УДК 662. 997. 535.8

К.А.Бокоев – ст.преп.ОшТУ
K.A.Bokoev – senior teacher OshTU

ПРЕДЕЛЬНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПАРАБОЛОИД-ФОКОН

Исследована предельная концентрирующая способность системы параболоид-фокон. Установлено, что применение фокона и его технологически реализуемого варианта- конуса в качестве вторичного концентратора может повысить концентрацию солнечного излучения как минимум на 10-15%, в том числе и для широкоапертурных параболоидных концентраторов с углами раскрытия порядка 60°.

Ключевые слова: солнечное излучение, системы параболоид-фокон, концентратор, зеркальное отражение.

LIMITING CONCENTRATIONS OF SOLAR RADIATION IN THE PARABOLOID-FOCON SYSTEM

The limiting concentrating power of the paraboloid-focon system is investigated. It is established that the use of the focon and its technologically feasible variant-cone as a secondary concentrator can increase the concentration of solar radiation by at least 10-15%, including for wide-aperture paraboloid concentrators with opening angles of the order of 60 °.

Key words: solar radiation, paraboloid-focon systems, concentrator, mirror reflection.

Создание крупногабаритных ЗКС с требуемыми точностями геометрии концентрирующей поверхности представляет существенные технические сложности. В связи с чем, на практике концентрирующие характеристики ЗКС составляют не более 30-50% от их теоретических значений. Один из путей решения задачи это дополнительная концентрация солнечного потока вторичным концентратором (ВК) /1,2/.

Можно выделить две основные схемы ВК /1/. Первая - ВК находится перед фокальной плоскостью первичного концентратора (ПК), и вторая - ВК располагается за фокальной плоскостью ПК.

Первая схема ВК рассматривалась в работах ФТИ АН РУз (цельный конус) и Европейского солнечного центра (составной конус). Однако, в настоящее время проведен только качественный анализ концентрирующих характеристик таких систем и практически не рассмотрены задачи оптимизации параметров ВК, особенно с учетом неточностей геометрии ПК и ВК.

Анализ второй схемы ВК (параболоид-эллипсоид) /3/ показал, что для ПК с большими U0 более эффективной может оказаться первая схема ВК, а для ЗКС с малыми и средними U0 эффективными могут быть обе схемы ВК. Для второй схемы ВК в /3/ было получено также приближенное аналитическое выражение для предельных концентраций.

Цель настоящей работы является определение предельных концентраций системы параболоид – фокон, который располагается перед фокальной плоскостью ПК (см. рис.1).

Определим понятие концентрации такой системы. Суммарная плотность потока системы ES, очевидно, равна сумме плотностей от ПК-E1 и ВК-E2, или

$$ES = E1 + E2 \qquad (1)$$

При этом концентрация КС, или безразмерная плотность потока обычно определяется относительно прямой солнечной радиации E0 (обычно выделяют концентрацию в фокусе и среднюю концентрацию по приемнику), или

$$KS = ES/E0 = E1/E0 + E2/E0 = K1 + K2 \qquad (2)$$

Соответственно выделяют предельные концентрации или случай, когда коэффициент зеркального отражения RZ = 1. Обозначим их для нашей системы как - КС0, К10, К20 , или

$$K1 = RZ1 * K10; \qquad K2 = RZ1 * RZ2 * K20 \qquad (3)$$

$$KS0 = K10 + K20 \qquad (4)$$

Для определения эффективности системы параболоид - фокон была разработана численная модель системы, которая была программно реализована на языке "Delphi 7". Задача решалась следующим образом.

Для заданных U0, σ1 и rm варьировали углом α и глубиной фокона H и находили распределение облученности по приемной площадке и по критерию максимальной облученности в фокусе определяли оптимальные α и H. На рис. 2а приведены предельные концентрации системы параболоид-фокон КС0(кривые "S"), параболоида К10 (кривые "1") и фокона К20 (кривые "2" для фокона с оптимальными α и глубиной H) в фокусе параболоидного концентратора точного (σ1= 0 угл.мин.) и неточного (σ1= 7 угл.мин.) для случая, когда rm/rU0=0.3. Для фокона учитывалось только одно отражение. Как видно, "добавка" в концентрацию от фокона достаточно велика.

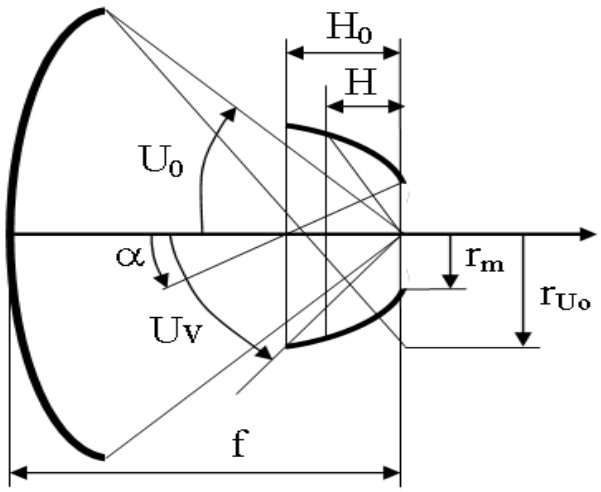
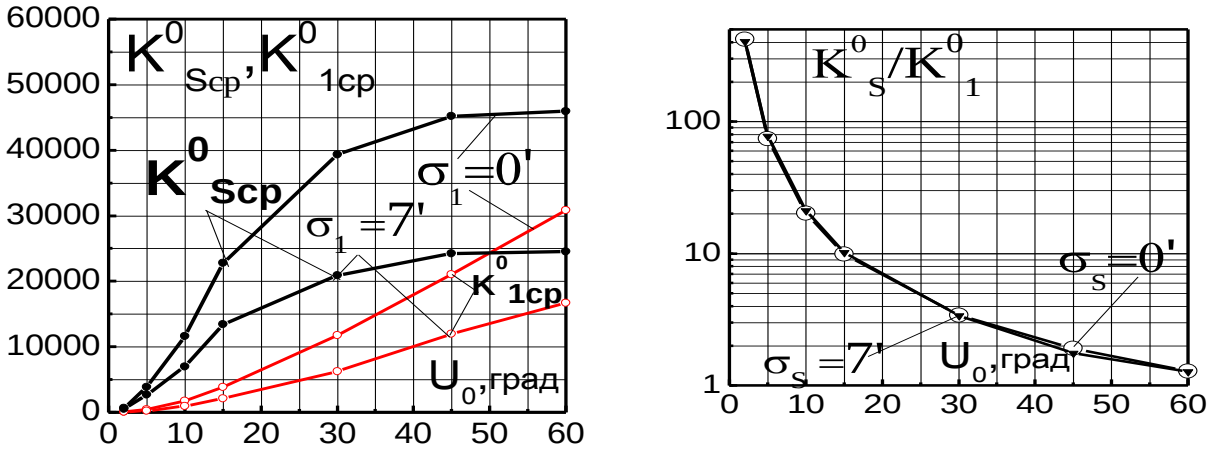


Рис.1. Основные параметры системы параболоид-фокон.

Так, для точного параболоида, практически, с углов раскрытия U0 =20 применение фокона позволяет достигать концентраций более 30000, а уже для U0 =300 могут быть обеспечены концентрации порядка 50000 (напомним, что теоретически предельная концентрация солнечного излучения на Земле в воздушной среде составляет около 58041). Естественно, с увеличением угла раскрытия параболоида U0, или с увеличением К10 возможности повышения концентрации фоконом уменьшаются, однако, как видно, и для U0 = 600 прибавка достаточно велика, порядка 12000, или около 25%, причем в отличие от второй схемы ВК /3/ здесь эффекты от фокона будут теоретически иметь место вплоть до U0 = 900 (для первой схемы только для U0 ≤ 600). Отметим, что кривая концентрации фокона имеет максимум в области U0 от 200 до 300. Также можно видеть, что для неточного параболоида концентрации элементов и системы достаточно сильно уменьшаются, почти пропорционально. Однако, все же, например, система параболоид - фокон с неточностями параболоида σ1 = 7угл.мин. при U0 = 450, дает такие же концентрации, как и точный параболоид с U0 = 450. На рис.2б приведены относительные концентрации системы параболоид-фокон, в долях от концентрации параболоида в системе. Можно отметить, что ход этих кривых, при малых U0 существенно отличается от концентрации системы параболоид – эллипсоид /3/, однако, уже начиная с U0 порядка 300 различие между ними практически исчезает.



а) б)

Рис.2. Предельные (а) и относительные (б) концентрации системы параболоид-фокон и её элементов.

На практике, важны не только локальные, но и средние концентрации по приемнику. На рис.3 приведены средние концентрации параболоида К1ср0 в системе и системы ПК-ВК КScp0, на площадке радиусом rm (rm = 0.3∗ rU0). Как видно, эффекты здесь даже больше, чем для случая локальных концентраций, т.е. фокон может быть использован не только для повышения плотности потока в фокусе, но и для увеличения средней плотности потока по приемнику, следовательно, и для выравнивания потока по приемнику.

.

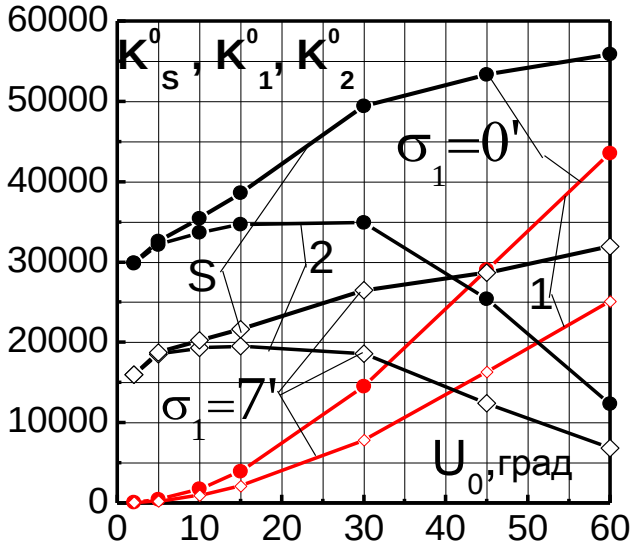
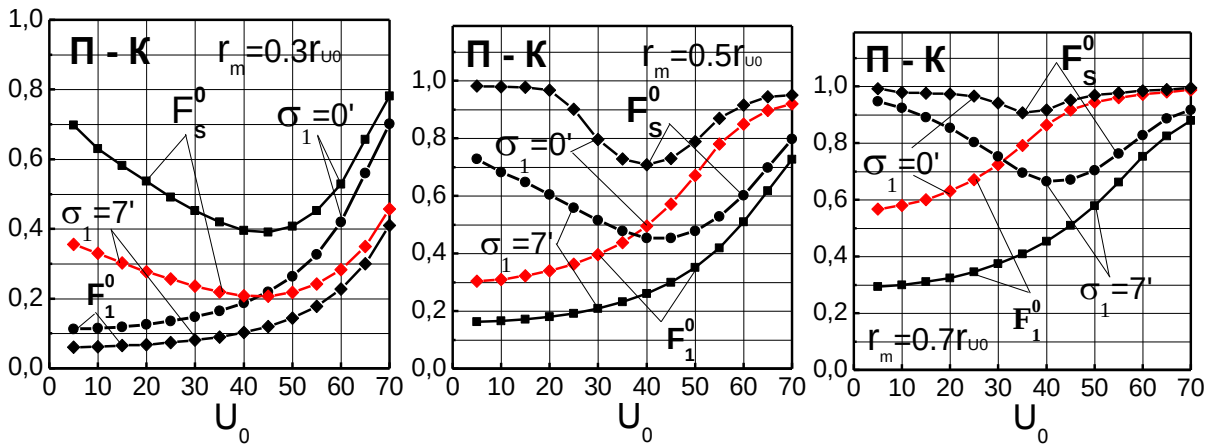


Рис.3.Средние концентрации системы и параболоида на радиусе rm = 0.3∗ rU0.

Можно отметить, что отношение К0Scp к К01ср показывает, во сколько раз увеличивается поток на приемнике в системе, по сравнению с потоком, посылаемым на приемник параболоидом. Конечно, с увеличением радиуса выходного отверстия фокона rm эффекты от него будут снижаться. В связи с этим практически важно оценить потоки в системе в зависимости от радиуса выходного отверстия конуса rm. Результаты этих исследований для системы параболоид - конус приведены на рис.4 (наши исследования /4/ показали, что уже начиная с U0 > 300 различий между эффективностью фокона и конуса практически не имеется, а так как конус более технологичен в изготовлении, то дополнительные детальные варианты рассмотрены для системы параболоид – конус).



а) **б)** **в)**

Рис.4. Потоки в выходном отверстии конуса в системе П-К при различных rm и неточностях параболоида σ в зависимости от угла его раскрытия U0.

Как видно из рис.4, в системе приёмник-концентратор (П-К) повышается не только концентрация, но и достаточно существенно увеличивается поток в выходном отверстии конуса. Интересно отметить, что кривая суммарного потока имеет минимум. Это, как было отмечено выше, обусловлено тем, что предфокальный вторичный концентратор может "собирать" либо "внутренние" либо "внешние" лучи от параболоида.

При этом, как показали исследования, появляются локальные максимумы облученности. Также было выявлено, что в принципе оптимума по глубине конуса в общем нет, наиболее оптимальной является такая глубина конуса, когда она доходит до концентратора, что нереально. Поэтому, в исследованиях ограничились глубиной конуса H в диапазоне H/ rm ≤ 7. Причем оказалось, что и в этом случае возможны локальные максимумы, как по концентрации, так и по потоку, особенно при малых углах U0, до 150.

Таким образом, минимумы кривой потока в системе П-К, в зависимости от угла раскрытия U0 параболоида обусловлены структурой концентрированного потока, создаваемого параболоидом. При малых U0 пучок достаточно "узкий" поэтому имеется возможность достаточно эффективного сбора потока.

С увеличением U0 имеется область (U0 до 400), когда поток от самого параболоида растет медленнее, чем угловой размер пучка, причем с увеличением углового размера пучка, возможности конуса уменьшаются, эти два фактора и приводят к уменьшению потока добавляемого конусом. Далее рост потока от параболоида начинает расти быстрее, чем U0, а вклад конуса, хотя объективно и уменьшается, но в сумме это приводит к общему росту потока, что и объясняет наличие минимумов в кривых суммарного потока в системе П-К.

Общие зависимости эффективности конуса в системе П – К при различных радиусах выходного отверстия приведены на рис. 5. Можно видеть, что практически до rm/rU0 = 0,5 кривая эффективности не зависит от неточностей (rU0 – радиус пятна в фокальной плоскости от точного параболоида с углом раскрытия U0). При этом, например, для U0=450 и σ=7' система П-К на радиусе rm/rU0 = 0,5 обеспечивает улавливание около 47% падающего потока, а сам параболоид на этом радиусе обеспечивает только около 30%, т.е. конус увеличивает поток примерно в 1,5 раза, соответственно увеличивается и средняя плотность потока.

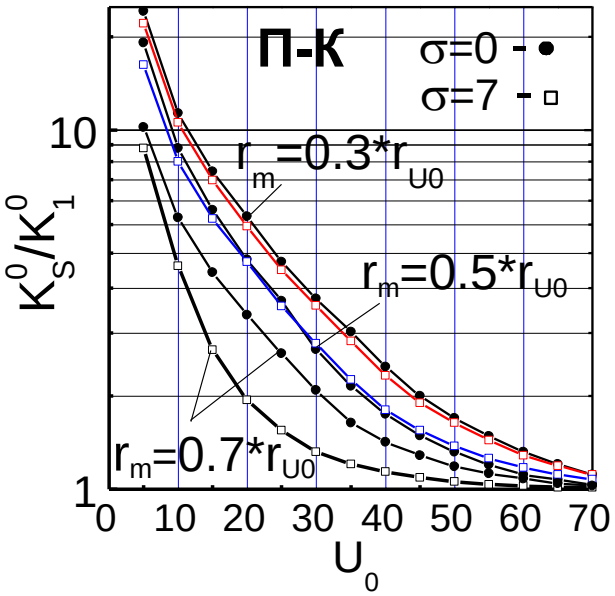


Рис.5. Эффективность системы параболоид – конус при различных радиусах конуса rm и неточностях σ параболоида в зависимости от угла раскрытия параболоида U0.

Таким образом, применение фокона и его технологически реализуемого варианта - конуса в качестве вторичного концентратора может и для широкоапертурных параболоидных концентраторов с углами раскрытия U0 порядка 600 повысить концентрацию как минимум на 10-15%. Для меньших U0 эффективность ВК достаточно высока и на практике возможно желательно уменьшать U0, чтобы получать в системе больший выигрыш.

Литература:

1. Клычев Ш.И., Захидов Р.А., Бахрамов С.А., Абдурахманов А., Дудко Ю.А., Эффективность вторичных концентраторов солнечного излучения. Гелиотехника, 2001, №4, с 40-45.
2. 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. тр. конф. "Фундаментальные и прикладные вопросы физики" НПО "Физика-Солнце" АН РУз, Ташкент, сентябрь 2006, с88-90.
3. J. O'Gallagher, R. Winston, D. Suresh and C. T. Brown Design and test of an optimized secondary concentrator with potential cost benefits for solar energy conversion. Energy, Volume 12, Issues 3-4, March-April 1987, Pages 217-226.

A. Lewandowski, C. Bingham, J. O'Gallagher, R. Winston and D. Sagie. Performance haracterization of the SERI High-Flux solar furnace. Solar Energy Materials, Volume 24, Issues 1 - 4, 2 December 1991, Pages 550-563.