

Технология переработки
водных биоресурсов

УДК 639.3.043.2

**Обоснование рациональных параметров экструдирования
растительных компонентов на оборудовании малой
мощности для получения комбикормов для аквакультуры***Р.В. Артемов, М.В. Арнаутков, А.И. Бочкарев, Ю.А. Баскакова, А.В. Артемов,
А.Е. Кокшаров, С.В. Биндюков*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ
«ВНИРО»), г. Москва

E-mail: protein@vniro.ru

Создание мини-цехов производительностью до 30 кг/ч для производства экструдированных комбикормов для рыб, является перспективным направлением кормопроизводства. Использование такого оборудования экономически целесообразно, поскольку обеспечивает возможность оперативного изменения рецептур комбикормов с учётом имеющейся сырьевой базы и выпуска минимальной партии. В работе исследовано влияние технологических параметров процесса экструдирования на оборудовании малой мощности: температуры, влажности и степени помола сырья на изменение химического состава и разрушение клетчатки в пшенице, кукурузе, шроте соевом, а также шроте и жмыхе подсолнечном. Согласно полученным данным, варьирование параметров экструдирования не приводило к значимым изменениям по содержанию белка, жира, золы и углеводов в пересчёте на абсолютно сухое вещество в образцах пшеницы, кукурузы, шрота подсолнечного и соевого. Определены рациональные параметры процесса экструдирования кормовых компонентов и кормосмеси комбикормов для рыб, при котором происходит максимальное разрушение клетчатки: температура экструзии — 150–160 °С, влажность сырья — 12,0–15,0%, тонкость помола сырья — 0,6–1,6 мм.

Ключевые слова: комбикорма для аквакультуры, комбикормовое оборудование малой мощности, экструдирование, клетчатка, рациональные параметры экструдирования.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса до 2030 года связывает увеличение производства продукции аквакультуры в Российской Федерации с прогрессом её индустриального направления. Важнейшим условием эффективного роста индустриальной аквакультуры является обеспечение отрасли качественными комбикормами, соответствующими современным требованиям и подходам к их производству [Бурлаченко, Артемов, 2017].

По экспертной оценке объём производства отечественных комбикормов для рыб не превышает 200 тыс. тонн [О развитии и поддержке аквакультуры..., 2018]. Основной объём составляют гранулированные корма для тради-

ционных объектов (карповых рыб), которые зачастую производятся на комбикормовых заводах общего животноводческого профиля, без учёта специфических требований к технологии изготовления кормов для рыб, качеству и безопасности используемых сырьевых компонентов и конечной продукции. Следствием этого является несбалансированность и невысокая эффективность таких кормов.

С другой стороны, для выращивания ценных пород рыб — осетровых, лососевых, сиговых рыб, а также сома и тиляпии, требуются полнорационные высококачественные экструдированные корма. В Российской Федерации производится не более 10–15 тыс. тонн экструдированных комбикормов крупными специализированными заводами (Акварекс, Агроакадемия и ряд других), а свыше 60% высокоэффективных кормов для индустриального выращивания ценных видов рыб поставляются из-за рубежа. Основными странами импортёрами являются Дания, Франция, Нидерланды (компании BioMar, Skretting, Aller Aqua, Veronesi и др). В сложившихся экономических условиях это приводит к значительному росту эксплуатационных расходов и повышению себестоимости продукции.

Одной из причин малого спроса на экструдированные комбикорма в личных и фермерских хозяйствах является то, что построенные по типовым проектам заводы не способны гибко реагировать на потребность мелких рыбоводных хозяйств, для которых изготовление крупных партий нецелесообразно, а длительное хранение приводит к снижению количества различных биологически активных веществ и, соответственно, ухудшению качества кормов [Афанасьев и др., 2014].

Поэтому многие рыбоводные и фермерские хозяйства с собственным производством зерновых и масличных культур, в том числе подсолнечника и сои, заинтересованы в создании мини-цехов производительностью до 30 кг/ч. для выработки рыбных комбикормов. Такие корма могут быть сбалансированы не только по основным питательным веществам, но и по витаминам и микроэлементам за счёт внесения премиксов и добавок. Пилотные установки уже успешно работают в нескольких рыбоводных хозяйствах Краснодарского края и Ростовской

области [Щербакова, 2012]. Практика показывает, что такие кормопроизводства должны базироваться на небольших региональных предприятиях, оснащённых современным оборудованием с невысокой производительностью. Им легче поддерживать тесную связь с потребителем и обеспечивать тщательный контроль сырья и готовой продукции [Захаров, 2010]. Появление таких предприятий является экономически целесообразным, так как обусловлено следующими обстоятельствами: существенно снижаются транспортные перевозки как внутрихозяйственные, так и внешние; максимально используется собственная сырьевая база, как зерновых компонентов, так и продуктов местных перерабатывающих производств; обеспечивается возможность оперативного изменения рецептуры комбикорма и его суточной потребности.

Согласно литературным данным, важнейшим компонентом кормов для рыб является рыбная мука, как источник легкоусвояемого и полноценного белка и жира. Дополнительными источниками протеина, могут служить гидролизированные дрожжи, кровяная мука, а также растительные компоненты с высоким содержанием протеина, например различные шроты, жмыхи, концентраты, глютен, бобы и продукты их переработки [Щербина, Гамыгин, 2006]. Следует отметить, что перечень растительных компонентов, используемых в зарубежных кормах, почти в три раза шире, чем в отечественных. Это различие обусловлено тем фактом, что в зарубежном кормопроизводстве идёт интенсивный процесс повышения эффективности кормления объектов аквакультуры за счёт увеличения питательной ценности растительных компонентов кормов путём их технологической обработки.

В настоящее время существует два метода изготовления комбикормов: сухого прессования (гранулирования) и экструдирования. Особенность производства рыбных кормов заключается в требованиях, предъявляемых к готовому продукту. Качество гранулы должно определяться малым диаметром (2...5 мм), высокой прочностью (крошимость не выше 5%), высокой влагостойкостью (не менее 20 мин). Для получения таких гранул лучше всего подходит экструдирование [Рудой, 2014].

Экструзия, как технологический процесс выгодно отличается от холодного прессования, так как позволяет повысить питательные свойства обрабатываемых кормовых компонентов. Процесс экструзии заключается в том, что измельчённое сырьё, попадая в экструдер, под воздействием высокого давления и трения разогревается до температуры 120...160 °С и превращается в однородную массу. При выходе из экструдера в результате перепада давления однородная масса вспучивается (происходит ее «взрыв»). В результате такой обработки сложные структуры белков и углеводов распадаются на более простые, клетчатка — на вторичный сахар, крахмал на простые сахара, а в бобовых культурах происходит нейтрализация ингибиторов протеаз: трипсина и уреазы. Кроме того, температурное воздействие приводит к улучшению гигиенического состояния кормовых компонентов вследствие уничтожения нежелательной микрофлоры [Щербакова, 2012].

Так как основу кормосмеси при производстве комбикормов для рыб составляют кормовые компоненты различного происхождения (растительного, животного, микробиологического) с различным химическим составом, то для оценки влияния процесса экструдирования на кормовую ценность кормосмеси необходимо изучить изменения, происходящие при экструдировании в каждом отдельном компоненте.

Положительной стороной действия экструзии на растительные компоненты является структурное разрушение трудноперевариваемых рыбами углеводных компонентов, таких как клетчатка. В этой связи актуальными являются исследования изменений химического состава и содержания клетчатки в экструдированных кормовых компонентах в зависимости от технологических параметров процесса экструдирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Объектами исследования являлись образцы растительного сырья, используемого при производстве комбикормов для рыб — пшеница, кукуруза, шрот подсолнечный, шрот соевый и жмых подсолнечный.

Сырьё измельчали с помощью молотковой дробилки марки Зубр. Измельчённое сырьё разделяли на фракции на ситовом анализаторе

фирмы Вибротех модель ВП 30Т. Процесс экструдирования проводили на экструдере кормовом шнекового типа марки КЭШ-1, производительностью 20—30 кг/ч, потребляемой мощностью 5,7 кВт.

Физико-химические показатели компонентов исследовали до и после их экструзии. В образцах определяли содержание влаги согласно ГОСТ Р 54951—2012 путём высушивания навески до постоянной массы в лабораторной электропечи SNOL 58/350 при температуре 103±1 °С. Содержание сырого протеина определяли по ГОСТ 32044.1—2012 по методу Къельдаля с использованием автоматического анализатора Kjeltac™ Foss-2300 (Швеция), содержание сырого жира — по ГОСТ 32905—2014 по методу Сокслета на автоматическом экстракторе VELP Scientifica SER148/6 при использовании диэтилового эфира в качестве растворителя. Количество клетчатки в образцах определяли по ГОСТ 31675—2012 по методу Геннеберга-Штомана. Определение содержания сырой золы осуществляли в соответствии с ГОСТ 32933—2014 путём сжигания исследуемых образцов в муфельной печи Yamato FM37 при температуре 550±2 °С до постоянной массы и равномерного цвета.

Для установления рациональных параметров экструдирования кормовых компонентов, варьировали следующими технологическими параметрами: влажностью входящего сырья (от 10 до 18%); тонкостью помола сырья (первая фракция — $d \leq 1,5$ мм; вторая фракция — $1,5 < d < 2,5$ мм; третья фракция — $d \geq 2,5$ мм); температурой продукта на выходе из экструдера (от 100 до 190 °С). При определении рациональных параметров процесса экструзии подбирали режим, который обеспечивал наибольшее снижение содержания клетчатки в обработанном сырьё по сравнению с исходным. Обоснование рациональных режимов экструдирования кормовых компонентов проводили в два этапа с применением метода математического планирования по униформ-рототабельному плану второго порядка [Сидняев, 2011]. Сначала была определена зависимость степени разрушения клетчатки от температуры экструзии и влажности исходного сырья; на втором этапе — зависимость степени разрушения

клетчатки от температуры экструзии и тонкости помола сырья.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программы Статистика 6.0 [Боровиков, 2003].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения влияния экструзии на трансформацию питательных свойств, был исследован химический состав компонентов разной влажности и степени измельчения после экструдирования при температурах от 100 до 190 °С. Данные, по изменению химического состава кормовых компонентов в пересчёте на абсолютно сухое вещество в зависимости от параметров процесса экструдирования представлены в табл. 1.

Полученные данные по химическому составу свидетельствуют о том, что изменения влажности и степени помола сырья, а также температуры экструдирования не приводили к значимым различиям по содержанию белка, жира, золы и углеводов в пересчёте на абсолютно сухое вещество в образцах пшеницы, кукурузы, шрота подсолнечного и соевого. Снижение содержания жира в образце жмыха подсолнечного происходило при увеличении температуры экструзии, и не зависело от реологических показателей входящего сырья (влажности и помола). Это связано с тем, что в процессе трения сырья в экструдере происходило разрушение клеточных стенок, что вызывало выделение жира, часть которого покрывала поверхность рабочего органа экс-

Таблица 1. Изменение химического состава кормовых компонентов при различных параметрах экструдирования

Наименование компонентов	Параметры экструзии		Содержание в % на а. с. в.				Содержание влаги, %
	крупность помола, мм	температура продукта, °С	белка	жира	золы	углеводов	
Пшеница до экструдирования	—	—	9,97	1,57	1,72	86,74	8,53
Пшеница экструдированная	d>2,5	100–120 °С	10,30	0,82	1,73	87,15	4,58
		150–160 °С	10,12	0,77	1,74	87,37	4,39
		180–200 °С	10,19	0,50	1,68	87,63	4,13
	1,5<d≤2,5	100–120 °С	11,54	1,22	1,75	85,48	5,22
		150–160 °С	11,22	1,22	1,94	85,61	5,18
		180–200 °С	11,91	1,43	1,97	84,69	5,09
	d<1,5	100–120 °С	11,60	1,10	1,64	85,66	4,42
		150–160 °С	11,32	1,25	1,65	85,77	3,91
		180–200 °С	11,88	1,43	2,03	84,66	3,80
Кукуруза до экструдирования	—	—	7,81	2,73	1,33	88,12	7,82
Кукуруза экструдированная	d>2,5	100–120 °С	7,15	1,55	1,53	89,77	4,69
		150–160 °С	7,03	1,31	1,58	90,08	4,53
		180–200 °С	7,21	1,29	1,59	89,91	3,99
	1,5<d≤2,5	100–120 °С	7,11	1,91	1,29	89,70	4,3
		150–160 °С	7,44	1,58	1,69	89,30	4,14
		180–200 °С	8,06	1,32	1,81	88,80	4,1
	d<1,5	100–120 °С	7,04	1,47	1,63	89,86	4,71
		150–160 °С	7,08	1,57	1,70	89,65	4,53
		180–200 °С	7,90	1,41	1,76	88,93	4,17
Шрот соевый до экструдирования	—	—	50,15	1,97	6,73	41,14	5,82

Наименование компонентов	Параметры экструзии		Содержание в % на а. с. в.				Содержание влаги, %
	крупность помола, мм	температура продукта, °C	белка	жира	зола	углеводов	
Шрот соевый экструдированный	d>2,5	100–120 °C	49,96	1,77	7,95	40,31	3,58
		150–160 °C	47,04	1,22	7,07	44,67	3,36
		180–200 °C	48,44	1,41	7,07	43,08	2,87
	1,5<d≤2,5	100–120 °C	48,31	1,68	7,95	42,06	3,63
		150–160 °C	48,76	1,63	7,73	41,88	3,71
		180–200 °C	51,33	1,25	7,66	39,76	3,19
	d<1,5	100–120 °C	48,47	1,85	7,09	42,59	3,57
		150–160 °C	48,80	1,71	7,13	42,37	3,35
		180–200 °C	48,51	1,55	7,16	42,78	3,12
Шрот подсолнечный до экструдирования	–	–	41,16	1,72	7,28	49,84	7,44
Шрот подсолнечный экструдированный	d>2,5	100–120 °C	39,10	1,05	7,76	52,09	2,5
		150–160 °C	40,14	0,92	7,60	51,33	2,4
		180–200 °C	40,50	0,79	8,06	50,65	1,87
	1,5<d≤2,5	100–120 °C	39,70	1,75	7,84	50,72	3,17
		150–160 °C	39,51	1,36	7,96	51,18	2,22
		180–200 °C	39,54	1,29	7,90	51,28	1,98
	d<1,5	100–120 °C	41,66	2,07	8,37	47,90	3,15
		150–160 °C	42,30	1,98	8,47	47,25	2,54
		180–200 °C	41,94	1,49	8,46	48,11	1,81
Жмых подсолнечный до экструдирования	–	–	19,74	17,91	8,46	53,89	6,19
Жмых подсолнечный экструдированный	d>2,5	100–120 °C	18,25	16,47	9,01	56,27	3,73
		150–160 °C	16,93	16,78	8,96	57,33	2,64
		180–200 °C	15,42	16,95	9,17	58,47	2,51
	1,5<d≤2,5	100–120 °C	17,61	16,95	8,65	56,78	3,83
		150–160 °C	16,45	17,00	8,64	57,91	2,87
		180–200 °C	15,41	17,35	8,65	58,58	2,55
	d<1,5	100–120 °C	17,67	14,77	8,75	58,81	3,51
		150–160 °C	18,91	16,80	8,60	55,69	3,03
		180–200 °C	17,52	17,29	10,23	54,96	2,21

трудера, а другая часть, образуя эмульсию с влагой, высыхала в момент выхода продукта из оборудования. Как следствие происходило перераспределение и увеличение содержания золы, количества белка и углеводов в экструдированном подсолнечном жмыхе. Полученные результаты сопоставимы с литературными данными [Маркелова и др., 2014], согласно которым при экструдировании зерновых и ма-

сличных культур содержание сырого протеина не претерпевало существенных изменений, а при высоком содержании жира в семенах происходили его потери.

Необходимо отметить, что процесс экструзии образцов пшеницы, кукурузы и шрота соевого шёл стабильно при варьируемых показателях экструдирования. Экструзия образца шрота подсолнечного при влажности сырья

10% приводила к запеканию продукта в рабочем органе экструдера, а при 18% влажности сырья происходила варка продукта за счёт большого количества свободной влаги. При температуре экструдирования выше 160 °С кормовые компоненты — подсолнечный шрот и жмых, обугливались, что приводило к ухудшению качественных показателей, в том числе и органолептических.

Важнейшей положительной стороной действия экструзии на растительные компоненты является структурное разрушение трудноперевариваемых рыбами углеводных компонентов. Во многих экспериментах получены однозначные результаты влияния экструзии на углеводный состав экструдированного сырья: количество сахаров в зерне за счет распада крахмала увеличивается в 2–3 раза [Маркелова и др., 2014], экструзия повышает растворимость и доступность ферментам сырой клетчатки [Шустин, 2002]. В этой связи в специальной серии опытов были проведены исследования по изучению

влияния технологических параметров процесса экструдирования на содержание клетчатки в экструдированных кормовых компонентах.

Математическое моделирование процесса экструдирования кормовых компонентов проводили в соответствии с параметрами, приведёнными в табл. 2.

На основании параметров процесса экструдирования кормовых компонентов составлен матричный план интервалов варьирования факторов, таких как температура экструзии, T (°С), влажность входящего сырья, C (%) и тонкость помола сырья, D (мм), который приведён в табл. 3.

В результате статистической обработки экспериментальных данных первого этапа двухфакторного эксперимента получены уравнения регрессии, адекватно описывающих зависимость разрушения клетчатки в кормовых компонентах в процессе экструзии от температуры экструдирования и влажности исходного сырья (рис. 1):

Таблица 2. Характеристики технологических параметров процесса экструдирования кормовых компонентов для математического моделирования

Технологические параметры	Размерность параметров	Интервал варьирования	Уровень варьирования		
			нижний (–1)	средний (0)	верхний (+1)
Температура экструзии (T)	°С	100–190	100	145	190
Влажность сырья (C)	%	10–18	10	14	18
Тонкость помола сырья (D)	мм	0,5–2,5	0,5	1,5	2,5

Таблица 3. Интервалы варьирования факторов

Наименование факторов	В безразмерном виде		В натуральном виде	
	X1	X2	T	C
Температура экструзии и влажность сырья	–1	–1	100	10
	–1	+1	100	18
	+1	–1	190	10
	+1	+1	190	18
	1,414	0	208,6	14
	–1,414	0	81,4	14
	0	–1,414	145	8,3
	0	1,414	145	19,6
	0	0	145	14

Наименование факторов	В безразмерном виде		В натуральном виде	
	X1	X2	T	C
Температура экструзии и тонкость помола сырья	X1	X2	T	D
	-1	-1	100	0,5
	-1	+1	100	2,5
	+1	-1	190	0,5
	+1	+1	190	2,5
	1,414	0	208,6	1,5
	-1,414	0	81,4	1,5
	0	-1,414	145	0,1
	0	1,414	145	2,9
	0	0	145	1,5

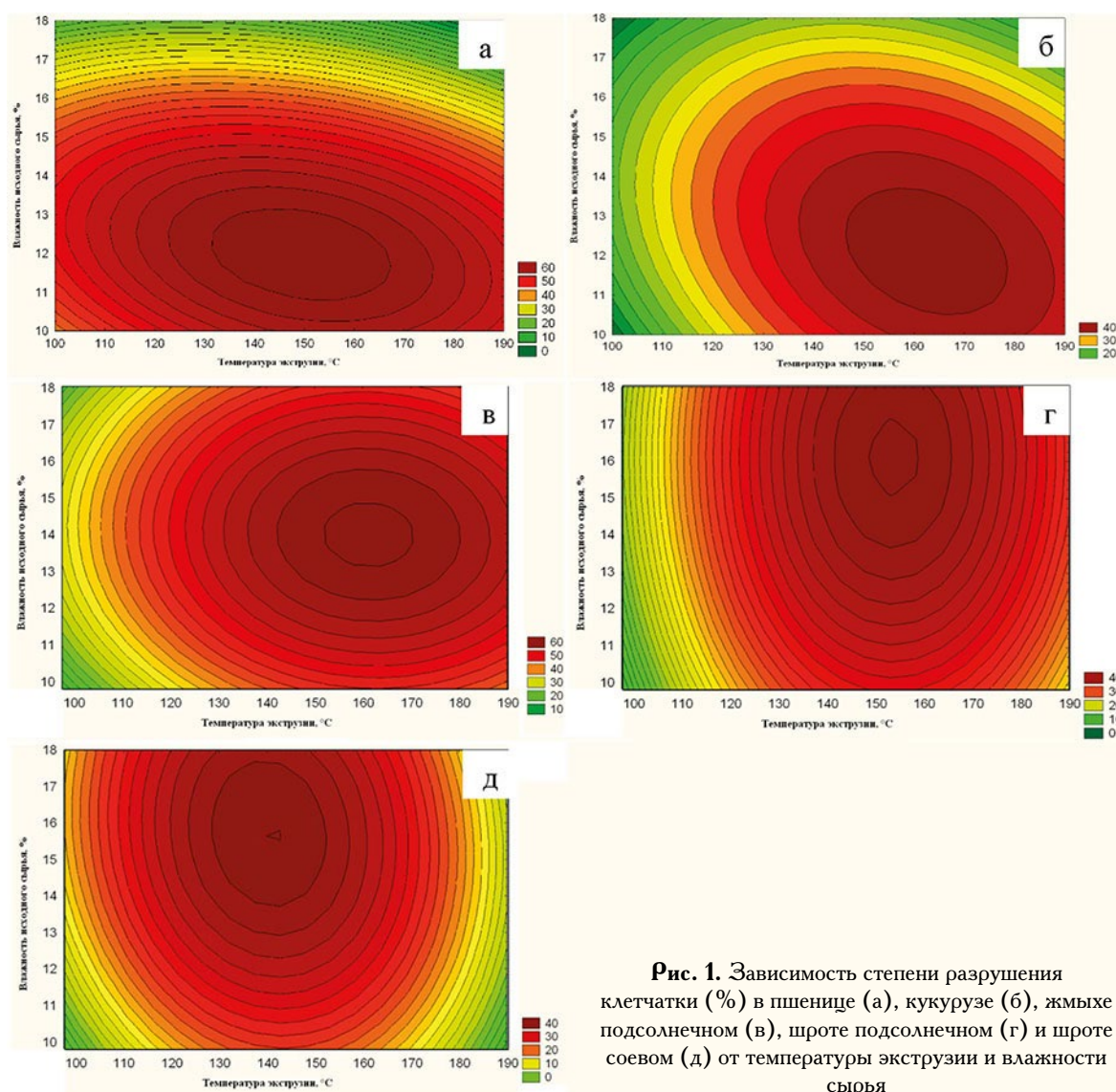


Рис. 1. Зависимость степени разрушения клетчатки (%) в пшенице (а), кукурузе (б), жмыхе подсолнечном (в), шроте подсолнечном (г) и шроте соевом (д) от температуры экструзии и влажности сырья

$$W_{\text{пшеница}} = A \cdot (-326,5683 + 2,1986T' + 37,7642C' - 0,0056T'^2 - 0,0438T'C' - 1,3033C'^2); \quad (1)$$

$$W_{\text{кукуруза}} = A \cdot (-257,5337 + 2,2391T' + 19,3205C' - 0,0056T'^2 - 0,0334T'C' - 0,5736C'^2); \quad (2)$$

$$W_{\text{жмых подсолнечный}} = A \cdot (-310,6593 + 2,4603T' + 24,7508C' - 0,0073T'^2 - 0,0065T'C' - 0,8481C'^2); \quad (3)$$

$$W_{\text{шрот подсолнечный}} = A \cdot (-202,4388 + 2,489T' + 6,6246C' - 0,0081T'^2 + 0,0002T'C' - 0,2065C'^2); \quad (4)$$

$$W_{\text{шрот соевый}} = A \cdot (-405,6313 + 4,2635T' + 18,6604C' - 0,0143T'^2 - 0,0153T'C' - 0,5254C'^2), \quad (5)$$

где $W_{\text{пшеница}}$, $W_{\text{кукуруза}}$, $W_{\text{жмых подсолнечный}}$, $W_{\text{шрот подсолнечный}}$, $W_{\text{шрот соевый}}$ — степень разрушения клетчатки, %; A — эмпирический коэффициент, имеющий размерность, %, и равный 1, где T' и C' — относительные величины; T — температура экструдирования, °C, $T' = T'_{\text{ист}} / T$, ($T = 1$), °C; C — влажность сырья, %, $C' = C'_{\text{ист}} / C$, ($C = 1$), %.

Полученные уравнения и их графические интерпретации (рис. 1) позволили установить, что наибольшее разрушение клетчатки отмечено в образцах пшеницы и подсолнечного жмыха и составляет 60%, в образцах кукурузы, шроте подсолнечном и соевом — 40%. Максимальное разрушение клетчатки в кормовых

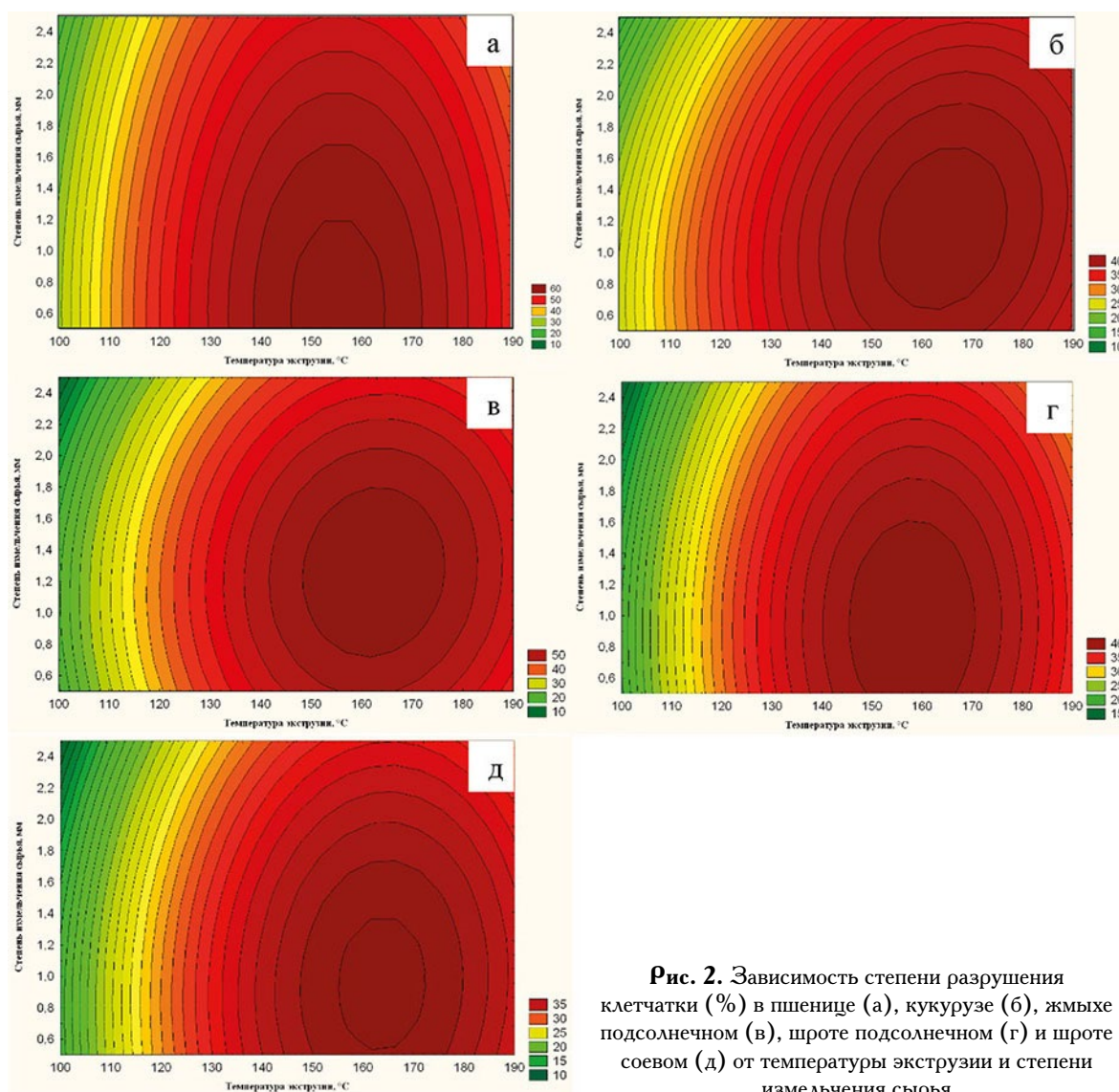


Рис. 2. Зависимость степени разрушения клетчатки (%) в пшенице (а), кукурузе (б), жмыхе подсолнечном (в), шроте подсолнечном (г) и шроте соевом (д) от температуры экструзии и степени измельчения сырья

компонентах происходит при следующих рациональных параметрах процесса экструдирования (температура экструзии и влажность исходного сырья) соответственно: для пшеницы — 135–165 °С и 11–13%, для кукурузы — 150–180 °С и 10,5–13,5%, для жмыха подсолнечного — 145–180 °С и 12,5–15%, для шрота подсолнечного — 145–165 °С и 13,5–18,0%, для соевого шрота — 135–155 °С и 12,5–17,5%.

При определении рациональных параметров процесса экструдирования по второму этапу получили уравнения, описывающие зависимость разрушения клетчатки в кормовых компонентах от температуры экструзии и тонкости помола сырья (рис. 2).

$$W_{\text{пшеница}} = B \cdot (-190,0741 + 3,2116T' + 2,7016D' - 0,0103T'^2 - 0,0003T'D' - 2,2105D'^2); \quad (6)$$

$$W_{\text{кукуруза}} = B \cdot (-78,5119 + 1,4662T' - 0,3402D' - 0,0046T'^2 + 0,039T'D' - 2,5613D'^2); \quad (7)$$

$$W_{\text{жмых подсолнечный}} = B \cdot (-181,047 + 2,8177T' + 9,7414D' - 0,0088T'^2 + 0,0338T'D' - 6,0526D'^2); \quad (8)$$

$$W_{\text{шрот подсолнечный}} = B \cdot (-115,4673 + 1,9609T' + 3,4393D' - 0,0062T'^2 + 0,0068T'D' - 2,35D'^2); \quad (9)$$

$$W_{\text{шрот соевый}} = B \cdot (-107,073 + 1,7635T' + 2,4537D' - 0,0054T'^2 + 0,0116T'D' - 2,284D'^2), \quad (10)$$

где $W_{\text{пшеница}}$, $W_{\text{кукуруза}}$, $W_{\text{жмых подсолнечный}}$, $W_{\text{шрот подсолнечный}}$, $W_{\text{шрот соевый}}$ — степень разрушения клетчатки, %; B — эмпирический коэффициент, имеющий размерность, %, и равный 1, где T' и D' — относительные величины; T — температура экструдирования, °С, $T' = T'_{\text{ист}} / T$, ($T = 1$), °С; D — тонкость помола сырья, мм, $D' = D'_{\text{ист}} / D$, ($D = 1$), мм.

На основании полученных уравнений и построенных по ним поверхностей отклика установили, что расщепление клетчатки варьирует от 35% до 60% и зависит от изменения температуры и тонкости помола сырья. Для пшеницы разрушение 60% клетчатки происходит при температуре 145–165 °С и степени измельчения менее 1,2 мм; при температуре экструзии 150–175 °С и тонкости помола 0,6–1,6 мм разрушается 40% клетчатки в кукурузе, 35% в шроте соевом, а в жмыхе под-

солнечном количество клетчатки уменьшится в два раза; у шрота подсолнечного при температуре экструзии 145–170 °С и степени измельчения 0,4–1,5 мм количество клетчатки снижается на 40%.

Таким образом, на основании анализа данных по режимам экструдирования каждого компонента и последующей их статистической обработки, определены рациональные параметры процесса экструдирования кормовых компонентов и кормосмеси комбикормов для рыб, при которых происходит максимальное разрушение клетчатки: температура экструзии — 150–160 °С, влажность сырья — 12,0–15,0%, тонкость помола сырья — 0,6–1,6 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы влияния экструзии на компоненты кормов и кормосмеси, отработки технологических режимов для различных видов сырья, повышения доступности для рыб элементов питания, улучшения физических свойств корма (плавучесть, водостойкость), являются существенными элементами повышения качества кормов в целом. Рациональные параметры технологического процесса экструдирования, установленные с использованием метода математического планирования эксперимента, могут быть взяты за основу при производстве рыбных комбикормов на оборудовании малой мощности.

ЛИТЕРАТУРА

- Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Василенко В.Н., Фролова Л.Н. 2014. Мобильные комбикормовые заводы для развития малых и средних фермерских хозяйств // Кормопроизводство. № 6. С. 39–42.
- Боровиков В.П. 2003. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. СПб.: Питер. 688 с.
- Бурлаченко И.В., Артемов Р.В. 2017. Развитие научного обеспечения производства комбикормов для рыб в современных условиях // Рыбоводство. № 1–4. С. 32–34.
- Захаров В. 2010. Комбикорма для товарного рыбоводства // Комбикорма. № 6. С. 34–35.
- О развитии и поддержке аквакультуры (рыбоводства) в Российской Федерации. 2018. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 136 с.
- Маркелова В.Н., Фомичев Ю.П., Никанова Л.А. 2014. Химический состав экструдированного зер-

- на зерновых, зернобобовых и масличных культур // Кормопроизводство. № 9. С. 41–44.
- Рудой Д.В.* 2014. Исследование процесса экструдирования комбикормов для рыб // Вестник Казанского ГАУ. № 3 (33). С. 95–97.
- Сидняев Н.И.* 2011. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных // Учебное пособие для вузов / Сер. 61 Бакалавр и магистр. Академический курс. М.: Изд-во Юрайт, 399 с.
- Шустин А.Г.* 2002. Эффективность использования экструдированных комбикормов для карпа и радужной форели. Дисс. ... канд. сел.-хоз. наук. Рыбное: ВНИИПРХ. 100 с.
- Щербакова О.Е.* 2012. Комбикормовое производство предприятий малой мощности. М.: МГУТУ. 54 с.
- Щербина М.А., Гамыгин Е.А.* 2006. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: Изд-во ВНИРО. 360 с.
- Поступила в редакцию 25.03.2019 г.*
Принята после рецензии 02.09.2019 г.

Trudy VNIRO

2019. Vol. 176

Aquatic bioresources
processing technologies

**Study of rational parameters for plant components extrusion
with low-power equipment for production of fish feed**

*R.V. Artemov, M.V. Arnautov, A.I. Bochkarev, Yu.A. Baskakova, A.V. Artemov,
A.E. Koksharov, S.V. Bindyukov*

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow

Organization of mini-factories for the production of extruded fish feed, equipped with modern equipment with low power, is a promising direction for feed production. The use of such equipment is economically feasible, because it provides the opportunity to change the feed formula quickly, taking into account the existing raw material base and the production of the minimum batch. The paper investigates the influence of the technological parameters of the extrusion process on low-power equipment: temperature, water content and the degree of grinding of raw materials on the chemical composition and destruction of cellulose in wheat, corn, soybean meal, and sunflower meal and oilcake. According to the data obtained, the variation of extrusion parameters did not lead to significant changes in the content of protein, fat, ash and carbohydrates in terms of absolutely dry substance in samples of wheat, corn, sunflower and soybean meal. The rational parameters of the extrusion process of feed components and feed mixtures for fish, at which the maximum destruction of fiber occurs are the extrusion temperature of 150–160 °C, the water content of the raw material about 12,0–15,0%, the particle size of the raw material is 0.6–16 mm.

Keywords: aquaculture feed, low power equipment, extrusion, fiber, rational parameters.

REFERENCES

- Afanas'ev V.A., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N.* 2014. Mobil'nye kombikormovye zavody dlya razvitiya mal'nykh i srednikh fermer'skikh hozyajstv [Mobile feed mills for the development of small and medium-sized farms] // *Kormoproizvodstvo*. № 6. S. 39–42.
- Borovikov V.P.* 2003. Statistika. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere: Dlya professionalov. [The art of data analysis by the computer: For professionals]. SPb.: Piter. 688 s.
- Burlachenko I.V., Artemov R.V.* 2017. Razvitie nauchnogo obespecheniya proizvodstva kombikormov dlya ryb v sovremennykh usloviyakh [Development of scientific support for the production of fish feed in modern conditions] // *Rybovodstvo*. № 1–4. S. 32–34.
- Zaharov V.* 2010. Kombikorma dlya tovarnogo rybovodstva [Feed for commercial fish farming] // *Kombikorma*. № 6. S. 34–35.
- O razviti i podderzhke akvakul'tury (rybovodstva) v Rossijskoj Federacii: inform. izd.* [On the development and support of aquaculture (fish farming) in the Russian Federation] 2018. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 136 s.
- Markelova V.N., Fomichev Yu.P., Nikanova L.A.* 2014. Himicheskij sostav ekstrudirovannogo zerna zernovykh, zernobobovykh i maslichnykh kul'tur [The chemical composition of extruded grain cereals, legumes and oilseeds] // *Kormoproizvodstvo*. № 9. S. 41–44.
- Rudoj D.V.* 2014. Issledovanie processa ekstrudirovaniya kombikormov dlya ryb [Study of the extrusion process of fish feed] // *Vestnik Kazanskogo GAU*. № 3 (33). S. 95–97.
- Sidnyaev N.I.* 2011. Teoriya planirovaniya eksperimenta i analiz statisticheskikh dannykh [The theory of experiment planning and analysis of statistical data] // *Uchebnoe posobie dlya vuzov / Ser. 61 Bakalavr i magistr. Akademicheskij kurs*. M.: Izd-vo Yurajt, 399 s.
- Shustin A.G.* 2002. Effektivnost' ispol'zovaniya ekstrudirovannykh kombikormov dlya karpa i raduzhnoj foreli. [Efficiency of extruded feed for carp and rainbow trout]. Diss. ... kand. sel.-hoz. nauk. Rybnoe: VNIIPRH. 100 s.
- Shcherbakova O.E.* 2012. Kombikormovoe proizvodstvo predpriyatij maloj moshchnosti. [Feed production of small enterprises]. M.: MGUTU. 54 s.
- Shcherbina M.A., Gamigin E.A.* 2006. Kormlenie ryb v presnovodnoj akvakul'ture. [Fish feeding in freshwater aquaculture]. M.: Izd-vo VNIRO. 360 s.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Variation of the chemical composition of feed components at various extrusion parameters

Table 2. Characteristics of technological parameters of feed components extrusion for mathematical modeling

Table 3. Intervals of factors variation

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. The dependence of the degree of fiber destruction (%) in wheat (a), corn (b), sunflower oilcake (c), sunflower meal (g) and soybean meal (d) on the extrusion temperature and water content of raw materials

Fig. 2. The dependence of the degree of fiber destruction (%) in wheat (a), corn (b), sunflower oilcake (c), sunflower meal (g) and soybean meal (d) on the extrusion temperature and particle size of raw materials