

# Производство стандартизированного кормового продукта на основе депозитов биотопливных культур как перспективная биотехнология

*Развитие мировой биоэнергетики в условиях усиливающегося дефицита ископаемого углеводородного сырья уже в ближайшей перспективе может привести мир к значительному сокращению посевных площадей, отводимых для производства продовольствия и, как следствие, к уменьшению его доступности и голоду. В то же время современные биотехнологии позволяют смягчить проблему снижения продовольственной достаточности путем производства стандартизированного кормового продукта на основе депозитов (отходов) сельскохозяйственных культур, используемых при выработке биотоплива.*

*В статье формулируются нутрилогические и технологические подходы к производству универсального кормового продукта с использованием известных и перспективных биотехнологий. Приводится оценка экономической эффективности производства «синтетического ячменя» для условий России, обосновывается значимость соответствующих технологий в обеспечении национальной и глобальной продовольственной безопасности.*

**Yuri A.Shushkevich. Production of Standardised Feed Product on the Basis of Biofuel crops deposits as a prospective biotechnology.**

**Abstract.** The development of world bioenergetics under conditions of increasing shortage of fossil raw hydrocarbons may very shortly result in substantial diminishing of cultivated crops areas worldwide presently intended for food production and, consequently, in decrease of food availability and global hunger. At the same time modern biotechnologies allow to ease the problem of food sufficiency decrease by manufacturing standardised feed product out of protein- and fibre-containing deposits of the agricultural products used for biofuel production.

The Article defines nutrilogic and technologic approaches to the elaboration of standardised feed product with the use of existing and prospective biotechnologies. It contains economic efficiency evaluation of “synthetic barley” production in Russian conditions and gives grounds for respective technologies importance as far as national and global food safety is concerned.

## **1. Перспективы развития биоэнергетики в мире и в России**

Общеизвестен интерес, который во многих странах мира проявляется к выработке биотоплива. В условиях ограниченности мировых запасов углеводородов и проблематичности перевода мировой энергетики на такие нетрадиционные источники, как геотермальная, ветряная энергия, энергия приливов и т.д., получение

биотоплива из сельскохозяйственного сырья имеет, по-видимому, наилучшие перспективы.

По данным Всемирной продовольственной организации ООН, в 2009 году на суммарной площади пашни, составляющей 1.44 млрд. гектаров, в мире было произведено 10.1 млрд. тонн основных сельскохозяйственных культур, в том числе 682 млн. тонн пшеницы, 679 млн. тонн риса, 817 млн. тонн кукурузы, 222 млн. тонн сои, 1.9 млрд. тонн сахарного тростника и сахарной свеклы<sup>1</sup>.

Суммарный энергетический эквивалент произведенных в 2009 году сельскохозяйственных культур по максимальной обменной энергии оценивается автором в  $2.59 \cdot 10^{19}$  Кал (по валовой, или полной энергии – приблизительно в  $3.49 \cdot 10^{19}$  Кал). На выработку биотоплива в мире сегодня расходуется около 310 млн. тонн пшеницы, кукурузы, сахарных тростника, свеклы и масличных культур с полным энергетическим эквивалентом  $5.1 \cdot 10^{17}$  Кал, или  $2.13 \cdot 10^{18}$  Дж – что эквивалентно 47 млн. тонн в нефтяном эквиваленте. Фактически же мировое производство биотоплива в 2009 г составило 50.7 млн. тонн (около 30 млн. тонн нефтяного эквивалента), что связано с более низкой калорийностью биоэтанола и неполным переходом валовой энергии биосырья в энергию топлива.

Таблица 1. Данные по выработке и прогноз производства биотоплива в мире (в млн. тонн)

Виды биотоплива	1980	2009	2030
Биоэтанол из кукурузы и пшеницы	--	22.0	330.0
Биоэтанол из сахарного тростника и сахарной свеклы	1.1	26.0	125.0
Биодизель из масличных (соя, рапс, плоды пальмы и т.д.)	--	2.7	45.0
<b>Итого биотоплива, млн. тонн</b>	<b>1.1</b>	<b>50.7</b>	<b>500</b>
Энергетическая ценность выпускаемого биотоплива, Дж	$2.75 \cdot 10^{16}$	$1.32 \cdot 10^{18}$	$1.34 \cdot 10^{19}$
Объем потребляемых в мире энергоресурсов, Дж	$3.1 \cdot 10^{20}$	$5.4 \cdot 10^{20}$	$6.3 \cdot 10^{20}$
Доля биотоплива в мировом энергетическом балансе, %	0.01%	0.24%	2.14%

В соответствии с принятыми в 2005 году в США законодательными актами об энергетической политике, к 2017 году производство биотоплива только в этой стране должно вырасти до 133 млн. тонн<sup>2,3</sup>. Стремление властей США и многих других стран развивать производство биотоплива связано с пониманием ограниченности разведанных запасов традиционных энергоносителей, прежде всего, углеводородов<sup>4,5</sup>. При сохранении нынешних темпов увеличения населения планеты и роста энергопотребления разведанные запасы нефти и газа могут быть исчерпаны к 2043 г, а разведанные запасы угля и урана – к концу XXI века<sup>6</sup>. В этих условиях биотопливо оказывается единственной реальной альтернативой, по крайней мере, по отношению к жидким нефтепродуктам.

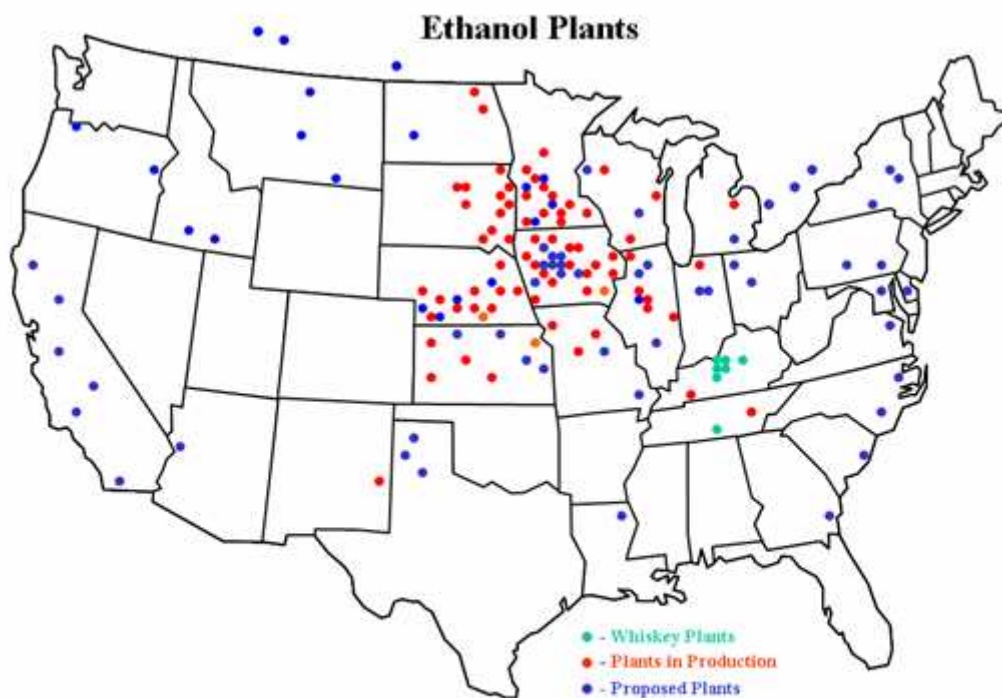


Схема размещения действующих и строящихся заводов по выработке биоэтанола в США (источник - University of Minnesota, <http://www.ddgs.umn.edu/map.htm>)  
 В среднем мощность единичного завода в США составляет 1 млн. тонн биоэтанола в год

В России в обозримом будущем также следует ожидать начало крупномасштабного производства биотоплива. Представление о наиболее перспективных культурах для производства биотоплива в условиях умеренного климата нашей страны можно получить из Таблицы 2.

Таблица 2. Характеристики эффективности выработки биотоплива из основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в условиях умеренного климата

	Оптимальная урожайность, ц/га	Выход биотоплива с 1 га пашни, тонн	Выход энергии с 1 га пашни, Гдж	Выход энергии с 1 га пашни, тонн нефтяного эквивалента
Пшеница	60	2.2	56	1.3
Кукуруза	65	2.9	73	1.7
Сахарная свекла	400	6.0	150	3.5
Рапс	30	1.3	53	1.2
Соя	27	0.7	28	0.7
Люпин	30	0.2	8	0.2
Микроводоросли	1500	13.5	567	13.2

**Примечание:** здесь и далее в статье «модельным» видом микроводорослей, используемым для производства биотоплива, принимается спирулина.

Только за счет использования выведенных из оборота за последние два десятилетия 22 млн. га пашни наша страна могла бы производить более 20 млн. тонн нефтяного эквивалента биотоплива на основе традиционных сельскохозяйственных культур. При развитии же технологий производства и переработки микроводорослей и других фототрофов объемы отечественной биоэнергетики могут вырасти на

порядок. При этом использование депозитов биотопливных культур в качестве кормовых добавок способно сформировать в нашей стране принципиально новую кормовую базу животноводства, добиться удешевления и кратного увеличения производства продукции животноводства.

Согласно прогнозам, к 2030 году в мире будет производиться не менее 500 млн. тонн биотоплива. Если к этому времени биотопливные технологии не претерпят кардинальных изменений, то для этого потребуется на площади пашни около 430 млн. га выращивать более 3 млрд. тонн сельскохозяйственного «энергетического» сырья. Однако и в случае значительного прогресса биотопливных технологий будет сохраняться дилемма выбора между энергией и продовольствием, между обеспечением энергетических потребностей, связанных, в основном, с энергопотреблением в развитых странах, и потребностей продовольственных, в большей степени относящихся к странам «третьего мира». Ключом к решению данной проблемы, к предотвращению угрожающего общемирового дефицита продовольственных ресурсов может и должно стать широкое использование депозитов биотопливных культур в качестве новой основы кормов для животноводства.

Если развитие биотопливной индустрии будет осуществляться одновременно и параллельно с использованием ее побочных продуктов в интересах производства продуктов питания, то дилеммы между «хлебом и биоэнергией» удастся избежать, и соответствующие новые технологии смогут стать основой для долгосрочного и экологически сбалансированного развития.

## **2. Проблемы использования депозитов биотопливных культур в качестве кормов**

В целях получения биотоплива используется сравнительно небольшая часть биологического вещества сахарного тростника (свеклы), зерновых и масличных культур – сахара, полисахариды и триглицериды. При этом в депозитах - отходах биотопливного производства – остаются значительные количества белков, сырой, нейтральнорастворимой и кислоторастворимой клетчатки и легкоусвояемых углеводов. Все эти вещества могут и должны использоваться в качестве кормовых ингредиентов при получении животноводческой продукции.

Так, в 1 кг пшеницы содержится 18.9 Мдж валовой энергии. При получении биоэтанола в топливо переходит 9.25 Мдж, выделяется в процессе спиртового брожения 0.38 Мдж, остается в послеспиртовой барде (DDGS – dry distilled grain solubles) до 9.3 Мдж. В 1 кг сои содержится 23.1 Мдж валовой энергии, в биодизель переходит 10.5 Мдж, остается в белково-углеводном депозите (шроте) до 12.4 Мдж валовой энергии. Иными словами, при наиболее распространенных традиционных биотопливных технологиях до половины валовой энергии растений и более сохраняется в кормовых депозитах.

Таблица 3. Соотношение энергии, утилизируемой в биотопливе, и энергии, остающейся в депозитах основных биотопливных сельскохозяйственных культур

Сырье	Валовая энергия, Мдж/кг	Энергия, переходящая в биотопливо, Мдж	Потери, Мдж	Валовая энергия депозита, Мдж	Доля валовой энергии, остающейся в депозите, %	Доля валовой энергии, переходящей в биотопливо, %
Пшеница	18.93	9.25	0.38	9.30	49.1%	48.9%
Кукуруза	18.56	11.25	0.45	6.86	37.0%	60.6%
Сахарный тростник	6.41	3.94	0.6	1.87	29.2%	61.4%
Сахарная свекла	12.95	3.75	0.57	8.63	66.6%	29.0%
Рапс	27.64	17.64	0.35	9.64	34.9%	63.8%
Соя	23.14	10.5	0.21	12.43	53.7%	45.4%
Спирулина (при влажности 15%)	20.75	3.78	0.08	16.90	81.4%	18.2%

Тем не менее, несмотря на высокий энергетический потенциал кормовых депозитов биотопливных культур, их непосредственное использование в кормовых целях сопряжено с рядом ограничений.

Прежде всего, несмотря на высокий исходный энергетический потенциал, у большей части кормовых депозитов показатели обменной энергии, то есть той энергии, которую сельскохозяйственные животные способны извлечь из кормов и использовать в процессе своего роста и развития, оказываются значительно ниже:

Таблица 4. Соотношение валовой и обменной энергии в основных кормовых добавках, вырабатываемых в процессе производства биотоплива

Показатель	Соевый концентрат	Соевый шрот	Люпин б/обол.	Рапсовый жмых	DDGS	Жом свекловичный	Жмых спирулины
Валовая энергия, ккал/кг	4 957	4 491	4 701	4 367	4 436	4 110	4 385
Валовая энергия, Мдж/кг	20.77	18.82	19.70	18.30	18.59	17.22	18.37
Обменная энергия при существующих технологиях кормового применения, Мдж/кг	15.20	9.50	9.80	11.30	8.80	11.00	15.00
<b>Выход обменной энергии, %</b>	<b>73</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>62</b>	<b>47</b>	<b>64</b>	<b>82</b>

При этом если соевый концентрат или соевый шрот являются классическими кормовыми добавками с высокими показателями перевариваемости и уровнями обменной энергии, то перевариваемость белка послеспиртовой барды (DDGS) не превышает 60%, а содержащаяся в барде целлюлоза и гемицеллюлоза в принципе не перевариваются моногастричными животными. Аналогично дело обстоит и с другими депозитами биотопливных культур. Несмотря на наличие в них большого количества энергии, потенциально возможной для использования в метаболизме сельскохозяйственных животных, значительная ее часть не утилизируется животными. Так, при существующих технологиях кормового применения выход

обменной энергии из валовой энергии корма из послеспиртовой барды (DDGS) не превышает 47% - в то время как для соевого концентрата аналогичный показатель оценивается в 73%. А относительно высокий показатель обменной энергии свекловичного жома сам по себе не обеспечивает его кормовую эффективность, так как белок жома несбалансирован и содержит высокий процент антипитательных простетических (неаминокислотных) белковых соединений.

Другой проблемой, ограничивающей использование депозитов биотопливных культур в кормлении сельскохозяйственных животных, является дефицитность их белка по незаменимым аминокислотам. Даже белок лучшей кормовой добавки растительного происхождения – соевого концентрата – имеет небольшую дефицитность по лизину и метионину. В таблице 5 приводится характеристика отклонения аминокислотного профиля белка основных кормовых добавок от принимаемого в качестве «идеальной» кормовой добавки марокканской рыбной муки. Анализ ведется только по восьми незаменимым аминокислотам, при этом рассчитываются среднеквадратичные отклонения и отклонения по дефицитности аминокислот. Отклонения, связанные с избыточным содержанием аминокислоты в кормовой добавке, в последнем случае не анализируются.

Таблица 5. Показатели отклонения аминокислотного профиля основных кормовых добавок от белка марокканской рыбной муки

А. Данные по аминокислотному профилю основных кормовых депозитов (в процентах к общему белку)

	Соевый концентрат	Соевый шрот	Люпин б/обол.	Рапс	DDGS	Жом свекловичный	Жмых спирulina	Рыбная мука (Марокко)
<b>1.1. Незаменимые аминокислоты</b>								
Изолейцин	5.00	4.90	3.93	4.03	2.78	2.63	5.70	4.31
Лейцин	8.20	8.00	7.98	6.83	10.22	5.63	8.70	7.38
Лизин	6.50	6.40	5.04	5.77	2.85	3.60	5.10	7.86
Метионин	1.40	1.40	1.30	2.20	1.30	1.13	2.60	2.82
Фенилаланин	5.20	5.30	4.57	4.40	4.63	0.31	5.00	4.08
Треонин	4.25	4.20	4.24	4.29	3.51	1.88	5.40	4.20
Триптофан	1.40	1.20	0.60	1.31	0.11	0.38	1.50	1.15
Валин	5.30	5.30	3.69	4.89	4.19	1.13	7.50	5.05
<b>1.2. Прочие аминокислоты</b>								
Аланин	4.20	4.00	3.04	4.37	3.00	0.19	7.90	6.30
Аргинин	7.20	7.00	11.96	6.06	4.26	5.63	6.50	5.78
Аспарагиновая кислота	11.40	11.30	9.85	7.29	8.00	1.88	9.10	9.10
Цистин	1.50	1.60	0.71	2.69	1.77	2.55	0.90	0.85
Глутаминовая кислота	17.34	17.20	22.00	18.37	17.00	26.25	12.70	12.80
Глицин	4.15	4.00	3.66	5.00	4.47	1.88	4.80	6.00
Гистидин	2.70	2.70	2.97	3.23	2.22	1.13	1.50	2.77
Пролин	5.10	4.70	2.78	6.37	6.00	0.56	4.10	4.20
Серин	5.10	5.00	4.46	4.69	4.47	4.50	5.30	3.80
Тирозин	3.90	3.90	4.87	3.00	4.07	1.50	4.60	3.10
<b>Сумма аминокислот всего</b>	<b>99.84</b>	<b>98.10</b>	<b>97.65</b>	<b>94.77</b>	<b>84.84</b>	<b>62.71</b>	<b>98.90</b>	<b>91.55</b>

<i>в т.ч. незаменимых</i>	37.25	36.70	31.35	33.71	29.59	16.66	41.50	36.85
<i>в т.ч. заменимых</i>	62.6	61.4	66.3	61.1	55.3	46.1	57.4	54.7

**Источник:** данные <sup>7, 8, 9, 10</sup>

## Б. Среднеквадратичные и линейные отклонения аминокислотных профилей от показателей белка марокканской рыбной муки

Аминокислоты	Соевый концентрат	Соевый шрот	Люпин б/обол.	Рапс	DDGS	Жом свекловичный	Жмых спирулины
<i>Среднеквадратичные отклонения <math>\sigma</math></i>							
Изолейцин	0.005%	0.004%	0.001%	0.001%	0.023%	0.028%	0.019%
Лейцин	0.007%	0.004%	0.004%	0.003%	0.080%	0.031%	0.017%
Лизин	0.019%	0.021%	0.080%	0.044%	0.251%	0.182%	0.076%
Метионин	0.020%	0.020%	0.023%	0.004%	0.023%	0.029%	0.000%
Фенилаланин	0.013%	0.015%	0.002%	0.001%	0.003%	0.142%	0.009%
Треонин	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.005%	0.054%	0.014%
Триптофан	0.001%	0.000%	0.003%	0.000%	0.011%	0.006%	0.001%
Валин	0.001%	0.001%	0.018%	0.000%	0.007%	0.154%	0.060%
<b>Итого с/кв. отклонений <math>\sigma</math></b>	<b>0.89%</b>	<b>0.90%</b>	<b>1.28%</b>	<b>0.81%</b>	<b>2.25%</b>	<b>2.80%</b>	<b>1.57%</b>
<i>Линейные отклонения <math>\nu</math> по условию дефицитности</i>							
Изолейцин			-0.378%	-0.279%	-1.528%	-1.683%	
Лейцин				-0.556%		-1.760%	
Лизин	-1.362%	-1.462%	-2.822%	-2.090%	-5.012%	-4.262%	-2.762%
Метионин	-1.415%	-1.415%	-1.515%	-0.615%	-1.515%	-1.690%	-0.215%
Фенилаланин						-3.766%	
Треонин					-0.690%	-2.325%	
Триптофан			-0.554%		-1.044%	-0.779%	
Валин			-1.356%	-0.160%	-0.856%	-3.921%	
<b>Итого линейных отклонений <math>\nu</math> по условию дефицитности</b>	<b>-0.35%</b>	<b>-0.36%</b>	<b>0.83%</b>	<b>-0.46%</b>	<b>-1.33%</b>	<b>-2.52%</b>	<b>-0.37%</b>

Как следует из таблицы, наиболее близкими к «идеальной кормовой добавке» являются такие кормовые депозиты, как соевый концентрат и соевый шрот, а также жмых спирулины. Относительно хорошими показателями характеризуются также белки люпина и рапса. В то же время белок послеспиртовой барды (DDSS) и свекловичного жома (SBP – sugar beet pulp) имеют значительный уровень дефицита практически по всем незаменимым аминокислотам, особенно по лизину, изолейцину и метионину. Отсюда возникает актуальная потребность в технологиях, способных путем корректировки аминокислотного профиля кормовых депозитов приближать качество их белка к оптимуму.

Еще одной проблемой, стоящей на пути широкомасштабного применения кормовых депозитов биотопливных культур в животноводстве, является необходимость удаления или инактивации антипитательных веществ. Для депозитов сои основными антипитательными компонентами являются белки ингибитор трипсина и уреазы, для люпина – «горькие» алкалоиды, для рапса – глюкозинолаты, для спиртовой барды зерновых – микотоксины и т.д. Известные на сегодняшний день

технологии инактивации антипитательных веществ весьма избирательны и узкоспецифичны, что затрудняет их стандартизацию и широкое внедрение.

Наконец, следует упомянуть и о такой проблеме, как избыточная насыщенность кормовых депозитов белком, в большинстве приложений (за исключением аквакультуры и пушного звероводства) не позволяющая непосредственно использовать их в качестве готового корма. В полнорационном готовом корме оптимальной является концентрация общего протеина на уровне 18-25%, при более высоких уровнях в организме животных начинает накапливаться мочевая кислота, избыток которой приводит к нарушению обмена веществ и различным заболеваниям. Антипитательным фактором является также и повышенная концентрация в ряде кормовых депозитов неаминокислотных фракций белка и небелкового азота - простетических групп, пуриновых и пиримидиновых оснований, нуклеиновых кислот и т.д. Наиболее высокий уровень простетических групп и небелкового азота среди анализируемых нами кормовых депозитов биотопливных культур наблюдается в свекловичном жоме, послеспиртовой барде, рапсовом жмыхе и жмыхе спиролины.

### **3. Выработка универсального кормового продукта как комплексное решение проблемы использования кормовых депозитов**

В настоящее время со всей очевидностью на передний план науки о кормах и прикладной биотехнологии выдвигается задача переработки и комплексного использования кормовых депозитов для выработки стандартизированных кормов высокого качества. Сложившееся на сегодняшний день положение дел, когда переработка жмыхов, шротов и других кормовых депозитов осуществляется без фундаментальных научно-технологических исследований, на основе технических условий производителей, зачастую с использованием кустарных методов и сомнительных технологических решений самым серьезным образом вредит развитию кормовой промышленности и животноводства. Многочисленные «уникальные разработки» и «инновационные корма», предложениями которых пестрят Интернет и отраслевые издания, в лучшем случае реализуются в масштабах 1-2 комбикормовых заводов и сельскохозяйственных предприятий, для их реализации в национальном масштабе не существует ни отработанных научно-технологических решений, ни общепринятой базы технического регулирования.

Тревогу вызывает и то обстоятельство, что активизировавшиеся в России в последние годы исследования в области перспективных биотопливных технологий имеют выраженный «энергетический уклон» и практически не затрагивают проблем стандартизированного эффективного использования кормовых депозитов.

По мнению автора, представляется целесообразным в качестве базового технического решения, на основе которого должна строиться и развиваться национальная биотехнологическая система по переработке и использованию кормовых депозитов, определить задачу получения **универсального кормового продукта**. Универсальным кормовым продуктом будем называть стандартизированный полнорационный корм, полученный в процессе объединения и биотехнологической модификации основных кормовых депозитов, образующихся при производстве биотоплива. Универсальный кормовой продукт должен обладать



сбалансированным составом по всем основным компонентам, прежде всего по незаменимым аминокислотам, содержать минимальные количества антипитательных веществ, обладать достаточной концентрацией легкоусвояемых углеводов и показателем обменной энергии не менее 13.0-13.5 Мжд/кг. Для универсального кормового продукта, который можно рассматривать в качестве «синтетического ячменя» - исторически ведущей зерновой культуры для кормовой промышленности - должны иметься простые и надежные технологии финальной доработки применительно к кормлению конкретных зоотехнических групп и видов животных, прежде всего в разрезе моногастричных животных и животных с преджелудком.

Таблица 6. Предполагаемый состав и основные характеристики универсального кормового продукта («синтетического ячменя»).

<b>1. Аминокислотный профиль белка</b>	<b>В г на 100 г белка</b>
1.1. Незаменимые аминокислоты	
Изолейцин	4.31
Лейцин	7.38
Лизин	8.80
Метионин	3.40
Фенилаланин	4.08
Треонин	5.20
Триптофан	1.80
Валин	5.05
1.2 Прочие аминокислоты	
Аланин	6.30
Аргинин	5.78
Аспарагиновая кислота	9.10
Цистин	0.85
Глутаминовая кислота	12.80
Глицин	6.00
Гистидин	2.77
Пролин	4.20
Серин	3.80
Тирозин	3.10
Сумма аминокислот всего	94.72
в т.ч. незаменимых	40.02
в т.ч. заменимых	54.7
<b>2. Биохимический состав продукта</b>	
Белок - всего	25.0%
в т.ч. простые белки (аминокислоты)	23.7%
в т.ч. простетические соединения и небелковый азот	1.3%
Жир	5.0%
Сырая клетчатка (целлюлоза)	9.0%
Гемицеллюлоза и кислотнорастворимый лигнин	6.0%
Зола	5.0%
Влажность (с учетом экструдирования/гранулирования)	8.0%
Легкоусваиваемые углеводы (по разнице)	42.0%
<b>3. Энергетические показатели</b>	
ВАЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ, ккал/кг	4 124

ВАЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ, Мдж/кг	17.28
Обменная энергия при существующих технологиях кормового применения	13.50
<b>Выход обменной энергии, %</b>	<b>78</b>

В отличие от природных кормовых злаков, в универсальном кормовом продукте за счет незначительного - с 60% до 42% - снижения концентрации легкоусвояемых углеводов (крахмала и сахаров) содержание белка предполагается увеличить с 10-12% до 25%, содержание жира повысить с 1.5-2.0% до 5%. С учетом кормовых потребностей скорректирован и аминокислотный профиль белка перспективного корма: увеличено содержание лизина, метионина, треонина и триптофана. Представляется, что кормовой продукт с подобными характеристиками будет иметь высокую востребованность в индустриальном свиноводстве, птицеводстве. В молочном животноводстве при мясном откорме КРС универсальный кормовой продукт должен применяться как добавка к традиционным грубым и сочным кормам, а содержащийся в нем белок должен быть защищен от переваривания в рубце с помощью термической или спиртовой денатурации.

С целью проверки гипотезы о возможности композиции универсального корма («синтетического ячменя») из основных кормовых депозитов биотопливных культур, имеющих или ожидаемых в России, автором была решена задача нахождения такого сочетания последних, при котором достигается точное целевое соответствие по содержанию лизина, метионина, триптофана и треонина, по уровням общего белка, жира и легкоусвояемых углеводов. В качестве критерия оптимальности задачи была принята минимизация среднеквадратичного отклонения по остальным незаменимым аминокислотам.

Как следует из Таблицы 6, содержащей решение данной задачи, универсальный кормовой продукт может быть получен на основе сочетания депозитов биотопливных культур с их дополнением синтетическими аминокислотами, жирами и легкоусвояемыми углеводами:

Таблица 6. Решение задачи поиска оптимального сочетания ингредиентов для производства гипотетического универсального кормового продукта

**А. Решение задачи – состав ингредиентов универсального кормового продукта**

<b>Ингредиент</b>	<b>Содержание, %</b>
<b><i>Депозиты биотопливных культур</i></b>	<b>73.3%</b>
Соевый концентрат	3.0%
Соевый шрот	5.0%
Люпин б/оболочки	3.0%
Рапсовый жмых	2.0%
Послеспиртовая барда (DDGS)	45.5%
Жом свекловичный (SBP)	9.4%
Жмых спиролины	5.4%
<b><i>Синтетические аминокислоты и прочие добавки</i></b>	<b>26.7%</b>
L-Лизин	1.3%
DL-метионин	0.5%
L-треонин	0.4%

L-триптофан	0.3%
Жир	0.0%
Легкоусваиваемые углеводы	24.2%
<b>Итого</b>	<b>100.0%</b>

**Б. Состав и энергетические характеристики композитного корма и их сравнение с заданными показателями универсального кормового продукта**

<b>1. Аминокислотный профиль белка (в граммах на 100 г белка)</b>	<b>Предлагаемая композиция</b>	<b>Целевой показатель</b>
<b>1.1. Незаменимые аминокислоты</b>		
Изолейцин	3.32	4.31
Лейцин	8.06	7.38
Лизин	8.80	8.80
Метионин	3.40	3.40
Фенилаланин	4.06	4.08
Треонин	5.20	5.20
Триптофан	1.80	1.80
Валин	4.20	5.05
<b>1.2 Прочие аминокислоты</b>		
Аланин	3.41	6.30
Аргинин	5.02	5.78
Аспарагиновая кислота	7.62	9.10
Цистин	1.43	0.85
Глутаминовая кислота	15.22	12.80
Глицин	3.79	6.00
Гистидин	1.98	2.77
Пролин	4.50	4.20
Серин	4.18	3.80
Тирозин	3.53	3.10
Сумма аминокислот всего	89.53	94.72
в т.ч. незаменимых	38.84	40.02
в т.ч. заменимых	50.7	54.7
<b>2. Биохимический состав продукта</b>		
Белок – всего	25.0%	25.0%
в т.ч. простые белки (аминокислоты)	22.4%	23.7%
в т.ч. простетические соединения и небелковый азот	2.6%	1.3%
Жир	5.0%	5.0%
Сырая клетчатка (целлюлоза)	7.7%	9.0%
Гемицеллюлоза и кислотнорастворимый лигнин	10.7%	6.0%
Зола	3.6%	5.0%
Влажность (с учетом экструдирования/гранулирования)	6.0%	8.0%
Легкоусваиваемые углеводы (по разнице)	42.0%	42.0%
<b>3. Энергетические показатели</b>		
ВАЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ, ккал/кг	4 124	4 124
ВАЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ, Мдж/кг	17.28	17.28
Обменная энергия при существующих технологиях кормового применения	13.50	13.50
<b>Выход обменной энергии, %</b>	<b>78</b>	<b>78</b>

Представленное выше решение теоретически подтверждает возможность получения универсального кормового продукта на основе сочетания основных депозитов биотопливных культур в пропорциях, реалистичных для перспективного

биоэнергетического кластера нашей страны. Необходимо отметить, что при условии «обнуления» синтетических аминокислот задача перестает иметь решение. Тем самым подтверждается невозможность достижения оптимального аминокислотного профиля корма путем простого количественного объединения кормовых ингредиентов растительного происхождения.

Процессы обогащения универсального кормового продукта синтетическими аминокислотами, инактивации антипищательных веществ и повышения концентрации легкоусвояемых углеводов (сахаров и крахмала) могут осуществляться на основе современных биотехнологий, обеспечивающих достижение высоких показателей качества и эффективности кормового производства.

#### **4. Основные биотехнологические решения при производстве универсального кормового продукта**

Поскольку без обогащения универсального кормового продукта синтетическими аминокислотами невозможно получить аминокислотный профиль с оптимальными показателями метионина, лизина, треонина и триптофана, решение задачи обогащения приобретает особую важность. Традиционные технологии обогащения, предполагающие механическое смешивание корма с порошком или гранулами синтетических аминокислот, представляются недостаточно эффективными, поскольку из-за различного удельного веса и гранулометрического состава аминокислотные добавки в кристаллической форме могут теряться или фракционироваться при транспортировках и перевалках. Даже при выработке гранулированного корма хорошо растворимые в воде синтетические аминокислоты подвержены вымыванию, что ограничивает использование подобных кормов в аквакультуре, при жидком кормлении свиней, пушного зверя и т.д.

Кроме этого, согласно данным зарубежных исследований, выявлено значительное снижение усвояемости белковых продуктов при появлении в них свободных аминокислот, в частности, их D-изомеров, которые нарушают работу пищеварительных ферментов пепсина и химотрипсина в пищеварительном тракте у моногастричных животных<sup>11,12</sup>. Иными словами, более высокие результаты использования корма достигаются в том случае, если в пищеварительный тракт животных поступают целостные белковые молекулы, а не их смеси с кристаллическими аминокислотами.

Одним из путей решения данной проблемы является технология связывания синтетических аминокислот с белковым матриксом, разработанная корпорацией ED&F Man и реализованная компанией Dragon Feed (Великобритания). На первой стадии осуществляется приготовление рабочего раствора, в котором синтетические аминокислоты через незавершенную сахароаминную реакцию образуют химическую связь с молекулами дисахарида (белого сахара). Затем рабочий раствор вводится в кормовой экструдер, где в условиях повышенного давления и температуры и благодаря добавлению небольшого количества крахмала (крахмалопродуктов) осуществляется образование устойчивой химической связи между синтетической аминокислотой и белковым матриксом. Данная технология, в настоящее время еще находящаяся в экспериментальной стадии, помимо решения

задачи связывания с белком синтетических изомеров аминокислот, благодаря экструдированию также позволяет решать задачу объединения в одном кормовом продукте различных ингредиентов, снижения уровня влажности, защиты от окисления и т.д.

В 2010 г на компанией Dragon Feed на рынок были выпущены первые корма для аквакультуры, произведенные по данной технологии. Они представляли собой соевый шрот и соевый концентрат, обогащенные метионином и лизином до аминокислотного профиля рыбной муки. Имеется информация о проведении в США (Texas University, компания Wenger и др.) крупномасштабных НИР по аналогичной технологии применительно к послеспиртовой барде (DDGS).

Другим возможным направлением корректировки аминокислотного профиля кормовых белков может являться их структурная модификация, высвобождающая и активизирующая новые химические связи. Структурная модификация белка технологически может осуществляться в процессе гидролиза с использованием субстратно-специфичных энзимов, при гидролизе в щелочной среде, при гомогенизации в условиях высокого давления<sup>13</sup>. Благодаря высвобождению новых химических связей возможно как «прикрепление» к белковому матриксу синтетических аминокислот, так и объединение белковых фрагментов различных кормовых добавок. Также благодаря структурной модификации с целью экспонирования на поверхность белковой молекулы SH-групп цистеина в корме может усиливаться природная антиоксидантная активность<sup>14</sup>.

Исключительно перспективным представляется исследование влияния структурной модификации белков основных кормовых депозитов на повышение показателей перевариваемости белка. Механизм повышения перевариваемости связан с высвобождением в «разрезанных» молекулах белка химических связей, открытых для пищеварительных ферментов, либо с экспонированием на поверхность молекул гидрофильных групп, способствующих лучшему растворению корма при непосредственном скармливании или в пищеварительной системе животного. В перспективе подобного рода новации способны снизить в универсальном кормовом продукте потребность в сыром протеине с предполагаемых 25% до 15-17%.

Следующей принципиальной задачей при создании эффективной производственной системы универсального кормового продукта является инактивация антипитательных веществ, присутствующих в кормовых депозитах. В силу их различной природы универсальной технологии инактивации не существует. Вместе с тем, интерес для прикладных исследований и внедрения представляют такие технологические воздействия, как удаление низкомолекулярных белков (например, ингибитора трипсина сои) и алкалоидов люпина с помощью промышленной экстракции органическими растворителями (гексаном и этанолом); инактивация глюкозинолатов рапса кратковременным термическим воздействием, разрушающим фермент, способствующий выделению из них в пищеварительной системе токсичных йодсвязывающих веществ<sup>15</sup>; инактивация микотоксинов спиртовой барды путем введения в корм ферментных препаратов-пребиотиков<sup>16</sup>.

Инактивацию пектина, повышающего вязкость химуса (содержимого кишечника), следует производить либо путем выведения пектина из корма, либо через термическую обработку, проводящую к укорачиванию пектиновых молекул без их дальнейшего нежелательного разложения на галактуроновою кислоту и токсичный

метанол. Выделение пектина может быть осуществлено с использованием ферментативного гидролиза исходного протопектина целлоксандином<sup>17</sup>. Если технологический процесс обработки кормового компонента включает водно-спиртовую экстракцию, то удаление выделенного высокомолекулярного малодеградированного пектина может осуществляться через его осаждение этанолом<sup>18</sup> с последующим удалением с мелассой. Отработку перспективных технологий инактивации пектина целесообразно проводить на люпине (безоболочном жмыхе люпина), для которого антипитательные свойства пектинов проявляются наиболее выражено.

Что касается технологий, способных управлять содержанием в кормовом продукте небелкового азота, то их в полной мере еще предстоит разработать (небелковый азот является эффективным питательным фактором для животных с преджелудком, где он утилизируется при бактериальном синтезе белка, и в то же время опасным антипитательным компонентом для моногастричных животных, прежде всего для свиней и птицы). Поскольку утилизация небелкового азота через синтез белка с помощью бактерий или дрожжей приводит к накоплению ядерного материала клеток, то есть все того же небелкового азота, представляется перспективным исследовать возможность его физического удаления из корма – например, путем водной промывки с центрифугированием частично гидролизованной кормовой субстанции. К разработке технологий удаления или инактивации небелкового азота необходимо обратиться со всей серьезностью, поскольку от них, в частности, зависят перспективы использования в качестве кормовой добавки депозитов наиболее перспективных биотопливных культур – микроводорослей и фототрофных бактерий, – в которых содержание небелкового азота может достигать 11-15%<sup>19</sup>.

Наконец, важное значение при кормовом использовании биотопливных депозитов приобретают технологии обогащения корма легкоусвояемыми углеводами – дисахаридами и крахмалом. Не менее 55-60% обменной энергии корма должно содержаться в легкоусвояемых углеводах, однако именно эти вещества извлекаются из сельскохозяйственного сырья в процессе выработки биоэтанола, в результате чего кормовые депозиты биотопливных культур характеризуются по ним сильной дефицитностью. Из приводившейся выше Таблицы 6 (раздел А) следует, что для балансирования универсального кормового продукта по легкоусвояемым углеводам в него необходимо вводить до 24.2% сахаров и крахмалов извне.

Объединение экзогенно вводимых легкоусвояемых углеводов с универсальным кормовым продуктом в процессе экструдирования не представляет проблемы, поскольку преобладающие в нем крахмалистые вещества легко текстурируются и помогают связыванию высокобелковых ингредиентов. Вместе с тем, в исходных кормовых депозитах содержатся значительные количества гемицеллюлоз и кислотнорастворимого лигнина. В условиях тепловой обработки в слабокислой среде (где закислителем может выступать уксусная кислота, эндогенно выделяющаяся при термогидролизе гемицеллюлозы) гемицеллюлоза распадается на «древесные сахара» ксилозу и маннозу. Термогидролиз целлюлозы клетчатки приводит к выделению глюкозы.

Ксилоза и манноза, несмотря на значительно более низкий уровень перевариваемости по сравнению с сахарами и крахмалом, тем не менее, могут использоваться в качестве компонентов корма, повышающих обменную энергию.

Обменная и метаболизируемая энергия целлюлозы и гемицеллюлозы для моногастричных животных приближается к нулю, т.к. эти вещества практически не усваиваются. В то же время, по данным голландских исследователей, метаболизируемая свиньями и птицей энергия ксилоты составляет от 8.4 до 11.1 Мдж/кг (при увеличении содержания ксилоты в корме более 5% ее показатель начинает снижаться), а процесс усвоения ксилоты в полной мере допускает ее использование в качестве компонента корма<sup>20,21,22</sup>. В исследованиях, проводившихся в США, «древесные сахара», получаемые при гидролизе паром барды кукурузы и жмыха сахарного тростника (во многом идентичного свекловичному жому – прим. автора) в условиях 5%-й концентрации в корме показали высокую эффективность при мясном откорме КРС<sup>23</sup>.

Если гидролиз гемицеллюлоз требует нагревания до 120°C, то гидролиз целлюлозы должен протекать при значительно более высоких температурах от 200°C – что неприемлемо для кормового производства. Однако современные технологические решения, в частности, использование органических растворителей и катализаторов (серная кислота, сульфаты) позволяют проводить процесс гидролиза гемицеллюлоз и целлюлозы при температурах 40-60°C<sup>24</sup>. В последние годы появились кормовые приложения, опирающиеся на частичный термогидролиза гемицеллюлоз и целлюлозы в кормовых смесях сои и люпина. Так, в рамках проекта «Термобоб», разработанного краснодарской ассоциацией «Ассоа», в результате инактивирующего технологического воздействия перегретого пара и в присутствии эндогенных растительных кислот в конечном продукте подтверждено увеличение концентрации простых сахаров<sup>25</sup>. Еще большие перспективы открывает ферментативный гидролиз целлюлоз и гемицеллюлоз с участием целлюлолитических энзимов. Так, даже при частичном 50%-ном гидролизе гемицеллюлоз в составе предлагаемой композиции универсального кормового продукта (см. Таблицу 6, раздел А) содержание «древесных» моносахаридов дополнительно возрастет на 5.35% - что полностью соответствует безопасному для животных уровню и снижает потребность в экзогенных легкоусвояемых углеводах с 24.2% до 18.8% от гипотетического объема универсального кормового продукта.

Таким образом, существующие и перспективные биотехнологические решения позволяют в значительной степени решать проблемы обогащения и модификации кормовых компонентов целью получения высокоэффективного и безопасного универсального кормового продукта.

## **5. Принципиальная технологическая схема производства универсального кормового продукта**

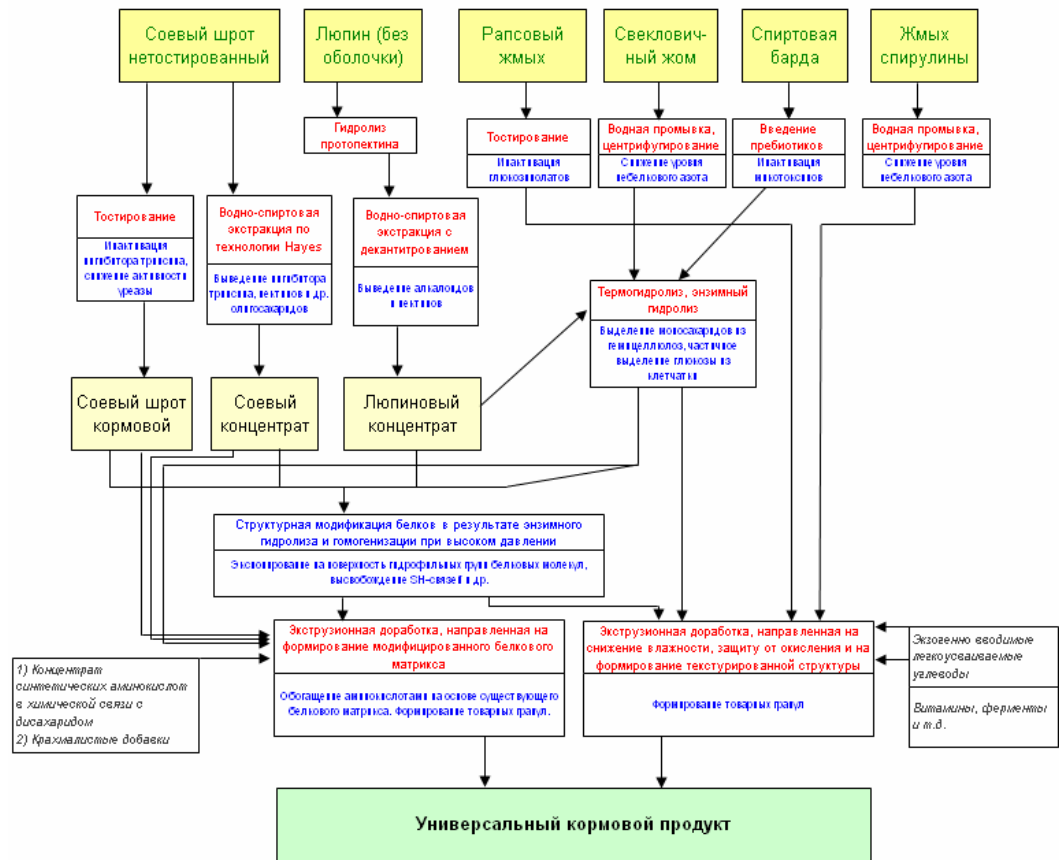
Выработка универсального кормового продукта из депозитов биотопливных культур сможет стать эффективным и широко распространенным производством только в случае создания технологии, основанной на хорошо отработанных технологических процессах с низкой энергоемкостью. Представляется, что производство универсального кормового продукта должно основываться на следующих технологических воздействиях:

1. Водно-спиртовая экстракция, обеспечивающая концентрирование белковой компоненты и удаление антипитательных веществ – белков-ингибиторов пищеварения, олигосахаридов, осажденного пектина и т.д.
2. Тостирование при температурах до 120°C, обеспечивающее инактивацию антипитательных веществ сои, глюкозинолатов рапса и т.д.
3. Энзимный гидролиз и термогидролиз, обеспечивающие выделение протопектинов, расщепление гемицеллюлозы и целлюлозы (частичное) с образованием моносахаридов
4. Водная промывка с центрифугированием с целью удаления небелкового азота
5. Структурная модификация белков в процессе энзимного гидролиза и гомогенизации при высоком давлении с целью экспонирования на поверхность гидрофильных групп и SH-связей молекул белка
6. Модификация белкового матрикса путем химического связывания с ним синтетических аминокислот
7. Экструдирование с экзогенным введением легкоусвояемых углеводов (крахмала), обеспечивающее формирование твердой структуры и защиты от окисления. Экструдирование также является завершающей частью процесса формирования обогащенного синтетическими аминокислотами белкового матрикса и может, по-видимому, быть совмещено с завершающим этапом термогидролизного преобразования гемицеллюлозы и целлюлозы.

Перечисленные выше технологические воздействия могут быть объединены в единый технологический процесс. Принципиальная схема технологического процесса производства универсального кормового продукта представлена ниже.



Принципиальная схема технологического процесса по производству универсального кормового продукта путем объединения и биотехнологической модификации депозитов биотопливных культур



Несмотря на достаточно многочисленные физико-химические и биотехнологические воздействия, в том числе связанные с нагреванием и удалением влаги, предполагаемый технологический процесс характеризуется умеренной энергоемкостью.

Таблица 7. Оценка энергоемкости технологического процесса в расчете на 1 тонну универсального кормового продукта

Технологические процессы	Рабочая масса, кг	Расход энергии, Мдж	Расход воды, кг
Нагрев и отгонка этанола в процессе экстракции, кг	100.4	226.8	--
Нагрев в процессе тостирования	70.0	56.3	--
Термогидролиз	545.0	190.0	817.5
Водная промывка с центрифугированием	143.0	35.9	286.0
Энзимный гидролиз	575.0	200.4	862.5
Энзимный гидролиз с гомогенизацией	565.0	246.2	847.5
Удаление излишней влаги перед экструдированием (центрифугирование и вакуум-выпаривание)	842.5	1 112.1	--
Экструдирование	1 000.0	962.1	--
<b>Всего на 1 т конечного продукта</b>		<b>3 029.8</b>	<b>2 813.5</b>

Как следует из Таблицы 7, на производство 1 тонны универсального кормового продукта расходуется порядка 3 тысяч мегаджоулей энергии, что в пересчете на нефтяной эквивалент соответствует 67 кг энергоносителя. Учитывая, что в процессе приготовления продукта участвуют депозиты биотопливных культур, из которых ранее в рамках биоэнергетического производства было получено не менее 213 кг биотоплива в пересчете на нефтяной эквивалент, то биотехнологическое производство универсального кормового продукта является процессом с положительным энергетическим балансом. Очевидно, что по мере совершенствования технологий, прежде всего связанных с экстракцией и отделением влаги, энергетическая эффективность получения универсального кормового продукта будет возрастать.

## **6. Оценка экономической эффективности производства универсального кормового продукта**

Представление об экономической эффективности производства универсального кормового продукта в рамках существующего на сегодняшний день масштаба цен и сделанной ранее оценки энергозатрат можно получить из расчета себестоимости, содержащегося в Таблице 8.

Таблица 8. Оценка производственной себестоимости 1 тонны универсального кормового продукта в современном масштабе цен

<b>Элементы себестоимости</b>	<b>Единицы измерения</b>	<b>Количество, единиц</b>	<b>Рыночная цена (2011), руб/ед</b>	<b>Стоимость, рублей</b>
Соевый шрот нетостированный	кг	107.6	17.5	1 883.4
Люпин без оболочки	кг	30.0	10.3	309.0
Рапсовый жмых	кг	20.0	7.5	150.0
Спиртовая барда (с.в.)	кг	455.0	3.5	1 592.5
Жом свекловичный	кг	90.0	1.2	108.0
Жмых спирулины	кг	53.0	3.2	169.6
Крахмал экзогенный	кг	241.9	6.5	1 572.1
Аминокислоты экзогенные	кг	2.5	200	506.2
Вода технологическая	кубм	0.84	25	21.1
Энзимные препараты (оценка)	кг	0.01	15 000	150.0
Энергоносители	кг неф- тяного экв.	67.3	25	1 683.2
<b>Итого - рублей</b>				<b>8 145.1</b>

**Примечание:** количество экзогенного крахмала в расчете себестоимости взято без учета эффекта гидролиза гемицеллюлоз базовых ингредиентов, благодаря которому потребность в крахмалистых добавках может быть снижена с 242 до 188 кг

Как следует из Таблицы, в ценах 2011 года производственная себестоимость универсального кормового продукта оценивается в 8.1 тыс. рублей. Данная оценка не содержит таких производственных расходов, как оплата труда, амортизация оборудования, управление и маркетинг. В то же время, учитывая, что комбикорма сопоставимого уровня качества (белок 25%, обменная энергия не менее 12.5

Мдж/кг) реализуются по отпускным ценам на уровне 16-18 тыс. рублей за тонну, можно сделать вывод о наличии практически двукратного «запаса» добавленной стоимости для покрытия остальных производственных расходов и формирования прибыли. В сравнении с обычными комбикормовыми производствами, где отношение стоимости сырья и энергозатрат к конечной цене продукта составляет 75-80%, при выработке универсального кормового продукта данное соотношение прогнозируется в районе 50% - что свидетельствует о потенциально высокой экономической эффективности соответствующих производств.

## **7. Место и роль универсального кормового продукта в биотехнологиях будущего**

В начале статьи отмечалось, что в условиях исчерпания запасов традиционных энергоносителей роль биотоплива как наиболее технологичного, транспортабельного и доступного для широкого применения источника энергии будет возрастать. Игнорировать эту тенденцию недопустимо, поскольку в случае более чем вероятного резкого снижения поставок на рынок традиционных энергоносителей мировое сельское хозяйство будет вынуждено переключиться на производство биотопливных культур в ущерб производству продовольствия. А так как в развитых странах ценность энергии, получаемой с гектара пашни посредством биоэнергетики, выше, чем ценность соответствующего объема продовольствия, данная коллизия со временем приведет к массовому голоду в наиболее густонаселенных районах мира.

В этих условиях развитие биоэнергетических технологий, направленных на повышение выхода энергии с единицы пашни и использование биотопливных культур в интересах производства продовольствия, становится научной и технологической задачей общемирового значения.

Несмотря на интенсивное развитие в последние годы так называемых технологий «второго поколения», позволяющих получать биотопливо из целлюлозы и целлюлозосодержащих отходов, роль традиционных биотопливных технологий, предполагающих получение этанола из растительных сахаров и крахмала, а также биодизеля из растительных триглицеридов (жиров), не будет уменьшаться. На синтез и структурную организацию легких углеводов растения затрачивают значительно меньше утилизируемой ими солнечной энергии, чем на синтез высокомолекулярных полимеров целлюлозы. В силу этого обстоятельства ожидаемые в будущем успехи селекции и генетического изменения растений будут фокусироваться преимущественно на максимизации КПД фотосинтеза по легким углеводам, нежели на форсировании синтеза целлюлозосодержащей биомассы. Роль традиционных биотопливных культур, содержащих растительные масла, также не будет уменьшаться, поскольку именно последние являются и источником наиболее сбалансированного кормового и пищевого растительного белка.

Технологии «третьего поколения» биотоплива, предполагающие его получение из микроводорослей и других фототрофных микроорганизмов, также «оставляют» после себя значительные количества содержащих белок отходов, которые целесообразно использовать в продовольственных целях.

Предлагаемые в статье технологические подходы к производству универсального кормового продукта позволяют с минимальными потерями «вернуть» в продовольственную сферу депозиты традиционных биотопливных культур и микроводорослей, а также преобразовать для кормового использования часть неусваиваемых животными гемицеллюлозы и клетчатки. В этом смысле технологии термического и ферментативного гидролиза гемицеллюлозы и целлюлозы, составляющие основу технологий «второго поколения» биотоплива, с успехом смогут работать в рамках повышения кормовой эффективности традиционных биотопливных технологий.

В целом же биотехнология универсального кормового продукта позволяет вернуть в сферу производства продуктов питания значительный кормовой ресурс, большая часть которого бы иначе была бы потеряна или использована в кормовых целях с низкой эффективностью. Из Таблицы 9 хорошо видно, что для выработки 1 млн. тонн универсального кормового продукта – «синтетического ячменя» – в условиях России требуется возделывание биотопливных культур на площади 542 тыс. га. Иными словами, чистая урожайность «синтетического ячменя» будет составлять 18.4 ц/га. Данный показатель – это заметная и ценная прибавка к «энергетической урожайности», составляющей по данным Таблицы, 1.23 тонны нефтяного эквивалента с гектара пашни.

Таблица 8. План выращивания биотопливных культур в условиях России, составленный по критерию производства 1 млн. тонн универсального кормового продукта.

	Уборочная площадь, тыс. га	Урожай- ность, ц/га	Амбарный сбор, тыс. тонн	Получено биотоплива, тыс. тонн нефт. экв.	Получено унив. кормового про- дукта, тыс. тонн
Пшеница	462	60	2 771	600.8	692.7
Соя	54	27	145	37.7	107.6
Сахарная свекла	3	400	113	9.8	95.6
Рапс	12	30	35	14.1	20.0
Люпин	11	30	33	2.2	31.1
Спирулина (вл. 15%)	0.39	1 500	58	5.1	53.1
<b>Всего</b>	<b>542</b>		<b>3 155</b>	<b>670</b>	<b>1 000</b>

Если стоимость объема биотоплива из Таблицы 8 в рыночных ценах 2011 года составляет 16.7 млрд. рублей, то стоимость связанного с ним объема «синтетического ячменя» оценивается в 16-18 млрд. рублей. При совокупных затратах по обработке почвы, агротехнологическим мероприятиям, приобретению удобрений, семян и т.д., оцениваемых из расчета 60% от рыночной стоимости соответствующих сельскохозяйственных культур и составляющих 13.6 млрд. рублей, добавленная стоимость в анализируемой производственной системе сможет достичь 18-20 млрд. рублей. Показатель вновь созданной стоимости в расчете на гектар пашни при этом составит 35-37 тыс. рублей – что более чем в два раза выше, чем при традиционном сельскохозяйственном производстве!

Таким образом, объединение и биотехнологическая модификация депозитов биотопливных культур в универсальном кормовом продукте значительно повышают рентабельность и экономическую эффективность сельскохозяйственного производства и биоэнергетики, способствуя восполнению продовольственных ресурсов.

По мере дальнейшего развития энергетических характеристик биотопливных культур и совершенствования технологий биотоплива значение универсального кормового продукта не должно претерпеть принципиальных изменений. Растительные белки, остатки жиров и целлюлозосодержащие фракции, эффективность преобразования которых в легкие углеводы корма оказывается выше, нежели преобразование в легкображиваемые сахара для получения биотоплива, в полной мере смогут служить интересам национальной и мировой продовольственной безопасности.



## Источники:

- <sup>1</sup> См. <http://www.fao.org/corp/statistics/en/>
- <sup>2</sup> J.Dipardo. Outlook for Biomass Ethanol Production and Demand / USA Energy Information Administration, 2011
- <sup>3</sup> World Agricultural Supply and Demand Estimates, USDA, Aug 11, 2011
- <sup>4</sup> World's Ethanol Production Forecast 2008 – 2012 / <http://www.marketresearchanalyst.com>
- <sup>5</sup> Global Biofuel Production Forecast 2015-2020/ <http://www.marketresearchanalyst.com>
- <sup>6</sup> Ю.Шушкевич Мировой продовольственный дисбаланс (на правах рукописи) // <http://futuologija.ru/texts/mirovoj-prodovolstvennyj-disbalans/>
- <sup>7</sup> Д.Эрикссон. Практическое руководство по переработке и использованию сои. М., 2002, С.17
- <sup>8</sup> Canadian Canola meal nutrient composition / <http://www.canolacouncil.org/meal4.aspx>
- <sup>9</sup> Evaluation DDGS as a feedsuff in poultry diets / Amer & Euroas. J of Agric.and Envir. Sci. 5(4) 540-544-2009
- <sup>10</sup> См. <http://www.lupins.ru/feeding.doc>
- <sup>11</sup> Michael de Vrese, Regine Frik, Nils Roos and Hans Hagemester. Protein-Bound D-Amino Acids, and to a Lesser Extent Lysinoalanine, Decrease True Ileal Protein Digestibility in Minipigs as Determined with 15N-Labeling. (Journal of Nutrition. 2000;130:2026-2031 (<http://jn.nutrition.org/content/130/8/2026.full>))
- <sup>12</sup> F. Guay, S. M. Donovan and N. L. Trottier. Biochemical and morphological developments are partially impaired in intestinal mucosa from growing pigs fed reduced-protein diets supplemented with crystalline amino acids. Journal of animal science (<http://jas.fass.org/content/84/7/1749.full>)
- <sup>13</sup> Д.Хайес, М.Доморощенко, Ю.Шушкевич. Структурная модификация белков как перспективная био- и нанотехнология (на правах рукописи), 2010
- <sup>14</sup> А.П.Голиков и др. «Свободнорадикальное окисление и сердечно-сосудистая патология: коррекция антиоксидантами» / Лечащий врач, №4, 2003
- <sup>15</sup> Ф.Марченков. Шроты и жмыхи в рационе сельскохозяйственных животных и птиц (<http://www.biochem.net.ru/publ.php?D=34&cmd=33&file=Publikac&view=1&id=5>)
- <sup>16</sup> P. Khatibi. Reduction of the mycotoxin deoxivalanol in barley ethanol co-products using trichothecene 3-O-acetyltransferases ([http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-07222011-150606/unrestricted/Khatibi\\_PA\\_D\\_2011.pdf](http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-07222011-150606/unrestricted/Khatibi_PA_D_2011.pdf))
- <sup>17</sup> Microbial alkaline pectinases and their industrial applications: A review / G.S. Hoondal, R.P. Tiwari, R.Tewari et al. // Appl Microbiol Biotechnol. 2002. V. 59. p. 409–418.
- <sup>18</sup> Новый справочник химика-технолога. Сырье и продукты промышленности неорганических и органических веществ. Ч.2, СПб, 2003, раздел 15.6.3.2 / [http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa)
- <sup>19</sup> R.Alvarenga; P.Rodrigues, ... Energy values and chemical composition of spirulina (Spirulina platensis) evaluated with broilers. R. Bras. Zootec. vol.40 no.5 Viçosa May 2011 ([http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982011000500008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982011000500008&script=sci_arttext))
- <sup>20</sup> M.W.A.Verstegen, J. B. Schutte... Dietary xylose as an energy source for young pigs / Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition Volume 77, Issue 1-5, pages 180–188, January-August 1997 (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-0396.1997.tb00753.x/full>)
- <sup>21</sup> J B Schutte; J de Jong; R Polziehn; M W Verstegen. The British Journal of Nutrition. Volume: 66 , 1991
- <sup>22</sup> J B Schutte. Nutritional Implications and Metabolizable Energy Value of D-Xylose and L-Arabinose in Chicks / Poult Sci 1990 (<http://ps.fass.org/cgi/content/abstract/69/10/1724>).
- <sup>23</sup> R.Zinn. Feeding value of wood sugar concentrate for feedlot cattle / Journal of Animal Science, 1990 (<http://jas.fass.org/content/68/9/2598.full.pdf>)
- <sup>24</sup> Кузнецов Б.Н. Каталитическая химия растительной биомассы. СОЖ, №12-1996
- <sup>25</sup> П.Чекмарев, А.Артюхов . Рациональные подходы к решению проблемы белка в России /Достижения науки и техники АПК, №6-2011