma_i^2) \quad (2)$$

где $C_\sigma = 9.2 \cdot 10^{-3} [1/\text{угл. мин}^2]$, σ_i - среднеквадратическая неточность (СКО), в угл. мин. (далее " ' "). Результаты сравнения (1) и (2) с нашими численными расчетами, для случая равномерного закона распределения неточностей по

параболоиду приведены на рис.1, где: 1 – численное решение интеграла облученности, 2 – кривая из (2) и 3 – кривая из (1).

Как видно, зависимость C_F от неточности σ имеет сложный характер и, применение (1), не приемлемо, как для парабооида, так и системы ПК-ВК и на практике для $\sigma \leq 8'$ необходимо применять (2).

При исследовании ОЭХ систем ПК-ВК используют модель равномерного распределения яркости по диску Солнца. Результаты численного исследования вопроса для характерных углов раскрытия парабооида U_0 для модели распределения яркости по Жозе и равномерном приведены на рис.2.

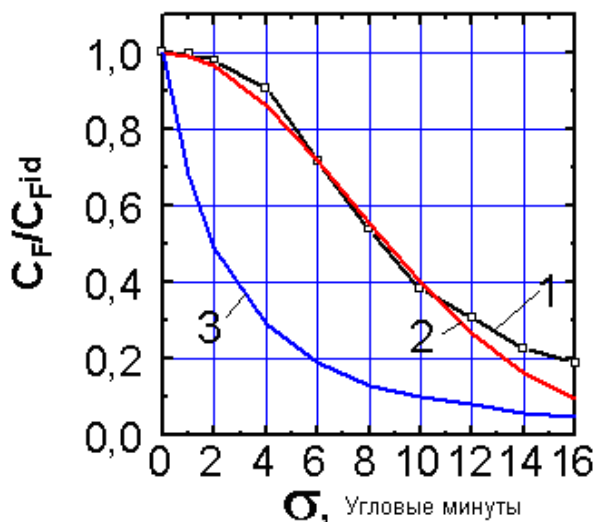
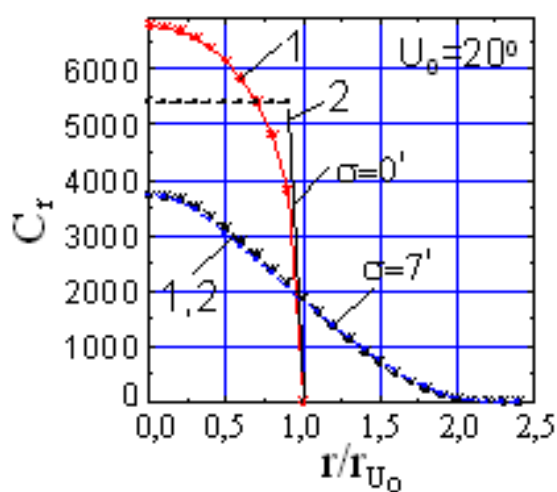
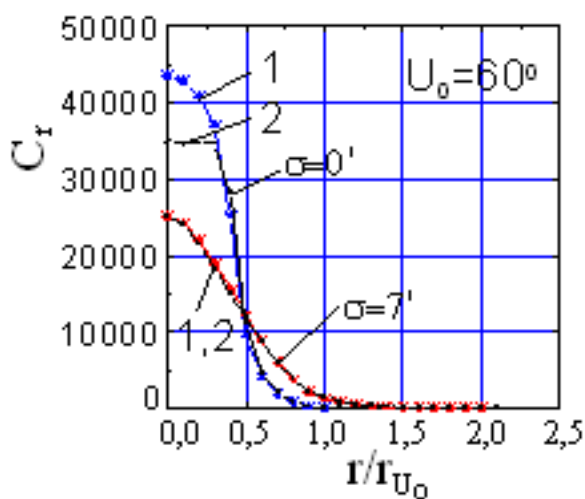


Рис.1. Зависимость относительной концентрации в фокусе парабооида от неточности σ .



а)



б)

Рис.2. Распределение концентрации в фокальной плоскости точного ($\sigma=0'$) и неточного ($\sigma=7'$) парабооида с углом раскрытия $U_0=20^\circ$ (а) и $U_0=60^\circ$ (б) при распределении яркости по Жозе (1) и прямоугольном (2).

Можно видеть, что влияние моделей яркости заметно только для очень точного концентратора (от 7% до 16%), а уже при $\sigma=7'$ различие практически исчезает. Эти исследования также подтвердили, что с увеличением U_0 все большая часть потока сосредотачивается в центральной части пятна (r_{U_0} – радиус солнечного пятна точного парабооида), в том числе и для неточного парабооида.

В численных моделях (вариантные расчеты) должны быть известны все оптико-геометрические параметры системы ПК-ВК. Для параболоида такие зависимости известны, однако для ВК такие данные неполны.

В связи с этим были исследованы собственно фокон и конус и их ОЭХ. Общая схема образования фокона и его основные параметры – радиусы входной R , выходной r , глубина H и параметрический угол α приведены на рис.3. и получено её общее уравнение

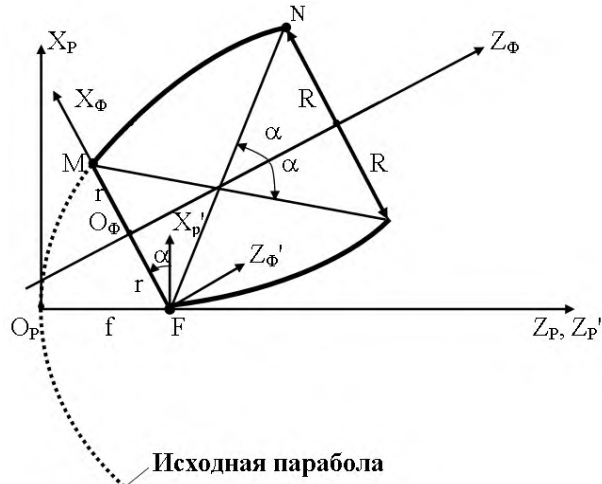


Рис.3. Схема образования фокона.

$$\left[(\sqrt{x^2 + y^2} + r_m) \cos \alpha + z \sin \alpha \right]^2 = 4f \left[f - (\sqrt{x^2 + y^2} + r_m) \sin \alpha + z \cos \alpha \right] \quad (3)$$

Сравнение параметров фокона, приводимыми в литературе показывает, что именно для точки максимума R и определены параметры полного, или классического фокона.

Особенность определения ОЭХ фокона – это необходимость для обеспечения приемлемой точности существенно большего числа разбиений поверхности на "элементарные площадки", более 1-10 миллионов.

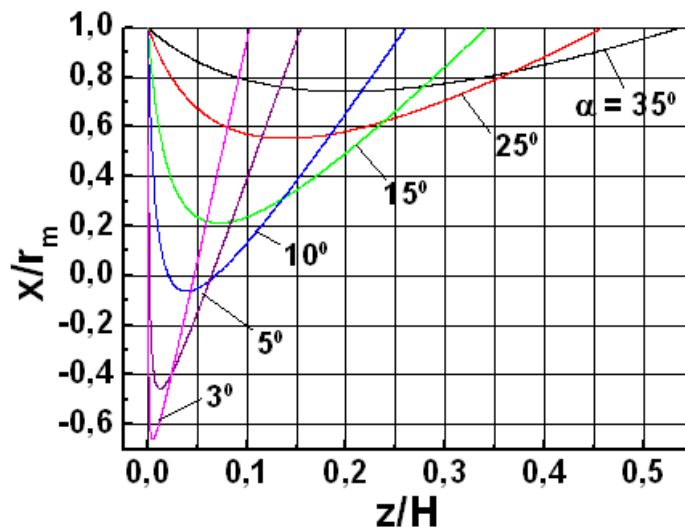


Рис.4. Выходные координаты параллельных оси фокона лучей, в зависимости от точки падения для фокон с различными параметрическими углами α .

В связи с этим были исследованы ходы осевых лучей и обнаружена закономерность координат их выхода из фокона (рис.4) - четко прослеживается зона фокона z' ($z' = z/H$) с однократным отражением осевых лучей, т.е. все лучи отраженные с зон $z > z'$ всегда попадают в зону z' .

Эта закономерность позволяет существенно ограничить пределы интегрирования по z , а именно зоной от 0 до z' и практически в 2-10 раз уменьшить время расчета ОЭХ фокона. Эта зависимость была аппроксимирована в виде

$$z' = 0,0221 + 0,0292\alpha - 6,219 \cdot 10^{-4} \alpha^2 + 7,135 \cdot 10^{-6} \alpha^3 - 3,274 \cdot 10^{-8} \alpha^4 \quad (4)$$

На рис.5 приведены ОЭХ для граничных α фокона. Из особенности хода осевых лучей следует, что у фокона имеется такое $\alpha \approx 10,5^\circ$ при котором по является второй максимум концентрации на оси. Характерные ОЭХ конуса приведены на рис.6.

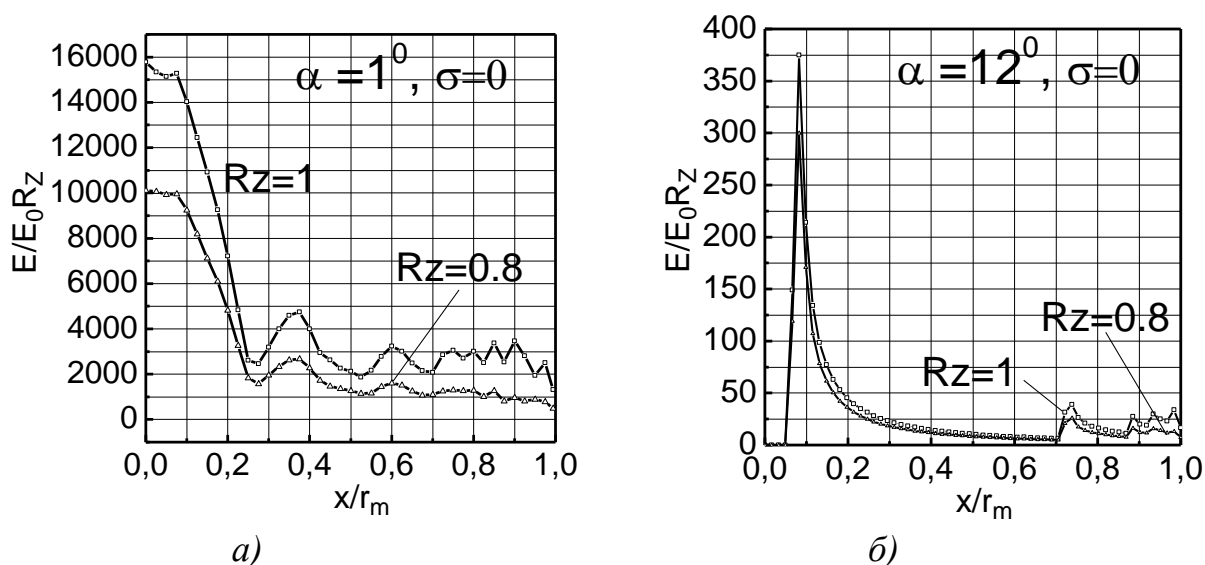


Рис.5. Распределение облученности в выходном отверстии фокона с $\alpha = 1^\circ$ (а) и $\alpha = 12^\circ$ (б).

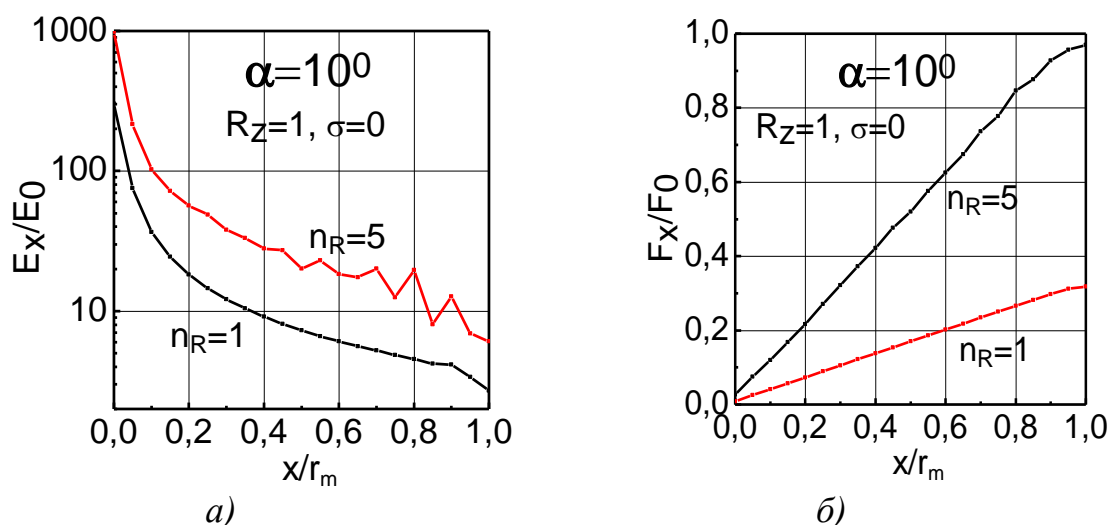


Рис.6. Распределение концентрации (а) и потока (б) в выходном отверстии конуса.

В целом исследования ОЭХ фокона и конуса показывают, что:

- Фокон может обеспечить концентрации порядка 50, а конус около 20 с потоком около 80%
- Неточности фокона и конуса незначительно влияют на их ОЭХ.
- У конуса и фокона заметна добавка от лучей со вторыми и более отражениями, но практически важны только первые три отражения.

В третьей главе рассматриваются основные схемы, параметры и ОЭХ систем ПК-ВК на основе фотометрического метода, позволяющего учесть все основные параметры систем ПК-ВК и случай неполного перехвата потока. Схема и геометрические параметры систем параболоид-фокон и параболоид-конус приведена на рис.7.

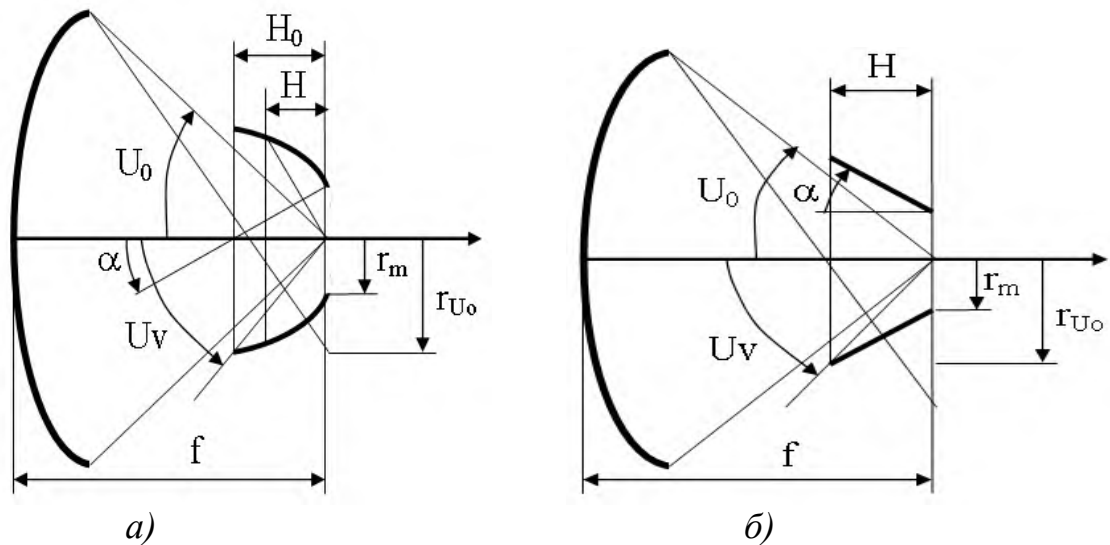


Рис.7. Схема и параметры систем параболоид-фокон (а) и параболоид-конус (б).

Определим вначале понятие концентрации систем ПК-ВК. Суммарная плотность потока системы E_S очевидно равна сумме плотностей от первичного концентратора (ПК), падающего напрямую - E_1 и от ВК - E_2 , или

$$E_S = E_1 + E_2 \quad (5)$$

Концентрацию K системы удобнее определять относительно прямой солнечной радиации E_0 . Выделим концентрации, максимальную в фокусе K_S и среднюю (по площади входного отверстия приемника или по площади приемника) K_{Scp} . Соответственно представим их в виде

$$K_S = E_S/E_0 = E_1/E_0 + E_2/E_0 = K_1 + K_2 \quad (6)$$

$$K_{Scp} = E_{Scp}/E_0 = (E_{1cp} + E_{2cp})/E_0 = K_{1cp} + K_{2cp} \quad (7)$$

Из-за потерь при отражении концентрации уменьшаются, и с целью обобщения результатов целесообразно выделение предельных концентраций (максимальные K_S^0 , K_1^0 , K_2^0 и средние K_{Scp}^0 , K_{1cp}^0 , K_{2cp}^0), или случай, когда коэффициенты зеркального отражения ПК и ВК равны 1, при этом переход к реальным концентрациям осуществляется по формулам.

$$K_1 = R_{Z1} \cdot K_1^0; \quad K_2 = R_{Z1} \cdot R_{Z2} \cdot K_2^0; \quad K_S^0 = K_1^0 + K_2^0 \quad (8)$$

аналогично для средних предельных концентраций

$$K_{1cp} = R_{Z1} \cdot K_{1cp}^0; \quad K_{2cp} = R_{Z1} \cdot R_{Z2} \cdot K_{2cp}^0; \quad K_{Scp}^0 = K_{1cp}^0 + K_{2cp}^0 \quad (9)$$

Для определения ОЭХ системы параболоид-фокон и конус была разработана численная модель с учетом результатов, полученных в гл. 2.

ОЭХ системы параболоид - фокон. Рассматривалась следующая задача – для заданных U_0 , σ_1 и r_m варьировали углом α и H и находили распределение облученности и для максимальной облученности в фокусе α и H считались оптимальными. На рис.8 приведены концентрации и коэффициент усиления системы для точного ($\sigma_1=0'$) и неточного ($\sigma_1=7'$) параболоида при $r_m=0,3r_{U0}$. Предварительный анализ, показал, что в данной системе в фоконе достаточно учета только одного отражения лучей.

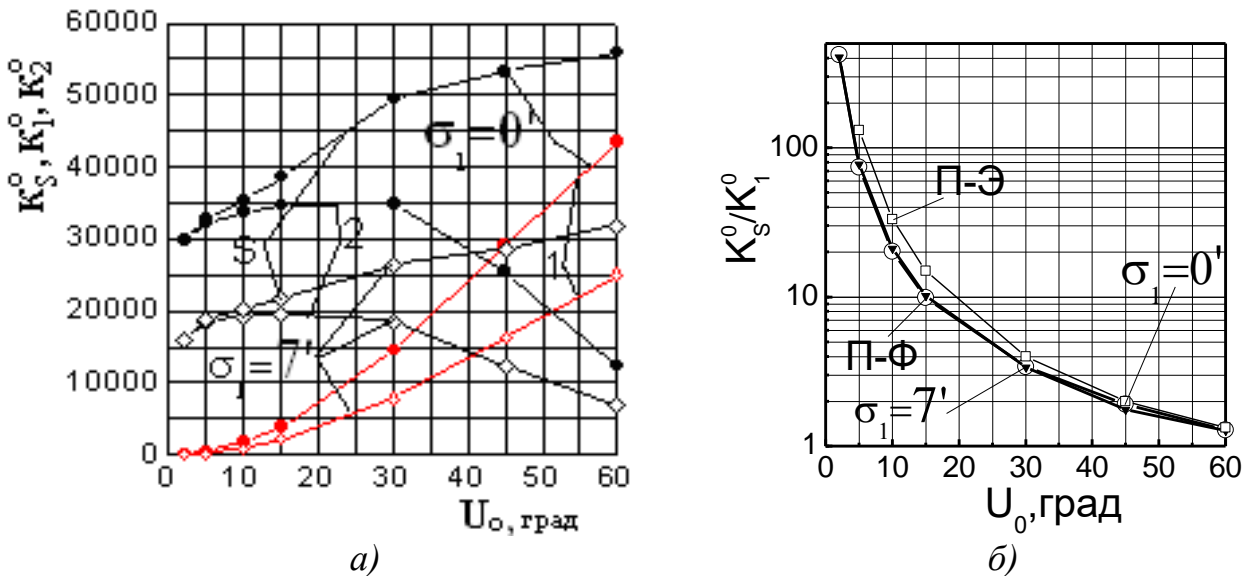


Рис.8. Концентрации (а) параболоида (1), системы П-Ф (S) и фокона в системе (2) для точного ($\sigma=0$) и неточного ($\sigma=7'$) параболоида и коэффициенты усиления (б).

Как видно, "добавка" фокона достаточно велика. Так, для точного параболоидного ПК, уже с углов раскрытия $U_0=2^0$ применение фокона позволяет достигать суммарных концентраций более 30000, а уже для $U_0=30^0$ могут быть обеспечены концентрации 50000. С увеличением U_0 , или с увеличением K_1^0 возможности фокона уменьшаются, однако, и при $U_0=60^0$ прибавка фокона достаточно велика, порядка 12000, или около 25%. Причем в отличие от зафокальных ВК здесь эффекты будут иметь место вплоть до $U_0=90^0$ (для зафокальных суммарная концентрация растет только до $U_0 \leq 60^0$). Также видно, что для неточного параболоида концентрации сильно уменьшаются, однако, коэффициенты усиления практически не изменяются. Анализ показал, что для средних концентраций эффекты от фокона даже выше, т.е. фокон может быть использован не только для повышения плотности потока в фокусе, но и для увеличения средней плотности потока по приемнику, а, следовательно, и для выравнивания концентраций потока на приемнике. Учитывая, полученные результаты, рас-

смотрим возможность использования в качестве ВК конус.

ОЭХ системы параболоид-конус. Рассматривалась та же, что и для фоконов задача. На рис.9 концентрации системы параболоид-конус. Как видно, эффективность конуса, начиная с $U_0 > 25^\circ$ практически такая же, как и у фокона.

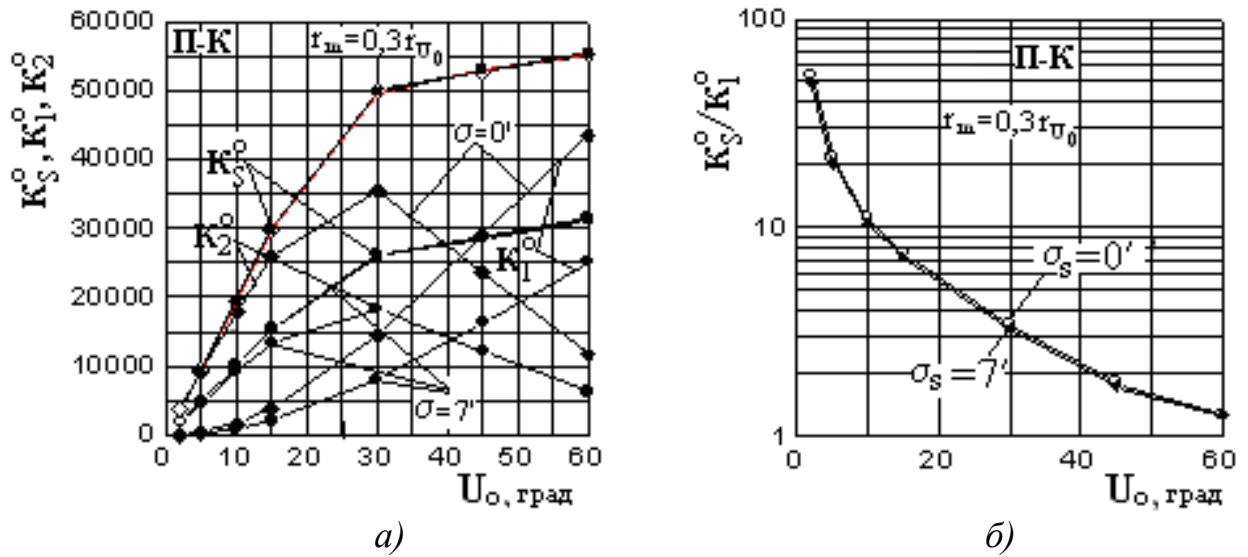


Рис.9. Концентрации (а) параболоида (K_1^0), системы П-К (K_S^0) и конуса в системе (K_2^0) для точного ($\sigma=0'$) и неточного ($\sigma=7'$) параболоида и коэффициенты усиления (эффективность системы П-К) (б).

Учитывая высокую эффективность конуса и технологичность в изготовлении, были более подробно рассмотрены характеристики системы П-К для других значений радиуса выходного отверстия r_m .

На рис.10 приведены суммарные концентрации системы П-К при различных радиусах r_m , там же, для сравнения представлены средние концентрации, которые дает отдельный параболоидный концентратор.

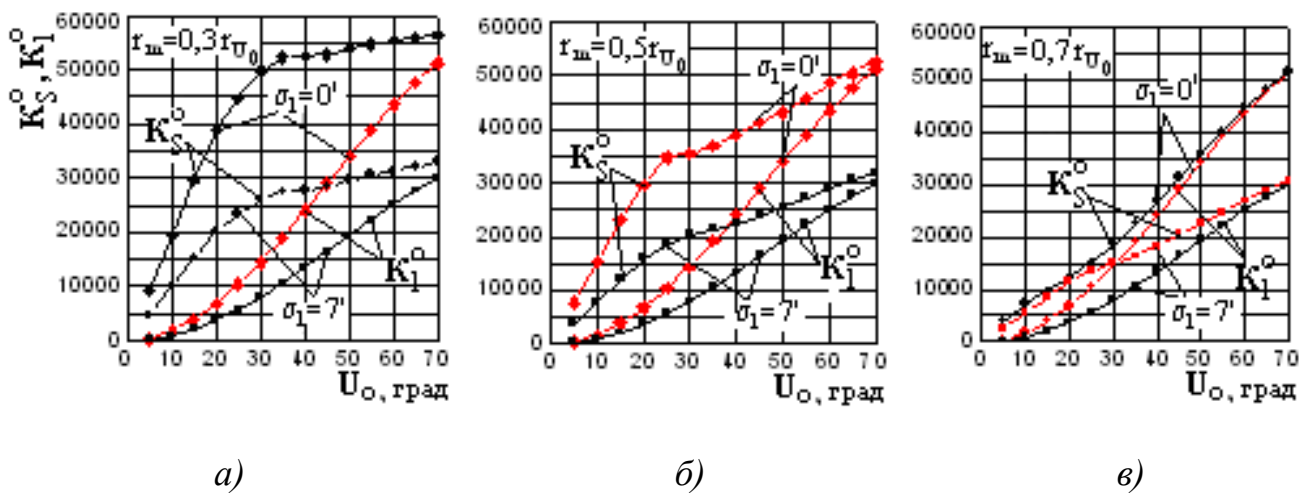


Рис.10. Предельные концентрации системы П-К (K_S^0) и параболоида (K_1^0) при $r_m=0,3$ (а), $0,5$ (б), $0,7$ (в).

Как и ожидалось с увеличением радиуса выходного отверстия конуса эффективность системы П-К уменьшается, но сохраняется и при больших радиусах выходного отверстия. Т.е. при технической возможности изготовления ВК и наличии системы его охлаждения практически всегда надо применять ВК. В связи с этим практически важно оценить потоки в системе в зависимости от r_m . Результаты этих исследований приведены на рис.11.

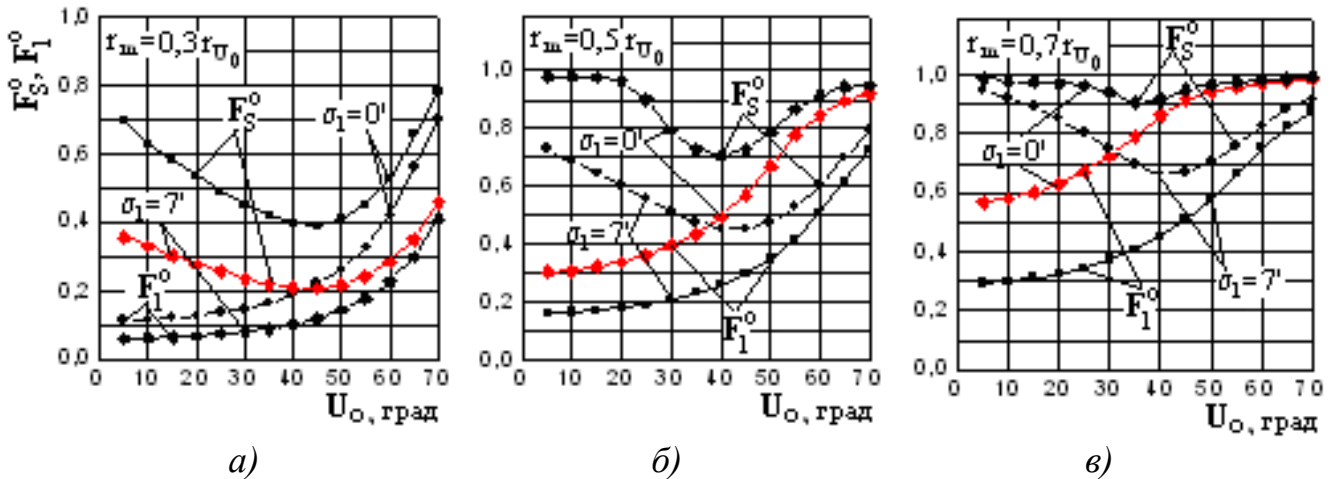


Рис.11. Потоки в выходном отверстии конуса в системе П-К при различных r_m и точности параболоида в зависимости от U_0 .

Как видно, в системе П-К повышается не только концентрация, но и достаточно существенно увеличивается поток в выходном отверстии конуса.

Интересно, что кривая суммарного потока имеет минимум, что обусловлено тем, что конус может "собирать" либо "внутренние" либо "внешние" лучи от параболоида, при этом появляются и локальные максимумы. Также было выявлено, что оптимума по глубине конуса, поэтому его необходимо выбирать из конструктивных соображений. Параметрические оптимальные углы α фокона и конуса практически равны U_0 . Можно видеть, что практически до $r_m/r_{U0}=0,5$ кривая эффективности не зависит от неточностей. При этом, например для $U_0=45^\circ$ и $\sigma=7'$ система П-К на радиусе $r_m/r_{U0}=0,5$ обеспечивает улавливание около 47% падающего потока, а сам параболоид на этом радиусе обеспечивает только около 30% (см.рис.11), т.е. конус увеличивает поток примерно в 1,5 раза.

В четвертой главе изложены результаты работ по испытанию вторичных концентраторов.

Модель ВК типа фокона. В качестве модели ВК типа фокона был использован усеченный фокус, разработанный и изготовленный в НПО "Академприбор" (см.рис.12) с параметрами: входной радиус – 48мм, выходной радиус – около 16,5 мм и глубина – 92 мм, $\alpha = 12,5^\circ$.

Результаты экспериментального исследования системы П-Ф на модели из прожекторных зеркал с учетом приведения размеров источника к фокону приведены на рис.13.

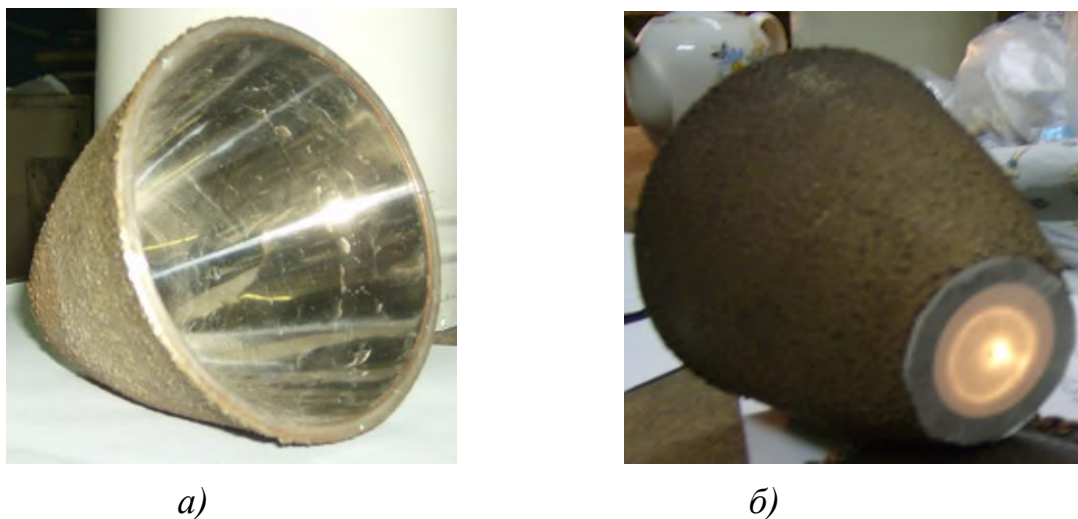


Рис.12 Общий вид фоконна (а) и концентрация фоконом лучей от точечного источника (б).

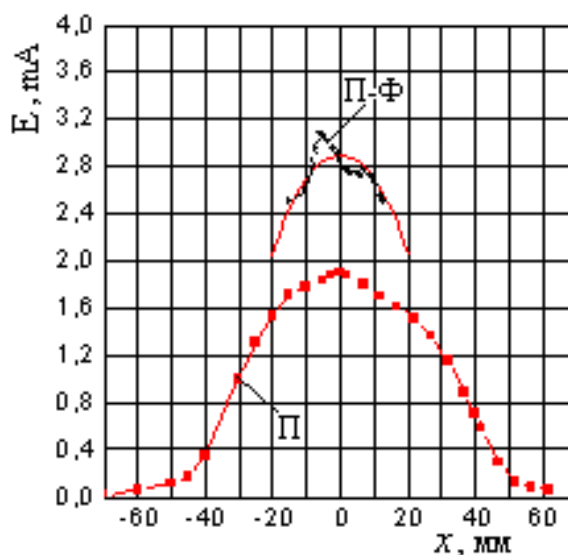


Рис.13. Экспериментальное распределение облученности в выходном отверстии фоконна (П-Ф), а также в системе параболоид-фокон.

Как видно, фокон действительно повышает концентрацию, причем с учетом углового размера источника можно считать, что полученные кривые соответствуют кривой распределения для случая точного параболоида с U_0 около $29,2^\circ$. Для этих параметров расчетное усиление $K_s = 1 + (2.33 - 1)0,6 = 1,8$, а экспериментальное 1,58, что подтверждает результаты расчетов и возможность использования их на практике.

Модель ВК типа конуса. В связи с тем, что модель конуса предполагалось испытывать на концентраторе Большой солнечной печи в Паркенте, вначале были проведены расчетные исследования с целью определения наиболее эффективного ВК для ПК с различными углами раскрытия U_0 , в результате было определено, что наиболее подходящим является конус с $\alpha = 25^\circ$. Данные для конуса были переданы в НПО "Академприбор" для изготовления (рис.14).



Рис.14. Общий вид вторичного конического концентратора БСП после сборки.

Экспериментальные исследования вторичного концентратора проводились на БСП (рис.15).



Рис.15. Общий вид концентратора БСП.

Эксперименты с ВК проводились на БСП с целью определения действительных эффектов от вторичного концентратора. Сложность испытаний заключалась в том, что имеющийся рабочий приемник для измерения плотности потока имел предел порядка 250 Вт/см^2 поэтому общую плотность находили по частям концентратора. На рис.16 приведены результаты эксперимента по измерению облученности в фокусе для концентраторов с различными эффективными углами раскрытия U_0 .

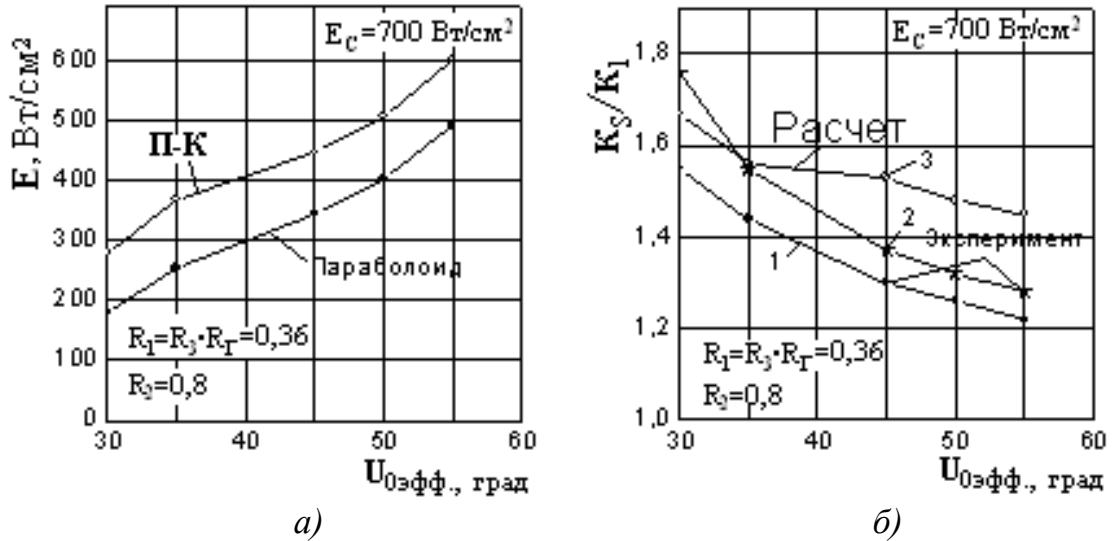


Рис.16. Экспериментальные облученности в фокусе концентратора БСП (а) и коэффициенты усиления (б) в зависимости от U_0 .

Как видно, эффект увеличения плотности потока от конуса действительно имеет место, однако заметны и расхождения между экспериментальными и расчетными данными (б). Это обусловлено сложностями имитации на БСП зон с различными U_0 . В то же время можно видеть, что плотность потока увеличилась на 100 Вт/см^2 , что составляет даже при $U_0 = 55^\circ$ около 22%, а для $U_0 = 30^\circ$ до 50%. Погрешности измерения составляли до 8,5%.

В связи с наблюдавшейся эффективностью применения конического вторичного концентратора можно ставить вопрос об изготовлении наборов ВК оптимальных для конкретного угла раскрытия, а также рассматривать экономические характеристики их использования.

На рис.17 приведен пример расчета отношения затрат на конус (C_K) и концентратор (ΔZ) при $C_K = 10000$ долл. Как видно при $U_0 = 30^\circ$ и увеличении плотности на 100 Вт/см^2 , применение конуса потребует практически в 8 раз меньших затрат, чем за счет увеличения угла раскрытия (необходимо увеличение до $38,5^\circ$).

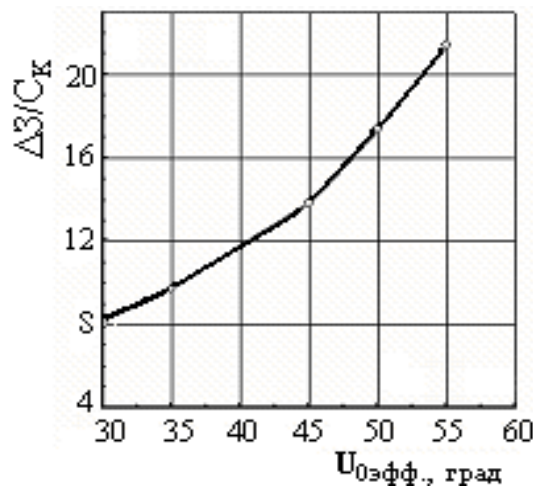


Рис.17. Эффективность применения вторичного концентратора на БСП в зависимости от угла раскрытия параболоида при $\sigma = 7'$ и $U_0 = 30^\circ$, $R_Z = 0,36$, $E_0 = 700 \text{ Вт/м}^2$ и $f = 18 \text{ м}$.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Анализ литературы показал, что вопросы повышения эффективности крупногабаритных первичных концентраторов (ПК) солнечных технологических и теплоэнергетических установок требуют применения вторичных концентраторов (ВК) и разработки новых, более детальных методов расчета как ВК, так и системы ПК-ВК.

2. Развита методика численного расчета собственных оптико-энергетических характеристик концентраторов типа фокон и конуса в потоке прямого солнечного излучения, отличающаяся учетом многократных отражений и неточности их геометрий. Впервые численно получено распределение концентрированного солнечного потока в выходном отверстии конуса. Показано, что:

- фокон в качестве малогабаритного концентратора обеспечивает в среднем концентрации порядка 50 и поток в этой области 80%. Конус при потоке 80% обеспечивает концентрации только порядка 20.

- влияние неточностей фокон и конуса на концентрирующие характеристики, в отличии от других типов концентраторов незначительно.

- влияние числа переотражений лучей у конуса больше, чем у фокон, однако практически важны только первые три отражения.

3. На основе развитых численных моделей, впервые в гелиотехнике исследован вопрос о возможности использования модели равнояркого Солнца при расчете энергетических характеристик концентраторов. Показано, что использование равнояркого Солнца допустимо при неточностях концентраторов $\sigma \geq 7$ угл. мин. Расчетами показано, что предлагаемая Р. Уинстоном аналитическая зависимость облученности в фокусе справедлива только для очень точных и для очень неточных концентраторов, т.е. на практике более применима формула Захидова Р.А.

4. Обнаружена закономерность хода осевых лучей в фоконе, позволяющая экспериментально определять её параметрический угол α и показывающая существование у фокон двух точек максимума концентрации. Обнаруженное свойство фокон позволяет, в зависимости от α , в 2-10 раз уменьшить затраты времени при численных расчетах ОЭХ фокон.

5. Развита численная модель системы ПК-ВК с ВК типа фокон и конуса, алгоритм и программа расчета их концентрирующих характеристик, отличающийся учетом неточностей первичного и вторичного концентратора. На основе исследований систем ПК-ВК показано, что:

- в системе ПК-ВК неточности ВК могут составлять до $1-2^0$, уже при углах раскрытия параболоида U_0 более 10^0 , что позволяет не учитывать в расчетах системы ПК-ВК неточности ВК.

- получены кривые эффективности систем П-Ф и П-К с оптимальными параметрами фокон и конуса в широком диапазоне U_0 первичного параболоида. Выявлено, что эффективность ВК или коэффициент усиления концентрации практически не зависит неточностей первичного параболоида.

- разработанные алгоритмы и программы, а также результаты исследова-

ний позволяют проводить детальный расчет параметров и характеристик систем ПК-ВК.

6. Проведены модельные и натурные испытания фокона и конуса. Испытания показали, что модельные данные по фокону отличаются от расчетных не более, чем на 20%. Испытания конуса на БСП показало увеличение плотности потока на 100 Вт/см^2 , что составляет от 40% до 20%, в зависимости от U_0 параболоидного концентратора.

7. Экономическая оценка применения ВК на БСП показала, что затраты на увеличение плотности на 100 Вт/см^2 за счет ВК в 8-15 раз меньше, чем за счет увеличения площади концентратора или повышения его точности.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих работах:

1. Абдурахманов А.А., Бахрамов С.А., Фазылов А., Пайзиев Ш.Д., Бокоев К.А., Клычев Ш.И., Мансуров М.М. Солнечные концентраторы как источники накачки мощных лазеров // Гелиотехника. –Ташкент. - 2003. - №3. - С.66-70.

2. Клычев Ш.И., Бахрамов С.А., Фазылов А.К., Абдурахманов А.А., Исманжанов А.И., Пайзиев Ш.Д., Бокоев К.А. Увеличение концентрации солнечного излучения в оптических средах // Труды международной конференции «Возобновляемые источники энергии и гелиоматериаловедение».-Ташкент, 29-30 мая, 2005. - С. 42-46.

3. Клычев Ш.И., Абдурахманов А.А., Бахрамов С.А., Исманжанов А.И., Бокоев К.А. О расчете предфокальных вторичных концентраторов солнечного излучения // Труды международной конференции «Возобновляемые источники энергии и гелиоматериаловедение». -Ташкент, 29-30 мая, 2005. – С. 47-51.

4. Клычев Ш.И., Бахрамов С.А., Фазылов А.К., Абдурахманов А.А., Исманжанов А.И., Пайзиев Ш.Д., Бокоев К.А., Клычев З.Ш. Сравнительные характеристики конуса и фокона как вторичных концентраторов // Гелиотехника. –Ташкент. - 2006. -№4. - С. 28-32.

5. Бокоев К. Сравнительные характеристики фокона и конуса как первичных концентраторов солнечного излучения // Гелиотехника. –Ташкент. - 2008. -№3. – С. 50-53.

6. Клычев Ш.И., Бахрамов С.А., Фазылов А.К., Абдурахманов А.А., Исманжанов А.И., Пайзиев Ш.Д., Бокоев К.А., Клычев З.Ш. Предельные концентрации солнечного излучения в системе параболоид-конус // Материалы международной конференции "Фундаментальные и прикладные вопросы физики", 26-27 октября, 2006г. – Ташкент: НПО "Физика-Солнце" АН РУз. - С. 88-90.

7. Sh. Klichev, S. Bakhramov, A. Abdurakhmanov, A. Fazilov, Sh. Payziyev, A.Ismanjanov, K. Bokojev, J. Dudko, Z. Klichev Two-stage concentrating systems for pumping of solar lasers // Proceedings of SPIE. -20-24 January 2008. - v.6871, -San Jose, California, USA. - pp U1-7.

8. Бокоев К. Концентрация солнечного излучения в фокусе неточного параболоидного зеркала // Известия ОшТУ. – Ош: ОшТУ, 2008. - №2. - С.163-166.

9. Бокоев К. Предельные концентрации солнечного излучения в системе параболоид – фокон // Известия ОшГУ. – Ош: ОшГУ, 2008. -№2 . - С. 158-163.

10. Исманжанов А.И., Клычев Ш.И., Бокоев К.А., Бахрамов С.А., Фазылов А.К. Распределение солнечной энергии в фокальной плоскости параболоцилиндрического концентратора // Наука, образование, техника. - Ош: КУУ, 2009. -№1. -С. 68-69.

РЕЗЮМЕ

Бокоев Кутман Амирбаевич

Исследование и разработка вторичных концентраторов солнечных теплоэнергетических установок

05.14.08 - Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии.

Ключевые слова: солнечное излучение, оптическая концентрация, первичные и вторичные концентраторы, численное моделирование, натурные эксперименты на объекте, экономическая эффективность.

Диссертационная работа посвящена разработке численной модели и исследованию оптико-энергетических характеристик вторичных концентраторов и систем первичный-вторичный концентратор (ПК-ВК). Проведены лабораторные и натурные эксперименты систем ПК-ВК, подтвердившие результаты численного моделирования. По результатам исследований разработан конусный концентратор для Большой солнечной печи (БСП), проведены его испытания.

Внедрение вторичных концентраторов на БСП с целью увеличения плотности потока в 8-10 раз эффективнее, чем за счет увеличения габаритов концентратора БСП или повышения его точности.

РЕЗЮМЕ

Бокоев Кутман Амирбаевич

К\н жылуулук-энергетикалык т\з\л\штър\н\н экинчи концентраторлорун изилдъъ жана иштеп чыгуу

05.14.08 – Энергиянын жабыланып туруучу т\рлър\н\н негизинде иштъъч\ энергетикалык т\з\л\штър.

Негизги създър: к\н нурдануусу, оптикалык концентрация, биринчи жана экинчи к\н концентраторлору, сандык моделдештир\, объектиде ъткър\лгън эксперимент, экономикалык эффективд\л\к.

Диссертациялык иш экинчи к\н концентраторлорунун жана биринчи-экинчи (БК-ЭК) концентраторлор системасынын опти-

ка-енергетикалык м\нъздъмълър\н изилдъгъ жана алардын сандык моделдерин иштеп чыгууга арналган. Т\з\лгън сандык моделдештир\н\ тастыктоочу БК-ЭК системаларында лабораториялык жана объектинин ъз\ндъ эксперименттер ж\рг\з\лд\ . Изилдъгълърд\н жыйынтыгында Чоё к\н меши (ЧКМ) \ч\н конустук экинчи концентратор жасалды жана эксперимент жолу менен сыноодон ъткър\лд\.

ЧКМде к\н нурларынын агымынын тыгыздыгын жогорулатуу максатында экинчи концентраторду колдонуу, биринчи концентратордун ълчъм\н же к\н нурларын чогултуу тактыгын жогорулатууга караганда 8-10 эсе эффективд\ болору аныкталды.

RESUME

of the research dissertation of *Kutman Amirbaevich Bokoev*

“Research and development of secondary concentrates of solar heat-and-power engineering installations”

(05.14.08 - Power installations on the basis of renewable types of energy)

Key words: solar radiation, optical concentration, primary and secondary concentrates, numerical modeling, field experiments, cost-effectiveness.

The dissertational research is aimed at developing numerical modeling of optical and energetic characteristics of secondary concentrates and the system of primary-secondary concentrates (PC-SC). There have been conducted laboratory and field experiments of the PC-SC systems that have proved the results of numerical modeling. On the results of the research a cone concentrator has been worked out for the Large Solar Furnace (LSF) aimed at current thickening for 8-10 times more than increasing the dimensions of the concentrator of the LSF or its accuracy enhancement.

Подписано в печать 22го мая 2010 г.
Формат: 60x84 1/16. Печать офсетная. Объем: 1,25 п.л.
Заказ: № 0548 Тираж: 100 экз.

Отпечатано в типографии ОшГУ
723018, г.Ош, ул. Исанова, 81